

VLADIMÍR MALÍŠEK

CO VÍTE
O DĚJINÁCH FYZIKY

Recenzovali: doc. ing. Ivan Štoll, CSc.
Ivan Úlehla, člen korespondent ČSAV

© RNDr. Vladimír Malíšek, CSc., 1986

HORIZONT PRAHA
1986

O DĚJINÁCH FYZIKY

*Ve vědě více než
v kterémkoli lidském
oboru je třeba prozkoumat
minulost, abychom
pochopili přítomnost
a ovládli budoucnost.*

J. D. BERNAL: VĚDA V DĚJINÁCH I

V této knize budeme sledovat především tři problémy: jaký význam má historie moderní vědy, kterými vývojovými stadii fyzika prošla a kam asi směřuje? Na tyto a podobné otázky budeme hledat odpověď hned v úvodu. Poté si všimneme vývoje fyziky v jednotlivých epochách a oborech a nakonec se zamyslíme nad tím, zda je tento vývoj zákonitý a čím byl v minulosti ovlivňován.

O VÝZNAMU DĚJIN FYZIKY

Nesčetné předměty, jevy a události ve fyzickém světě pozoroval člověk bez obtíží odedávna. Obtížnější ovšem bylo tato pozorování nějak trvale zachytit, ale i to skvěle zvládl již pravěký malíř např. na stěnách jeskyní. Měl k tomu zřejmě vše, co potřeboval: materiální předlohu, které dobře rozuměl, metodu, talent i technické prostředky k její realizaci — a tak nakonec vznikl obraz. Fyzik je na tom podobně; jen cesta k fyzikálnímu obrazu světa je obtížnější, a to nejen pokud jde o předlohu, ale i metody a výsledky. Předlohou jsou nikoli jednotlivé předměty, ale především zákonitosti fyzického světa. Trvalo jistě dlouho, než člověk poznal, že mezi předměty, jevy a událostmi vůbec existují jakési nutné a za stejných podmínek vždy přesně se opakující vztahy, že tyto vztahy jsou neméně objektivní a někdy dokonce důležitější než samotné předměty. Tak se třeba přišlo na to, že dřevo vždy plave na vodě, že kámen se vždy potápí a že této zákonitosti lze využít k přemístění se

bez namočení na vzdálený ostrov, či na druhou stranu řeky. Méně použitelné, ale neméně jisté bylo např. poznání, že za bouře je vždy nejprve vidět blesk a pak je slyšet hrom apod.

Nejstarší metoda poznávání fyzikálních zákonitostí se ovšem opírala o živé smyslové nazírání a o experimentování při zacházení s věcmi. Výsledek tohoto procesu poznání lze označit jako předvědeckou zkušenost. Dávny člověk ovšem sotva rozlišoval mezi metodou získávání poznatků a jejím výsledkem; proto i my budeme mluvit o tomto prvotním stadiu poznání jako o předvědecké zkušenosti a zahrneme sem oba zmíněné procesy. Pozorované předměty a jevy v přírodě byly nesčetné, předvědecká zkušenost však byla chudá kvantitativně i kvalitativně. Počet poznáných zákonitostí rostl jen velmi zvolna a kvalitativně se poznání dlouho nerozvíjelo vůbec; o kvalitativním rozvoji poznání lze mluvit až v rozvinuté otrokářské společnosti. Musely se nejprve změnit společenské poměry, otrokářský řád byl nucen umožnit určité společenské vrstvě specializaci na řešení teoretických problémů — a do těchto poměrů musel přijít vysoce vzdělaný člověk vrcholné antiky, aby byl např. z dávné předvědecké zkušenosti o plavání těles vytvořen Archimédův zákon, jenž je příkladem odrazu fyzické zákonitosti hmotného světa v exaktní formuli fyzikálního zákona.

Avšak i mezi fyzikou Archimédovou a fyzikou dnešní je celá propast, zejména pokud jde o metody. Předlohou naší fyziky jsou stejně jako u Archiméda fyzické zákonitosti, avšak naše metoda je komplexem metod experimentálních a matematických a naším výsledkem je opět celý komplex přísně logicky spojených fyzikálních zákonů. Fyzikální zákon je tedy odrazem určité fyzické zákonitosti hmotného světa a má zpravidla tvar matematické relace nebo přesně formulované věty; jeho význam vždy spočíval a spočívá v tom, že shrnuje v přesné, abstraktní podobě všechny dosavadní zkušenosti v příslušné oblasti a že navíc umožňuje předpovědět průběh i těch dějů a jevů, jež ještě nikdy nebyly pozorovány.

Samozřejmě, že existují různé kategorie fyzikálních

zákonů. Nyní se však omezíme na konstatování, že fyzikální zákon je nejzákladnějším stavebním prvkem celé fyziky. Soubor fyzikálních zákonů týkajících se určité oblasti jevů, např. pohybu, a spojených s vhodnou teorií v logický celek tvoří obor fyziky, např. mechaniku, — a konečně soubor určitých oborů tvoří fyziku. To je zjednodušený obraz ustavičně se opakující cesty fyziky od jevu přes zákonitost k zákonu a k vědě. Nekonečný soubor fyzických jevů a zákonitostí je tedy pro vědu předlohou, fyzika je jejím zjednodušeným, abstraktním obrazem.

Materiál k tomuto obrazu, tj. nové fyzikální zákony, „loví“ v přírodě a v laboratořích experimentální fyzikové a snášejí je do pokladnice vědy na hromadu jako kamínky pro mozaiku. Obraz z tohoto materiálu tvoří teoretičtí fyzikové; musejí však zpravidla přidat mnoho materiálu „ze svého“, aby kamínky držely pohromadě. Nakonec však je tu obraz udivující logické dokonalosti a matematické krásy; obsahuje daleko více faktů, než do něj zkušenost vložila, a skýtá přesnou orientaci i v těch oblastech přírody, kde experiment ještě nikdy nebyl proveden. Přesto však je tento obraz dosti jednotvárný.

Je tomu tak proto, že fyzika se zásadně spokojí s „dvojměrným obrazem“. O každém bodu na onom pomyslném obraze stačí znát dvě „souřadnice“: údaj experimentální (jak se fakt pokusně dokáže a jak se příslušné veličiny měří) a údaj matematický, teoretický (jaká je matematická forma zákona a jak souvisí s ostatními zákony a s platnou teorií). Tato informace o fyzikálních faktech, tj. o zákonech, teoriích, významných hypotézách i celých oborech, je však v jistém smyslu neúplná. A bude jistě úplnější a celý obraz zajímavější, vzneseme-li se nad rovinu fyzikálních faktů a podíváme-li se na ně také z dimenze historické. Tím ovšem není řečeno, že by pak informace o fyzikálních faktech byly zcela vyčerpány. Neméně zajímavý je také pohled na fyzikální fakta z hlediska filozofického a z hlediska možných aplikací. My se však spokojíme s pohledem historickým — a ani ten nebude úplný.

Historie fyziky se totiž snaží hlavně: (1) každý důležitý fyzikální fakt „lokalizovat historicky“, tj. snaží se určit kým, kdy a kde byl fyzikální fakt objeven, kde v literatuře a kým byl publikován a podobně; (2) téměř žádný fyzikální fakt ani jeho souvislosti s ostatními fakty nebývají nalezeny hned v „definitivní podobě“; je tedy nutno sledovat jejich genezi i evoluci, ukázat, za jakých podmínek a proč byly právě tak objeveny a formulovány, či proč byly zase někdy zapomenuty jako „předčasné“; (3) žádoucí by ovšem bylo najít také obecné zákonitosti vývoje fyziky; (4) mezi úkoly historiografie ovšem nelze pominout ani aspekt didaktický a psychologický, vždyť zajímavá vyprávění o fyzicích a fyzice v minulosti nejednou vzbudí zájem i o fyziku a fyzikální myšlení.

Avšak ani ve světové literatuře zatím neexistují takové práce, které by nás uspokojily ve všech uvedených směrech; jisté je, že až se jednou objeví, budou velmi rozsáhlé. Vždyť samotná sbírka holých fyzikálních faktů by byla velmi rozsáhlá a počet svazků světové encyklopedie fyziky (Flügge, S.: *Handbuch der Physik*. Springer Berlin, New York.) bez historických poznámek se již blíží stovce. A tak se ve skutečnosti nejčastěji v dějinách vědy setkáváme s díly narativními (lat. narratio = vypravování), obsahujícími zajímavá vyprávění o objevitelích a objevech, čili s díly plnicími úkol čtvrtý. Badatel, ať fyzik, či historik, ovšem sáhne zpravidla po dílech pragmatických (lat. pragmaticus = praktik, odborník), v nichž je podrobně zachycena chronologie objevů, citace všech základních prací, zkrátka vše, co patří k bodu prvnímu a zčásti i druhému. Nejde již o zajímavé „životopisy fyziků“, ale o strohý „životopis fyziky“. Dobrých pragmatických prací je však i ve světové literatuře jen málo (viz např. literatura [19] a [20]) a pro dobu nedávno minulou a přítomnou téměř úplně chybí. Přitom však jde o jednu z nejdůležitějších podmínek rozvoje vědy; každý, kdo má řešit nějaký fyzikální problém, musí nejprve vědět, co se o něm již ví. Neexistuje ani nauka o fyzikální literatuře a jen s námahou se shánějí přesné informace o stavu řešení určitého problému ve světě.

Dnes se však přesouvá zájem historiků vědy od pojetí pragmatických (a ovšem i narativních) k pojetím genetickým. Nejdůležitější tu již není rozhodovat o prioritách a o datování objevů, ale cílem je podat výklad příčin a souvislostí dosavadního vývoje, a to případně i na takové úrovni, aby vznikající genetické práce byly platné při prognózách budoucího vývoje. Ani prací tohoto druhu však není mnoho. A konečně k úkolu třetímu, tj. k formulaci zákonitostí vývoje fyziky, je třeba říci, že v této oblasti historiografie dosud ne našla svého tvůrce. Ani tím však úkoly dějin vědy nekončí.

Důležitým doplňkem historických prací jsou totiž také edice základních původních prací nebo alespoň ukázky z děl klasiků fyziky. Právě největší fyzikové vždy zdůrazňovali, že nejcennější pro ně bylo studium původních prací jejich předchůdců. Kopernik, Galilei a Newton, stejně jako Euler, Ampère i Gauss pečlivě studovali jak přes 2000 let staré práce řeckých myslitelů, tak publikace svých bezprostředních předchůdců. A podobně i klasиковé marxismu nepřestali nikdy zdůrazňovat, že ke každému vědeckému či filozofickému, ale i praktickému problému je nutno vždy přistupovat historicky. Avšak i každý problém a jeho řešení se vyvíjí — a tak exkurze do historie je i pro odborníka nakonec nezbytná a bývá zpravidla tím hlubší, čím je problém závažnější.

Tento názor se ovšem diametrálně liší od dosti rozšířeného historického nihilismu mezi odborníky i vzdělanými laiky. Podle některých odborníků-fyziků není prý znalost historie pro vědu nutnou podmínkou, bez níž není práce vůbec možná. Nedorozumění ovšem nejednou vyplývá z mylného ztotožnění dostupných narativních prací s dějinami vědy vůbec. Sotva ovšem lze hájit obdobné stanovisko některých nefyziků, kteří na jedné straně uznávají potřebnost historického poznání, např. v oblasti filozofie a umění, na druhé straně však nedoceňují úlohu dějin vědy, které jsou rovněž nezastupitelnou složkou historie — a tím i složkou všeobecného vzdělání.

Pokud jsme těmito důvody již alespoň trochu zviklali „nevěřící“, můžeme přejít k další obecné otázce histo-

riografie vědy, tj. k otázce periodizace dějin fyziky. Přitom před námi vyvstanou zjednodušené celkové obrysy vývoje fyziky; vzniklé „schéma“ budeme pak v dalších kapitolách postupně naplňovat vybranými konkrétními údaji tvořícími jednotlivé části dějin fyziky.

VÝVOJOVÉ FÁZE FYZIKY

Mezi pojednáními o dějinách fyziky můžeme najít jednak práce zaměřené na určitou oblast dějin vymezenou časově, místně či věcně, např. dějiny optiky 19. stol. v Čechách, jednak obecné práce o světové fyzice. Ve druhém případě je ovšem třeba rozsáhlý materiál nějak rozdělit. Nabízí se rozdělení podle oborů (na dějiny mechaniky, akustiky atd.), nebo rozdělení podle společenskoekonomických formací. Proti prvnímu kritériu mluví to, že některé důležité obory se objevily až v novověku, druhé kritérium se zase může jevit jako jakési měřítko přikládání k vyvíjející se vědě zvnějšku čili jako kritérium nevystihující rozhodující změny ve vývoji vědy samé. A skutečně podle druhého kritéria bychom např. očekávali podstatný rozdíl mezi fyzikou ve starověkém Řecku a ve feudální Evropě. Podstatného rozdílu tu však není a středověká fyzika nejednou dokonce klesla hluboko pod úroveň starověkých alexandrijských učenců.

Dejme tedy přednost kritériím vnitřním. Za rozhodující ve vývoji celé fyziky můžeme považovat ty situace a okamžiky, kdy byla fyzika obohacena o nové pracovní metody. Fyzika zná metody teoretické a empirické; každá z nich se vyvinula do dnešní podoby v několika fázích, jichž si nyní všimneme a jež mohou dobře posloužit k přehledné periodizaci dějin fyziky.

Z empirických metod poznání objektivní reality je nepochybně nejstarší zmíněná již předvědecká zkušenost, tj. jednoduchá, kvalitativní zkušenost, plynoucí zpravidla z pozorování a ze zacházení s věcmi. Jde o nevyslovené poznání o užívání věcí a vztahů mezi

nimi, jež je vlastní každému člověku. Když např. divoch v době kamenné neomylně trefil šípem letícího ptáka nebo podaří-li se dnešnímu dítěti něco podobného, opírají se oba o předvědeckou zkušenost, a to o zkušenost poměrně bohatou. Vždyť řeší prakticky problém, jehož teorie by vyžadovala řešení soustavy diferenciálních rovnic pro pohyb tělesa nepravidelného tvaru v odporujícím prostředí. Předvědeckou zkušenost však mezi fyzikální metody řadit nemusíme — pak ovšem nemůžeme hledat prvky fyziky někde v pravěku, který nedisponoval v oblasti fyzikálního poznání ničím více než touto primitivní empirií. Další empirickou metodou je metoda měrná. Již starověký člověk měřil konstantní fyzikální veličiny, např. délku a hmotnost těles. Jednou nalezených metod se lidstvo již nikdy nevzdává, nové metody však obtížně objevuje a si osvojuje. Nejvyšší a dosud poslední empirickou metodou je metoda experimentální. Je to metoda systematického a záměrného kladení otázek přírodě za uměle vytvořených, zjednodušených situací, kdy nejde již jen o určitou stálou hodnotu jedné veličiny; jde hlavně o situaci, kdy se jedna veličina mění předepsaným způsobem a kdy se měří odezva hmotného systému na tuto změnu v podobě změn hodnot jiných veličin vyjadřovaných tabulárně, graficky nebo rovnicí. Tato metoda se stala majtkem a denním chlebem fyziky až kolem r. 1600; od té doby tedy existuje novověká fyzika, tj. fyzika v našem slova smyslu.

Samozřejmě, že ani vývoj teoretických metod fyziky nebyl jednoduchý. Pravěký člověk si buď jevy nevykládal vůbec, nebo si mnohé jevy jako nepochopitelné vykládal myticky, antropomorfsky; nelze se divit, že např. v blesku spatřoval zásah nadpřirozených bytostí. Mýtus ovšem nepatří do fyziky, nicméně byl prvním teoretickým pojetím vnějšího světa. Přesně opačně, takřka „antimyticky“ a čistě racionálně, začali chápat svět antičtí Řekové; obohatili tak chápání světa a metody jeho poznání o metodu filozofickou. Samotná filozofie je sice při řešení fyzikálních problémů bezmocná, což ovšem Řekové ještě vědět nemohli, nicméně ve spojení s další metodou — metodou matematickou, za niž vdě-

číme pozdějším helénským učencům — tvoří dodnes základní nástroj teoretického poznání ve fyzice.

Pro rozvoj fyziky však nestačilo to, že se u alexandrijských učenců spojila metoda matematická s filozoficky pravdivým pojetím přírodních jevů. Teprve sloučení metod experimentálních, matematických a filozofických, k němuž došlo v době a díle Galileiho v 17. stol., se stalo dosti pevným materiálem pro „zbraně“, po jejichž zásahu vydává příroda dodnes jedno tajemství za druhým.

Podívejme se nyní, kdy a kde došlo poprvé k uplatnění uvedených metod. V podstatě je možno říci, že existují dva rozhodující mezníky ve vývoji fyzikálního poznání. Po celý pravěk člověk asi neměl víc než předvědeckou zkušenost a mýtus jako nástroje poznání a chápání světa; jinak řečeno, neznal a nepoužíval žádné fyzikální metody v pravém slova smyslu. Jestliže však kolem r. 3500 či dokonce 4000 př. n. l. shledáváme u Sumerů a Egyptanů nejen třídní společnost a politickou integraci velkých území, ale také počátky doby protohistorické, velké stavby a záznamy o měření některých fyzikálních veličin, můžeme tuto dobu považovat za první mezník i z hlediska vývoje fyziky. Předtím neměla fyzika žádnou specifickou metodu, od té doby má již alespoň některé metody, v první řadě metodu měrnou. Metod postupně přibývá, až konečně kolem r. 1600 n. l. má již fyzika všechny metody jako dnes. Pravěk historický je tedy pravěkem i z hlediska fyziky. Období fyziky mezi lety 4000 př. n. l. až 1600 n. l., kdy lidstvo kumulovalo jen velmi zvolna a nesoustavně prvky fyzikálního poznání, a to s pomocí onoho neúplného „metodického aparátu“, označíme jako starou fyziku. Od r. 1600 budeme mluvit o novověké fyzice.

A co říci o periodizaci samotné staré fyziky? Od počátku doby historické až do vystoupení řeckých filozofů je zřejmá technická i kulturní převaha starověkých říčních civilizací Orientu — jak někdy označujeme starověké říše v Mezopotámii, Egyptě, Indii a Číně. Faktografického materiálu o těchto oblastech je dnes již velmi mnoho; z hlediska fyziky se však do značné

míry opakuje. Situaci si proto můžeme zjednodušit, když přijmeme zásadu, že si budeme všimnout jen těch oblastí, u nichž je prokázáno prvenství fyzikálních objevů a jež nadto mají přímý vztah ke genezi evropské vědy, vyrůstající z nauk antických Řeků. Proto např. pomíneme starou Čínu, u níž kromě kompasu asi ze 2. stol. n. l. jiné významné priority neznáme, nebo alespoň nemáme prokázán její dominantní vliv na naši vědu, která zcela nepochybně stanula od počátku novověku v čele světového vývoje. Někteří historikové vědy, např. E. Hoppe (viz literatura [20]), jdou dokonce tak daleko, že pomíjejí úplně i vědu egyptskou jako odvozenou (hlavně z Mezopotámie); pro její vliv na Řeky to však nelze dosti dobře učinit. Také později si budeme všimnout jen těch kultur, jež vyústily do novověké evropské vzdělanosti.

Z dochovaných staveb a záznamů, ale i z přímých vyobrazení některých fyzikálních přístrojů a mechanismů, např. kladky, soudíme, že praktických znalostí, zejména z mechaniky, bylo u říčních civilizací poměrně mnoho. Objevy však zůstávají v předřeckém období anonymní, jsou tajemstvím v rukou kněží a v teoretickém chápání je asi zřídka překročena prvotní „mytická úroveň“ — a pokud se tak snad stalo, mělo kněžstvo jistě dobré důvody i moc tuto situaci zavčas korigovat. Leč v okamžiku, kdy starověký člověk měřil a počítal, stál již jistě na pozicích naivního realismu a na příslušný výsek skutečnosti pohlížel živelně materialisticky. Nakonec se jeho postoj neliší, měří-li zboží na zemi, nebo polohy hvězd a čas na nebi, a tak se konečně objevuje názor, že dění ve světě je zákonité (a ovšem i to, že nad onou zákonitostí bdí bohové, ovšem především ve smyslu morálním, když svými zákony a zásahy zjednávají spravedlnost apod.).

Z úplně jiného teoretického stanoviska však začínají pohlížet na přírodu Řekové. Již od prvního filozofa Thaléta z Miletu v 6. stol. př. n. l. se stává příroda předmětem racionálního, byť zatím jen čistě filozofického zkoumání, a to s výslovným popřením nadpřirozených prvků v této oblasti. Filozofové již také své vědění netají, nýbrž za mzdu své žáky veřejně vyučují

a soutěží mezi sebou v oblasti vědění i hypotéz. Řekové však neobohatili vědění jen o metodu filozofickou, ale později také o metodu matematickou.

Za doby helénské, kterou můžeme datovat od ztráty řecké samostatnosti, způsobené makedonskou expanzí v r. 337 př. n. l., do vítězství Říma r. 30 př. n. l., se začínají uplatňovat ve fyzice metody matematické, které přivedli na vrchol dokonalosti badatelé alexandrijského Múseia a Archimédes ze Syrakus. Po stránce matematické se již tito badatelé neomezují na vyjádření konstantních číselných hodnot fyzikálních veličin jako dříve, ale formulují rovněž obecné vztahy mezi veličinami a dokonce jednoduché fyzikální zákony. V díle Archimédově a Herónově dosáhla fyzika úrovně, jež nebyla v podstatě překonána ani Římany, ani jejich středověkými pokračovateli v Byzanci, v říších púlměsíce, ani ve středověké Evropě; platí to zhruba až do r. 1600.

O *staré fyzice* můžeme tedy mluvit v oněch dobách nejen proto, že tato věda nebyla pěstována soustavně experimentální metodou, ale i proto, že nebyla jako samostatná oblast vědění vůbec vymezena; její problémy byly chápány jen jako součást techniky nebo filozofie — a konečně: tehdy se dosud nenakupilo takové množství faktů, aby je bylo třeba soustavně zpracovat, třídít a uspořádat v logické celky tak, jak to činila třeba starověká geometrie či astronomie. Nesmí nás přitom mást ani to, že mnohá díla řecké literatury z těch dob mají přesto název *Peri fyseos (O přírodě)*, i když nemají většinou nic společného s fyzikou v dnešním smyslu a představují spíše výseky z přírodopisu nebo přírodní filozofie. Je tedy třeba nejprve rekonstruovat z rozptýlených a mnohdy i zkreslených útržků různých děl faktografický materiál a teprve z něho si vytvářet obraz o minulosti, o znalostech, názorech a metodách, jimiž se fyzikálních vědomostí zmocňovali staří Řekové a ostatní civilizace, včetně středověké západoevropské vzdělanosti.

Teprve na přelomu 16. a 17. stol. vzniká *novověká fyzika*, trvající dodnes, a to poté, kdy už proběhla vítězná vědecká revoluce v astronomii vlivem Koperni-

kovým a v geografii vlivem velkých objevných cest; to vše ovšem souvisí s rostoucí mocí kapitalismu, který potřebuje novou přírodovědu, ne již pouhé logicko-filozofické konstrukce a dohady, ale vědu, která by snesla experimentální ověření a dovedla sloužit praxi. A tak se v západní Evropě rychle hromadí nové poznatky a vynálezy, např. pohybové zákony, zákon lomu světla, vynálezy dalekohledů a drobnohledu. Začíná soutěž v hledání poznatků starými, ale zejména novými experimentálními metodami a situace rychle zraje k požadavku shrnout všechna tato fakta v rámci jediného fyzikálního obrazu přírody a do jediné vnitřně bezsporné konceptuální soustavy. Vznikají zprvu různé dílčí teorie, jež však nakonec ústí v jedinou — newtonovskou konceptuální soustavu (koncepce = ucelená soustava názorů).

Pojmy konceptuální soustava a fyzikální obraz světa či přírody nejsou sice nezbytné, avšak jsou užitečné. Autorem prvního pojmu je W. K. Heisenberg ve 20. stol., autorem druhého byl již středověký Honorius z Autunu. *Konceptuální soustava* ve fyzice je komplex platných principů a teorií, o něž se opírá celé teoretické pojetí fyziky i praktické výpočty v dané epoše. Např. novověká fyzika před objevem elektromagnetické teorie se opírala o newtonovskou mechaniku. *Fyzikální obraz přírody* v dané epoše je filozofický obsah příslušné konceptuální soustavy, vyjádřený v koncentrované, nematematické podobě. V důsledku velkých revolučních objevů se postupně mění obojí; jejich životnost je však nestejná. A právě podle panujících fyzikálních obrazů přírody a konceptuálních soustav se můžeme dobře orientovat v dějinách novověké fyziky, neboť vývoj metod je co do počtu v podstatě uzavřen (byť v podrobnostech se metody nadále podstatně zdokonalují). Sebedokonalejší metody jsou stále jen metodami experimentálními a teoretickými. Novověká fyzika se dnes opírá již o třetí fyzikální obraz světa.

Historicky první konceptuální soustavu a základ mechanického obrazu přírody představují Newtonovy *Matematické principy přírodní filozofie* (1687). Opírají se nejen o Newtonem propracovanou *mechaniku*, spočívá-

jící na experimentální bázi, ale také o novou matematiku Newtonem objevenou a o filozofické koncepce mechanického materialismu. Newtonovská mechanika se stává vzorem fyzikální vědy na 250 let a podle ní se buduje s naprostým úspěchem akustika, se značným úspěchem termika a s problematickými výsledky elektrodynamika a optika. Newtonovská konceptuální soustava, zdokonalená a doplněná mnoha dalšími badateli, zejména Eulerem, Lagrangem, Laplaccem, Gaussem a jinými, začala být základem mechanického obrazu přírody a celé mechanistické fyziky.

Fyzika se stává již od počátku tohoto období, tj. od r. 1600, samostatnou vědou „de facto“, (ve skutečnosti) — nikoli však ještě „de iure“, (právně). Neexistují totiž ještě fyzikální ústavy ani katedry fyziky na univerzitách; např. sám Newton byl profesorem geometrie, nikoli fyziky. Fyzika tedy existuje fakticky, nikoli však ještě formálně.

Teprve v následující epoše, tj. po experimentálních objevech Faradayových nedlouho před r. 1850 a na ně navazujících objevech Maxwellových krátce po r. 1850, se fyzika stále jasněji odklání od newtonovské mechaniky s její koncepcí okamžitého působení do dálky — až se posléze úplně vymyká z její nadvlády. V díle Maxwella a jeho následovníků vzniká nová konceptuální soustava, již posléze vrcholí celá *klasická fyzika*. Všechny obory tehdejší fyziky, dokonce i mechanika, jsou budovány ve shodě s klasickou elektrodynamikou a s jejím „logickým domyšlením“, speciální teorií relativity. Rýsují se obrysy nového obrazu přírody.

Avšak ještě než byl nový obraz dokončen, rodí se zcela nová, *kvantová fyzika* i s novou konceptuální soustavou a s novým obrazem světa. Od poloviny 19. stol. se fyzika dostává také do nových kontextů společenských a právních. Jsou zakládány katedry fyziky na univerzitách i technikách, v nejrozvinutějších zemích čeká kapitalismus na cenné výsledky a podněty od nově zřizovaných vědeckých fyzikálních ústavů a laboratoří a vžívá se také označení fyzik ne již pro lékaře, ale pro přírodovědce zkoumajícího jevy v anorganické přírodě, při nichž se nemění složení látek.

Tak je chápána a také definována fyzika klasického období. Nastává rovněž specializace ve fyzice, a to dokonce ve dvojitým směru. Podle metod se rozlišuje *fyzika experimentální* a *fyzika teoretická*, pracující jak matematickými, tak zároveň filozofickými metodami. Čistě filozofické metody ve fyzice se však již zásadně neuznávají a teoretikové tohoto zaměření se ocitají mimo oblast fyzikální vědy, kdesi na půdě přírodní filozofie, nejednou na smrt zneprátené s fyzikou. Zato teoretikové pracující čistě matematickými metodami jsou vysoce váženi a vytvářejí nanejvýš významnou a oceňovanou *matematickou fyziku*. Za základ fyziky se ovšem trvale uznává fyzika experimentální, od níž se oddělují dvě speciální odvětví: na metody měření se orientuje *praktická fyzika* a na fyzikální přístroje *technická fyzika*. Od ní se pak postupně osamostatňují odvětví aplikační povahy, např. elektrotechnika.

Podle oborů se fyzika v tomto období dělí na *fyziku těles* (čili „fyziku hmoty“), k níž patří mechanika, akustika, termika, — a na *fyziku pole* (čili „fyziku éteru“), k níž se počítala elektrodynamika, optika a nauka o jiném než světelném záření, zvaná někdy radiologie. Tehdejší fyzika ostentativně ignorovala problémy struktury hmoty, kterou považovala za kontinuum stejně jako prostor a čas. Problémy struktury na úrovni atomů a molekul přenechávala chemikům, na úrovni krystalů mineralogům atd. Zmíněné pojetí a členění fyziky bylo ovšem přijímáno jen pomalu, postupně a různými badateli různě. Např. Faraday se ještě v 19. stol. urazil, když byl osloven jako slavný fyzik, neboť se považoval za „experimentálního přírodního filozofa“; *physicus* se stále ještě někde rovnalo lékaři.

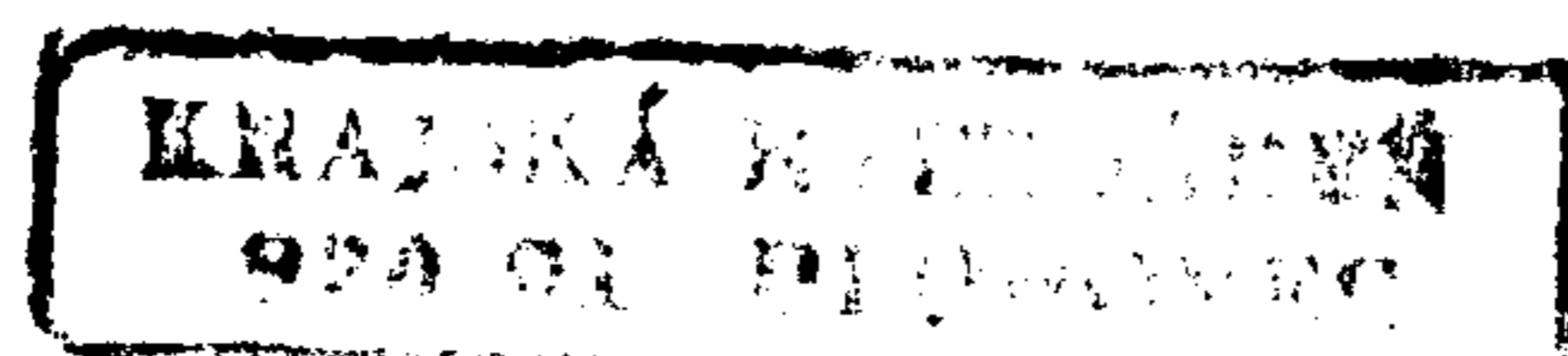
Závažnější komplikace bývají ve fyzice dodnes s termínem „klasický“, který je velmi užitečný, ale i neurčitý. Pod pojmem *klasická fyzika* se nejčastěji rozumí fyzika makroskopických jevů a těles popsaných nekvantovou teorií, čili maxwellovskou elektrodynamikou, případně i speciální teorií relativity, jež je logickým dovršením této elektrodynamiky. Starší newtonovská konceptuální soustava je po stránce matematické jen zvláštním, zjednodušeným případem soustavy Maxwello-

vy-Einsteinovy a patří rovněž do klasické fyziky po stránce metodické, po stránce filozofické se však obě tyto konceptuální soustavy vylučují. Pod úctyhodnou střechou klasické fyziky tedy není o nic více harmonie než mezi rozvedenými manželi. „Shora“, tj. vzhledem k současné fyzice mikrosvěta, opírající se o kvantovou teorii, je však hranice klasické fyziky dosti ostrá a určitá. Do klasické fyziky ovšem musíme započítat také nesporná fakta získaná experimentálně. Do této oblasti patří zejména celé tzv. fenomenologické obory, např. termodynamika; těch se ovšem napětí mezi zmíněnými konceptuálními soustavami netýká, jsou vůči modelovým teoriím neutrální.

„Zdola“ bychom mohli ohraničit klasickou fyziku tím okamžikem, kdy již fyzika disponuje metodou experimentální i matematickou, tedy zhruba r. 1600. Až některá ojedinělá fakta byla tímto způsobem nalezena již dříve, ač experimentální metoda byla ještě výjimkou, nikoli pravidlem. Sem lze zařadit třeba zákony geometrické optiky zjištěné v antice, Archimédovy výsledky v mechanice apod. Avšak ani okamžik zrodu kvantové fyziky v r. 1900 neznamena definitivní konec klasické, tj. makroskopické, nekvantové fyziky. Klasická fyzika se rozvíjí dále, byť ve stínu obecnější kvantové teorie, čili při plném poznání její omezené platnosti a přibližného charakteru jejích poznatků.

Mluvíme-li o klasické fyzice v časovém smyslu, myslíme tím období let 1600 až 1900, čili vlastně období nadvlády klasické fyziky. V naší historii ovšem budeme sledovat kořeny klasické fyziky od dob nejstarších, čili budeme si všimnout prvků klasické fyziky i před r. 1600, stejně jako ji budeme sledovat i po r. 1900. Klasická fyzika v sobě zahrnuje jak newtonovskou mechanickou konceptuální soustavu, tak konceptuální soustavu, založenou na makroskopické teorii fyzikálních polí (elektromagnetického a případně gravitačního), a to i mimo interval let 1600 až 1900.

Zatímco fyzikální obrazy světa jsou v důsledku základních objevů nahrazovány obrazy novými, konceptuální soustavy jako vhodná matematická východiska výpočtů a teorií zůstávají ve vědě i poté, kdy už se



jasně poznala jejich principiální nesprávnost; jsou totiž i nadále relativně jednoduchým prostředkem k aproximativnímu, ale v praxi postačujícímu popisu jevů. Po mechanickém a klasickém „polním“ čili „relativisticko-elektrodynamickém“ obrazu světa přichází konečně v r. 1900 na svět první idea nového, kvantově fyzikálního obrazu světa a nové, současné konceptuální soustavy.

Tato nová a zatím poslední soustava je současně kvantová, statistická a relativistická. Její vznik si vynutila ta skutečnost, že žádná z klasických teorií, ani teorie relativity, nebyla s to vyložit několik jednoduchých experimentálních faktů, k nimž patřilo spektrum záření černého tělesa, dále spektrum atomů, zejména nanejvýš jednoduchého atomu vodíku, fotoelektrický jev a závislost měrného tepla látek na teplotě. Tím méně byly ovšem pochopitelné složité problémy, jako radioaktivita, Roentgenovo záření,*) rozmanitost spekter molekul a krystalů.

Kvantová konceptuální soustava a s ní související nový fyzikální obraz světa, na rozdíl od analogických soustav klasických, plně vystihuje také problémy fyziky mikrosvěta atomů, molekul atd. Přechod mezi klasickou fyzikou a tímto novým názorem byl však tak závažný a překonání vyvstalých filozofických problémů tak obtížné, že se mluvilo o krizi fyziky, a to o krizi, jejíž hloubka nemá obdoby v dějinách vědy. Přesto nové a správné výsledky byly získány již během relativně krátké doby tří desetiletí. Fyzika se přitom nebyvale matematizuje, přibírá do svého arzenálu mnohé koncepce filozofické (filozofii ovšem na oplátku také podstatně ovlivňuje), prudce roste do šířky i hloubky a geograficky přestává být záležitostí převážně evropskou. Stává se vědou vpravdě internacionální, byť je stále jasnější, že nákladná experimentální fyzika atomového jádra a částic se stane záležitostí několika málo světových center bohatě finančně dotovaných. Fyzika se stává stále konkrétněji také výrobní silou, v někte-

*) V době, kdy se Röntgen narodil, psávalo se ještě v Německu *oe* místo *ö*, čili Roentgen. Jeho záření se stalo tak běžnou záležitostí, že naše norma mluví o rentgenovém záření.

rých svých důsledcích i hrozbou národů, ale především příslibem reálných východisek z krizí současné civilizace.

Také struktura současné fyziky je natolik odlišná od fyziky klasické, že by ji klasikové žijící před necelými sto lety ani nepoznali. Vzhledem k tomu, že bez porozumění nové architektuře fyziky lze těžko pochopit fyziku i její historii, uvedeme jednoduchý systém současné fyziky založený na pojmu interakce (tj. sil, jimiž na sebe vzájemně působí částice). Současná fyzika zná čtyři interakce: interakci silnou, která „drží“ pohromadě částice atomového jádra vzdor odpudivým elektrickým silám mezi protony. Elektromagnetické interakci vděčí za svoji existenci svět atomů, molekul, látek a těles, včetně všech organismů a makroskopických útvarů menších než kosmických měřítek. V kosmu vládne gravitační interakce. Na rozdíl od těchto tří „sil“, jež drží svět pohromadě a zajišťují jeho relativní stabilitu, čtvrtá, slabá interakce podmiňuje rozpady čili změny ve světě elementárních částic a atomových jader. Je zajímavé, že u vyjmenovaných složených hmotných struktur vládne vždy převážně jedna z těchto interakcí; u tzv. elementárních částic je však třeba respektovat více interakcí současně, a dá se tedy očekávat, že nakonec bude třeba vypracovat komplexní teorii všech interakcí. (Zatím se dočkali Nobelovy ceny autoři elektro-slabé interakce.) Je pravděpodobné, že nová, budoucí konceptuální soustava povede i k novému, složitějšímu obrazu světa. Pravděpodobné je také mínění některých fyziků, že „elementární částice“, zejména hadrony, tj. částice podléhající silné interakci, nejsou elementární, ale že jsou složeny ze subelementárních částic (kvarků, partonů) držených pohromadě interakcemi dosud neznámé povahy, a to interakcemi, jež subčástici vůbec neumožňují vystoupit z „uzavřeného kolektivu“ subčástic.

Fundamentální význam pro fyziku má však také jednodušší a historicky starší komplex oborů, v nichž se vůbec nepřihlíží k fyzikální podstatě interakcí a kde mohou být interakce obecně jakékoli nebo dokonce žádné. A tento komplex relativně samostatných věd

nazveme zjednodušeně — mechanika. Je to ovšem mechanika relativistická a kvantová, čili mechanika respektující konečnou hodnotu základních konstant fyziky — Planckovy konstanty h a rychlosti světla c . Zjednodušíme-li si situaci a položíme-li $c = \infty$, dostaneme nerelativistickou mechaniku, aproximujeme-li $h = 0$, dostaneme nekvantovou mechaniku. Kombinací obou kritérií tedy získáme celkem čtyři „mechaniky“.

1. *Mechanika relativistická kvantová*, kterou založil pro fermiony (elektrony) Dirac a pro bosony*) Schrödinger, Klein, Gordon a sovětský fyzik Fok.

2. *Mechanika nerelativistická kvantová* vznikla ve dvacátých letech našeho století zásluhou Schrödingera, Heisenberga a jejich předchůdců.

3. *Mechanika relativistická nekvantová* je trestí Einsteinovy teorie relativity z r. 1905.

4. *Mechanika nerelativistická nekvantová* není nic jiného než současná podoba newtonovské mechaniky.

Tuto jednoduchou stavbu současné fyziky, k níž budeme přihlížet i v dějinách vědy, nám však komplikuje v jednom směru sama příroda. Se čtyřmi interakcemi a čtyřmi „mechanikami“ bychom vystačili, kdyby hmotný svět nebyl příliš složitý. Uvedenými teoriemi jsme totiž schopni popsat jen soustavy o malém počtu částic. U soustav s nesmírně velkým počtem částic, jako třeba u plynů či pevných látek a plazmatu, se musíme spokojit s popisem statistickým, vystihujícím nikoli podrobnosti pohybu každé jednotlivé částice soustavy, ale pouze statistické zákonitosti jejich souboru

*) Fermiony, resp. bosony jsou částice s poločíselným, resp. celočíselným spinem. Prvé částice jsou „nesnášenlivé“, druhé „snášenlivé“ v tom smyslu, že v dané soustavě, třeba v atomu, může být v daném stavu, definovaném souborem kvantových čísel, jen jediný fermion; u bosonů tento počet není omezen. K fermionům patří elektrony, neutrony, protony, k bosonům fotony, některé mezony, ale také skupiny fermionů, např. elektronové páry. „Nesnášenlivost“ fermionů je podmíněn dávný princip neprostupnosti hmot. Dvě „hmoty“, tj. „tělesa z látky“, nemohou být zároveň na tomtéž místě, zato světelné paprsky si nepřekáží.

jako celku. Například máme-li vypočítat tlak plynu působící na stěny nádoby, stačí určit střední hodnotu kinetické energie jeho částic a nemusíme vůbec pátrat po osudech individuálních částic. Problémy tohoto druhu, tj. popis statistických zákonitostí v souborech o velkém počtu částic, řeší statistická mechanika. Jmenuje se tak ne proto, že by snad statisticky zjišťovala a posteriori počet částic o dané rychlosti, ale proto, že teoreticky (pomocí pravděpodobnosti a priori) formuluje statistické zákonitosti oněch souborů. Problémy tohoto druhu začal řešit již v 18. stol. D. Bernoulli. Další rozvoj této vědy je spojen s objevy Clausiovými, Maxwellovými a Gibbsovými v 19. stol. a s pracemi Einsteinovými a Fermiovými ve 20. stol.

Vedle statistické fyziky slavila již v polovině 19. stol. pravé triumfy termodynamika, která na své síle nic neztratila dodnes. Vztah mezi oběma objasnil vídeňský profesor a stoupenec atomismu Boltzmann koncem minulého století. Statistická fyzika je obor převážně teoretický; výsledky jejich výpočtů závisejí na přijatém modelu daného souboru částic. Proto také dostaneme např. jinou stavovou rovnici plynu, představujeme-li si plyn jako složený z kuliček, jež na sebe působí jen v okamžiku srážky (rovnici Clausiovu-Clapeyronovu), jinou za složitějších předpokladů (např. rovnici van der Waalsovu). Právě tato závislost výsledků teorie na naší zdánlivě subjektivní volbě modelu se jevila klasickým fyzikům jako něco nesprávného, provizorního a problematického. Mikroskopické koncepce tito fyzikové většinou odmítali a statistickou koncepci, atomismus i jeho nositele s nimi; dovedli to dát najevo a Boltzmannova sebevražda s tím zřejmě souvisí. Dnes ovšem trpěliví teoretici vytvářejí řady daleko složitějších modelů pro týž jev a v konkurenčním boji vítězí ten model, který dává výsledky nejbližší experimentu. Přesto existuje několik málo, zato však velmi důležitých vlastností, které na volbě modelu makroskopického systému vůbec nezávisejí. A tímto zvláštním případem je právě termodynamika se svými třemi základními větami. Clausius a Gibbs, Thomson, Helmholtz a další ukázali v minulém století, k jak závažným důsledkům termo-

dynamika vede v teorii i praxi, zejména při zdokonalování tepelných motorů. V tom tedy spočívá hlavní tajemství úspěchu fenomenologické termodynamiky.

Čím by se tedy měla zabývat historie fyziky a jak by bylo možno ji rozdělit, je patrné z následujícího přehledu; celá knížka je stručným naplněním tohoto schématu. Samozřejmě jde jen o jedno z možných uspořádání.

1. Fyzika ještě není samostatnou vědou; není běžně známa experimentální metoda (doba před r. 1600).

1.1. Prehistorie fyziky.

Doba prehistorická i ve smyslu dějepisném, tj. doba před r. 4000 př. n. l. v nejvyspělejších oblastech.

1.2. Stará fyzika.

Nejvyspělejší oblasti Starého světa v době 4000 př. n. l. až 1600 n. l.

1.2.1 Starověké říční civilizace Orientu získávají prvky fyzikálního vědění na základě předvědecké zkušenosti; umějí dobře měřit. Jde zejména o Mezopotámii a Egypt od r. 4000 př. n. l. až do nadvlády Řeků.

1.2.2 Starořeční filozofové v 6. stol. př. n. l. až do r. 337 př. n. l. naučili lidstvo racionálně chápat přírodní jevy. Opírali se o předvědeckou zkušenost a filozofickou spekulaci.

1.2.3 Helénská věda a její pokračovatelé v antickém Římě, v islámském a evropském středověku přibírají k řešení fyzikálních problémů metody elementární matematiky (337 př. n. l. až 1600 n. l.).

2. Novověká fyzika (od r. 1600 dodnes); disponuje navíc metodou experimentální a metodami vyšší matematiky.

2.1 Období rozvoje klasické fyziky v rámci mechanického obrazu přírody převážně v Evropě (přibližně v letech 1600—1850). Fyzika je samostatnou vědou a dělí se na fyziku „vážitelných“ těles, ponderabilíí (tj. na mechaniku pevných těles, kapalin, plynů a ohně, a na akustiku), a na fyziku imponderabilíí, „nevážitelných“

substancí (tj. na optiku a fyziku fluid elektrických, magnetických a tepelných).

2.2 Období rozvoje fyziky v rámci kontinuálního obrazu přírody směřujícího k relativistické nekvantové konceptuální soustavě. Jde o oblasti Evropy a Severní Ameriky přibližně v letech 1850 až 1925. Vůdčí teorií je klasická elektrodynamika a teorie relativity; toto postavení ztrácí v třetině 20. stol., rozvíjí se však i nadále. Fyzika se dělí podle obsahu na „fyziku hmoty“ a „fyziku éteru“, čili na fyziku makroskopických látek a polí, a podle metod na teoretickou a experimentální; je uznána samostatnou vědou i formálně.

2.3 Období rozvoje současné, tj. kvantové, statistické a relativistické fyziky. Rozumíme tím dobu od r. 1900 dodnes; fyzika se rozvíjí ve vědeckých centrech na všech kontinentech a stává se společným základem přírodovědy; má významné aplikace na pomezí s jinými vědami a v technice do té míry, že se stává výrobní silou a podstatně ovlivňuje i filozofii a světový názor. Je možno ji rozdělit podle interakcí, přičemž každé z interakcí odpovídají hmotné struktury určitého měřítká (např. gravitační interakce ovládá kosmos, elektromagnetická interakce hmotné struktury od atomů po makroskopická tělesa, silná interakce jádro atomu). Rozdělení podle metod trvá, celá fyzika se silně matematizuje.

Historie fyziky by ovšem měla naplnit konkrétními fakty nejen toto schéma či nějaký obdobný plán, ale měla by si všímat také vývoje fyzikální literatury, dějin výuky fyziky, sociálně historických aspektů fyzikálních objevů apod. Jde o problematiku rozsáhlou, a proto se omezíme na problémy nejjednodušší a nejzávažnější; výběr tohoto materiálu bude ovšem dosti subjektivní.

FYZIKÁLNÍ VĚDĚNÍ PŘED VZNIKEM FYZIKY JAKO SAMOSTATNÉ EXPERIMENTÁLNÍ VĚDY

Jde o nesmírně dlouhou éru předkapitalistického vývoje, kdy fyzika ještě neexistovala jako samostatná věda; nedospělo se k metodě experimentální, ani k matematice proměnných veličin, což obojí je nezbytnou podmínkou vědecké fyziky. Vystřídala se celá řada filozofických názorů na fyzikální děje, žádný však nebyl ničím víc než převážně kvalitativním popisem pozorovaných jevů, promíseným s nejrůznějšími hypotézami filozofickými.

Přesto se nahromadilo mnoho poznatků — převážně však „statického charakteru“, tj. poznatků ze statiky, z paprskové optiky a z hudební akustiky. Problém pohybu patřil k nejobtížnějším problémům filozofickým a nebyl úspěšně řešen, ani nemohl být vyřešen před objevem proměnných veličin, matematických funkcí a limit. Avšak již pravěk a starověk přinesl obdivuhodné výsledky v oblasti technické fyziky opírající se o poznatky ze statiky.

Z důvodů, jež byly uvedeny v předchozí kapitole, rozdělíme celou tuto éru na „pravěk fyziky“ a na „dobu staré fyziky“, což je fyzika za otrokářského řádu a feudalismu. Samozřejmě, že čím jdeme dále do minulosti, tím jsou poznatky méně spolehlivé; pro doby nejstarší je před námi více otázek než faktů.

OTAZNÍKY NAD PREHISTORIÍ FYZIKY

Vědomosti o okolním světě musel pravěký člověk bezesporu dobývat v tvrdém boji o život. Nepochybně

mu to usnadňovaly zděděné koordinace ruky a oka a vybavení druhou signální soustavou. Tato koordinace spolu s manuální zkušeností mu umožňovaly „vidět“ a „intuitivně cítit“, jak věci fungují. Proto i dítě pochopí, jak funguje páka; uhodne, co se stane na druhém konci, pohybuje-li se prvý. A tak ještě než vůbec začne existovat jakákoli věda, zmocňuje se člověk při fyzickém zacházení s předměty logiky, čili ovládá podvědomě základy mechaniky svého těla i okolních předmětů. A tato mechanika je mu zároveň první učitelkou správného myšlení. Ne všechny věci byly ovšem dávnému člověku stejně srozumitelné; existence nevysvětlených astronomických, meteorologických i společenských jevů posílila iracionální, mytické prvky v obrazu světa primitivního člověka.

Člověk starší doby kamenné se živí hlavně sběrem a lovem a na konci oné doby má již k dispozici vrhací zbraně, luky, harpuny, praky, oštěpy, umí uchovávat a přenášet tekutiny; vrták poháněný třetivou luku nahrazuje práci jeho ruky a rychlostí svého pohybu mu umožňuje rozdělat oheň na základě tření. Foukací zbraně zase ukazují na poznání pružnosti vzduchu. Zvuk doprovázející chvění třetivy asi byl jak základem hudby, tak prvním poznatkem z akustiky. Podobně by bylo možno dedukovat další údaje, ovšem bez možnosti přesnější časové a místní lokalizace, což platí analogicky i pro mladší dobu kamennou.

Nejvýznamnější společenskou změnou na počátku tohoto období je přechod od sběru a lovu k chovu dobytka a později k usedlému způsobu života zemědělce. Na to navazuje obchod a rozvoj řemesel a začíná dělba práce se všemi sociálními důsledky. Přechod od lovectví k zemědělství znamenal však v očích tehdejších lidí zpravidla „pád člověka“ a „vyhnání z ráje“ — neboť přísun potravy byl sice jistější a pravidelnější, člověk však nadobro opustil volné a šťastné loviště, aby „v potu tváře dobýval svůj chléb“. V tomto duchu se nese vypracování mnoha starých pramenů, včetně bible. Nastává období vesnické kultury; jsou pečlivě a soustavně pozorovány přírodní úkazy, jež mají vztah k výživě, a to jak úkazy meteorologické a astronomické, tak

jevy ze života rostlin a živočichů i jevy fyzikální. Výměna zboží přerůstá v obchod a v souvislosti s ním začíná člověk měřit a počítat.

Nakonec v důsledku ustavičných bojů dochází k větším politickým integracím a k utužení otrokářského řádu. Poznatky fyzikálního charakteru se množí — mnohé jsou ovšem získávány jen nahodile a zase se zapomínají, nejsou jasně formulovány, jsou mnohdy mytické a antropomorfsky vykládány a bývají fixovány ve formě zvyků a aplikovány v podobě obřadů. Platí to zejména o poznatcích a operacích složitějších. Na to, že jich byl člověk schopen, však ukazují domy nebo závlahové a odvodňovací kanály, svědčící o obsáhlých předvědeckých zkušenostech jak z oblasti statiky, tak hydromechaniky, i další archeologické nálezy. Protože naše poznání „pravěké fyziky“ je nepřímé a závěry většinou hypotetické, zůstaneme u těchto několika poznámek a obrátíme svou pozornost k fyzice starověku a středověku.

STARÁ FYZIKA

Co rozumíme pod pojmem stará fyzika, bylo již řečeno; všimneme si proto jen výsledků, jichž se v oblasti fyziky během rozvinutého otrokářského řádu a za feudalismu dosáhlo v kulturně nejvyspělejších oblastech světa. Na prvním místě je ovšem třeba si všimnout starých říčních civilizací, od nichž přišlo „světlo vědění“ Řekům.

BABYLÓNSKÁ A EGYPTSKÁ FYZIKA

Sumerové, a později Babylóňané a Asyřané (Chaldejci), kteří skoro ustavičně zápasili s Egyptem o mocenské prvenství, se nejednou měřili i v oblasti myšlenkové a odpozovali od sebe navzájem nejednu zkušenost. V oblasti fyziky dovedli především velmi dobře měřit, a to délky, úhly, čas i hmotnost. Byli také dobrými matemati-

ky — Chaldejci byli nejlepšími počtáři, Egypťané znali lépe geometrii. Byli také výbornými hvězdáři, a ovšem i astrology, a skvělými staviteli monumentů udivujících velikostí a přesností. Vědění však bylo monopolem kněží požívajících četných privilegií. K jejich zásluhám patří, že se jim podařilo udržet kontinuitu vzdělanosti při chrámových školách, a to i při násilném střídání dynastií, neboť patřili k samé špičce mocenské pyramidy. Nakonec se však stali brzdou pokroku; nedovedli se totiž zbavit mytického východiska při výkladu přírodních jevů a tvořili uzavřené společnosti, které vědění tajily. Jejich nauka byla zcela anonymní, takže neznáme jedinou osobu z těch dob, které by bylo možno připisat určitý objev.

K dalším významným společným rysům babylónské a egyptské kultury patří také celkový obraz světa, jak jej máme zachycen v kultech, výtvarných památkách, v bibli a další literatuře. Poznání jeho základních rysů není snad jen okrajovou historickou zajímavostí, ale ideovým základem, o nějž se opíraly jak starověké, tak středověké představy o světě. S nimi musel bojovat např. ještě Kolumbus, Kopernik i Galilei. Tento názor je ovšem směsí naivně materialistických představ, odvozených ze smyslových vjemů, s mytickými prvky. Všimněme si nyní jeho hlavních rysů.

Uprostřed všehomíra se nachází Země (viz obr. příl.). Má tvar velké polokulové duté hory připomínající skořápku z půlky vejce; nazývá se „kruh zemský“ a nese na svém horním povrchu všechna horstva. Největší z oněch horstev je horstvo na západě (Zb) a na východě (Vb) — a to chrání Zemi před zaplavením mořem. Země tedy má tvar nepravidelné klenby — nad ní je však ještě jedna, a to modrá, dokonale pravidelná nebeská klenba. Ta rozděluje prostor nad Zemí ve dva prostory. — nebe-ovzduší (Z), jež je dějištěm úkazů meteorologických a astronomických, a druhé nebe, které je nad klenbou nebeskou a je sídlem bohů. Bezprostředně na nebeské klenbě leží jako jakási vrstva nebeský oceán (N). Když prší — to vytéká voda otvory v oné klenbě. Za jasné noci je těmito otvory vidět světlo v horním nebi; tato světla jsou hvězdy. Nebýt nebeského

oceánu, Země by shořela žářem od nebeského ohně, neboť bohové sídlí ve „světle nepřístupném“. Pod Zemí je podzemní oceán (S), z něhož vyvěrají prameny řek; jejich vody tedy nejsou původu meteorologického. (Je zajímavé, že názor o deštovém původu řek se podařilo prosadit teprve v 18. stol. ve Francii.) Za východními a západními horstvy se za noci skrývá i Slunce — a v různých denních dobách také všech sedm posvátných nebeských těles (Slunce, Měsíc, Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn); každému z nich je zasvěcen jeden den v týdnu — ostatně názvy dnů ve většině evropských jazyků jsou odvozeny z názvů těchto planet. Kdesi v hlubinách pod povrchem Země je podsvětí (M), do kterého vstupují duše zemřelých atd.

Egyptský bůh Ptah prý ostatně učinil svět (zejména obě klenby) z vejce. Samozřejmě, že v tomto modelu světa je nemyslitelné, že by Země rotovala kolem osy či obíhala kolem Slunce, ani není koulí, kterou by bylo možno obeplout kolem dokola v libovolném směru. Mnoho mužů na konci středověku muselo tyto teze jednu po druhé pracně dokazovat a nejednou pro to i trpět. Vraťme se však nyní již k „přízemním otázkám“ naší fyziky.

Na širých rovinách Mezopotámie se vystřídalo několik civilizací. Již jedni z prvních — Sumerové — dovedli měřit především základní fyzikální a geometrické veličiny. A navíc — jejich systém fyzikálních jednotek byl mnohem dokonalejší než všechny systémy evropské před francouzskou buržoazní revolucí. Jednotkou délky byl „babylónský“ (jak my říkáme, ač Babylóňané přišli po Sumerech) dvojloket *elle*. Jeho délka 992,3 mm je rovna délce sekundového kyvadla v zeměpisné šířce Babylónu. Je tedy možné, že jednotka délky byla takto odvozena z jednotky času; a není bez zajímavosti, že nejnovější definice metru se rovněž opírá o časové určení, neboť 1 metr je dráha, kterou urazí světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ sekundy (přijato 20. 10. 1983). Plochy a objemy Sumerové měřili v odpovídajících plošných a objemových jednotkách. Přesně uměli měřit také úhly — jejich jednotkou byl vnitřní úhel rovnostranného trojúhelníka, čili 60° . Skutečně užívali soustavy šedesát-

kové a také dvojloket dělili na 60 palců. Údaje o úhlech zachované v tabulkách (šlo o hliněné tabulky popsané klínovým písmem) a uváděné s přesností na úhlové minuty ukazují, že dovedli užívat dioptru (průzoru), neboť jinak je tato přesnost nedosažitelná.

Ještě pozoruhodnější jsou výsledky Mezopotámců při měření času. Jejich metody převzali podle Herodota také Řekové; modifikovali je však podle egyptského vzoru. Egypťané totiž udávali u slunečních hodin délku stínu, Mezopotámci vhodněji úhel stínu, tj. úhlovou odchylku od severního směru. Čas však měřili v Mezopotámii také vodními hodinami, a to podle hmotnosti vyteklé vody. Voda vytékala malým otvorem u dna z nádoby, do níž neustále přitékala voda shora a udržovala hladinu ve stále výši. Jednotkou času byl den rozdělený na šest *sussu*, tj. stráží či bdění. Každá z nich se dále dělila na deset „hodin“ po 24 minutách a 60 sekundách. Hmotnost vody vyteklé z veřejných hodin za určitou časovou jednotku byla jednotkou hmotnosti. Šlo tedy o racionální, koherentní soustavu jednotek, jejíž obdoba se v Evropě objevila až na sklonku 18. stol. ve Francii.

Dělení jednotek na šedesátiny souviselo s šedesátkovou číselnou soustavou, kterou byla nahrazena starší soustava desítková. Číslo 60 mělo mimořádný praktický význam a dostalo se mu také zvláštního názvu, např. i u nás (kopa). Posvátný význam mělo číslo sedm — Mezopotámci znali sedm planet, měli sedmidenní týden a také rozeznávali sedm interferenčních barev objevujících se na vrstvách oleje na vodě; tvar skvrn jim však sloužil k věštění! Definovali také dvanáct zvířetnickových souhvězdí a přiřadili jim dvanáct měsíců. Od 8. stol. př. n. l. začali sestavovat seznamy hvězd, vedli záznamy o astronomických jevech a objevili tak periodu slunečních a měsíčních zatmění, rovnající se $6585 +$ jedné třetině dne, kterou později Řekové nazvali *sáros* a která pod tímto názvem vešla i do naší astronomie. Dovedli však předpovědět nejen dobu zatmění, ale dokonce uměli určit i meze oblastí, v nichž bude sluneční zatmění viditelné (samozřejmě předpokládali platnost zákona přímočarého šíření světla). Zachoval se záznam o měření polohy Merkuru s

přesností 4 setiny sekundy — což ukazuje na užití dioptru a zavdává podnět k domněnkám, že snad měli také dalekohled; nalezená čočka v troskách Ninive ovšem neumožňuje rozhodnout, zda sloužila k vědeckým, nebo jiným účelům.

Jako velké stavby nepřímo, tak některá vyobrazení ukazují přímo, že znali jednoduché stroje (kladku, páku, kolo na hřídeli, nakloněnou rovinu, klín a šroub). O starověkém Egyptě je dokonce známo mnohem více než o všech ostatních říčních civilizacích. Zachovalo se totiž takové množství nápisů, výtvarných znázornění nejrůznějších situací i architektonických památek, že věda nebyla dodnes s to je všechny zpracovat. Vše však vede k závěru, že Egypťané jsou učiteli Řeků a že jejich znalosti navršené během 4 tisíciletí byly nejen originální, ale pravděpodobně také větší, než si odvážíme připustit.

Egypťská věda vyrostla z podobných pohnutek jako věda babylónská. Jasně však je, že datum záplav Nilu bylo nutno stanovit ještě přesněji a pole po opadnutí vod bylo třeba vyměřit ještě rychleji než kdekoli jinde, aby půda mohla být předána majitelům k zasetí. Není tedy divu, že Egypťané byli skvělými geometry. O vyměřování pyramid se sice nezachoval žádný autentický záznam, ale vymezení čtvercové základny pyramidy o straně dlouhé 233 m, a to základny přesně vodorovné a orientované ke světovým stranám s přesností úhlových minut, by bylo nemalým problémem i dnes. O dovednostech technických i organizačních svědčí lámání kamene pro pyramidy na druhém břehu Nilu, řezání krychlí o hranách dlouhých cca 80 cm, doprava miliónů těchto kusů o hmotnosti 2500 kg přes řeku na vzdálenost mnoha kilometrů a nakonec jejich zvedání do výše až 150 metrů. Že museli egypťští stavitelé znát různé mechanismy násobící sílu, ukazuje i případ karnackého monolitu vážícího 374 tun, který stojí po tisíce let jen vlastní vahou na přesně vodorovné základně; vztyčit jej by bylo i dnes obtížné. O tom, že se Egypťané vyznali také v hydrodynamice, svědčí jak obrazy násosek, tak třeba i úpravy Moerisova jezera, jehož vodami zavodňovali podle potřeby pozem-

ky vzdálených oáz. Dodnes nevíme, můžeme-li na základě nalezených zrcadel a stožárů pobitých mědí soudit na znalosti z optiky a elektřiny.

Délky, úhly, plochy, hmotnost a čas měřili Egypťané podobným způsobem a se stejnou přesností jako v Mezopotámii. Vážení na rovnoramenných vahách bylo v Egyptě běžné a některá závaží ve tvaru figurek zvířat se dodnes zachovala. K vyměřování staveb jim sloužila měřičská hůl. K měření času poznamenejme jen to, že rok o přesně 365 dnech dělili na 12 měsíců po 30 dnech s pěti doplňkovými dny. Záměrně ignorovali onu čtvrtinu dne, o kterou je rok delší než 365 dní. Každého čtvrtého roku tedy připadl nový rok na jiný den. Neměli však kalendář s pevným počátkem, léta počítali podle let vlády příslušného panovníka, a proto také má v egyptské chronologii posloupnost faraonů mimořádný význam. Den dělil na 12 denních a 12 nočních hodin; nedostatkem tohoto systému byla ovšem proměnlivost denních a nočních hodin během roku.

Za mistry v chronologii považovali Egypťany i Římané — při reformě kalendáře se obrátil Caesar na Egypťana Sósýgena. Také z Egypta přešlo do našeho života víc prvků vzdělanosti, než si zpravidla uvědomujeme; stalo se tak prostřednictvím Řeků.

STAROVĚKÉ ŘECKO A PŘÍNOS JEHO FILOZOFŮ FYZICE

Ještě vyšší kulturní úroveň oproti dávným říčním civilizacím se za otrokářského řádu vyznačovaly některé přímořské oblasti, k nimž patřily kraje obývané Féničany, Kartagiňany, Řeky a později Římany. Nositeli pokroku ve vědách a zakladateli teoretického, filozofického způsobu nazírání na přírodní jevy byli Řekové.

Mezi řeckou fyzikou a naší je celá propast; nejen pokud jde o obsah, ale i v metodách a cílech. Je pozoruhodné, že u Řeků nacházíme prvky všech základních fyzikálních oborů; zato za hlavní metodu „poznání nového“ pokládali filozofickou spekulaci a prostá pozorování (např. Aristotelés). Nelze jim to ovšem vytýkat, neboť šlo o první pokus v dějinách o racionální vy-

světlení objektivní reality — a právě pro nedostatek zkušeností nemohli ještě vědět, že čistě filozofická cesta k tomuto cíli je slepá. Daleko měli také k technice — alespoň jejich filozofové, neboť jako příslušníci vládnoucí třídy se jí nepotřebovali vůbec zabývat a nenutil je k tomu ani nedostatek pracovních sil, vždyť otroků byl tehdy v Řecku nadbytek. A tak se empirická přírodověda rozvíjí jen jako vedlejší produkt řemesel, která ovšem myslitelé, stejně jako veškerou fyzickou práci, vědomě a soustavně přezírali.

Tím se dá vysvětlit mnoho naivního a fantastického v antické přírodovědě. Pouze zcela výjimečně se probouzí u geometrů, astronomů, konstruktérů či lékařů snaha vyzkoušet si něco sami. A je-li tomu už někdy tak, pak většinou ne proto, aby se poznal nějaký nový fakt, ale spíše proto, aby byli oslněni diváci jakýmsi kouzelnickým kouskem, který demonstroval moudrost autora podobně jako třeba brilantní řečnický výkon. S tím souvisela i specifická forma teoretických konstrukcí antických mudrců: abstraktnost a odtrženost od přírody i života — avšak zároveň logická a verbální vybroušenost a ukončenost závěrů a úsudků. Jejím typickým a nejvyšším vrcholem byla axiomatická forma; do ní už totiž nešlo nic vložit a z ní všechno vyplývalo nezávisle na další zkušenosti. A konečně — staří myslitelé se nedovedli smířit a spokojit s mravenčí, soustavnou a pomalou experimentální prací, o níž netušili, že jediná vede k cíli, tj. ke skutečně novému poznání. Snažili se naopak řešit nejnáročnější a nejobecnější problémy, včetně otázek o původu světa, o základních prvcích bytí a hmoty, filozoficky a tak jediným geniálním rozmachem rozetnout gordický uzel všech fyzikálních problémů. To vedlo k extrémům: Řekové buď propadají úplnému skepticizmu (např. sofisté), nebo obracejí pozornost k jiným problémům než „kosmologickým“ čili také fyzikálním (Sokrates), nebo dokonce docházejí k mysticismu, kde bylo „řešení“ všech problémů nabíledni. Na druhé straně však k „*theoria physiké*“, tj. k čisté vědě o přírodě na základě rozumu, při vyloučení všech nadpřirozených prvků, dospěli jako první právě Řekové. Je zajímavé, že východ-

ní národy, jakmile již začaly přejímat vyšší kulturu Řeků, přece k ní vždy přimísily prvky mysticismu — Řekové naopak, ač přejímali vědění z Egypta a Babylonu, je těchto prvků zpravidla zbavovali.

Platí to již o prvním řeckém filozofovi jónského období čili předathénskému období — o THALÉTOVI Z MÍLÉTU (?624—?548 př. n. l.), zakladateli mílétské školy. Pocházel z Fénicie a rozhodl se věnovat teoretickému bádání; až ve starším věku se odebral do Egypta, právě tehdy otevřeného i pro cizince rozhodnutím faraona Psamneticha (kolem r. 670 př. n. l.). Je pozoruhodné, že v té době dílky Thalétovi rozkvétají v Mílétu hned tři nové obory, do té doby Řekům neznámé: filozofie, astronomie a matematika, což ukazuje na pravděpodobný vliv jeho egyptských učitelů. Thalés je autorem matematické věty o obvodových úhlech nad průměrem kružnice, jež patří k prvním obecným poučkám v dějinách vědy. Ukazuje tím, že již pochopil význam obecných vztahů, a proto se snažil formulovat na podobné úrovni také své názory astronomické, filozofické a fyzikální. Z astronomie se mu připisuje předpověď slunečního zatmění na základě periody *sáros* (28. 5. 585 př. n. l.), objev sklonu ekliptiky k rovníku, zjištění kulového tvaru Země na základě tvaru stínu Země vrhaného na Měsíc aj. V přírodní filozofii obsahující tehdy také fyziku proslul výrokem, že veškerý hmotný svět pochází z jediné pralátky, v níž se zase vše postupně mění; touto primární hmotou mu byla voda. Ve výroku je obsažena víra a vědecký postoj autora, že totiž vše má společnou materiální příčinu, dále to, že základní otázky lze vysvětlit racionálně, a konečně předpoklad, že světu je možno porozumět z hlediska jediného základního principu. Tyto ideje se hluboce vryly do mysli jeho žáků a nesčetných pozdějších následovníků. Od Thaléta pochází i první zmínka o elektřině, vznikající třením jantaru, a výrok o magnetismu („magnetovec má duši“).

Přílišné konkrétnosti zbavil onu pralátku jeho první žák a nástupce ANAXIMANDROS, který chápal prvotní hmotu jako realitu kvalitativně neurčitou a kvantitativně nekonečnou, smyslem nepřístupnou (*apeiron*), z níž

vše pochází a do níž zase vše spěje. Prvotní hmota je neměnná a nekonečná a její jedinou vlastností je nediferencované bytí. Protikladem tohoto konstantního bytí je proměnné dění — a teprve děním, jež je vlastně jakýmsi zhoršováním onoho konstantního bytí, vyvstávají primární protiklady: teplé — studené, suché — vlhké. Přitom přechodné vítězství jednoho z těchto atributů je nakonec vždy „odpykáno“ přechodem k původnímu bytí. Konkrétní látky jsou jen výsledkem kombinace oněch atributů, zejména

studené + vlhké = kapalina (zvaná tehdy „voda“);

studené + suché = pevná látka („země“);

teplé + vlhké = plyn („vzduch“);

teplé + suché = plazma („oheň“).

Vidíme, že Řekové si na jedné straně uvědomovali existenci všech skupenství, „živlů“, že je však považovali za odvozené z abstraktních atributů. Uvedený příklad je nejen ilustrací řeckého filozofického myšlení, ale i základním schématem, které převzal a prohloubil Aristoteles a které se udrželo na univerzitách až do dob Galileiho. Jakoukoli pevnou látku lze tedy „namíchat“ pouhou změnou zastoupení atributů nebo vůbec změnou jiných elementů; tato idea se stala později základem alchymie a měla dalekosáhlé historické důsledky. Nebudeme srovnávat a kritizovat učení dalších milétských přírodních filozofů; všichni nás však dodnes udivují svou racionalitou, hloubkou a bystrostí pohledů i vysokou abstraktností. Připisují se jim i různé konkrétní objevy. Například ANAXIMENÉS zavedl pojem tepelného záření, jež „je neviditelné, ale ohřívá Zemi“; ohřátí Země od vzdálených hvězd je prý nepozorovatelné jen proto, že jsou nesmírně vzdálené — toto tvrzení je v podstatě správné.

Dosavadní směr vývoje však byl zlomen PYTHAGOREM ZE SAMU (asi 6. stol. př. n. l.) a jeho školou. Pythagoras studoval rovněž v Egyptě a prý i v Babylónu a byl žákem Thalétovým a Anaximandrovým. Usadil se v jihoitalském městě Krotónu u Tarentského zálivu, kde založil školu. Měla ráz tajného filozoficko-náboženského spolku s velkými politickými ambicemi. Základním rysem jejího učení je, že podstatou všeho dění i věcí

nejsou snad nějaké látky či atributy, ale číselné vztahy mezi kvantitativně vyjádřitelnými vlastnostmi věcí, a že právě tyto číselné poměry jsou identické s „principy věcí“. Tato idea nutila pythagorejce hledat ve všem a všude číselné vztahy — a tak nakonec dospěli k číselné mystice a idealismu. První podnět k těmto koncepcím však byl docela prozaický. Když prý šel Pythagoras kolem kovárny, všiml si, že bušící kladiva otroků vydávají nápadně krásné, harmonické tóny. Shledal, že odlišnost tónů tvořících kvartu, kvintu a oktávu je dána odlišností hmotnosti kladiv v poměru 1, 3/4, 2/3, 1/2. Po návratu domů zavěsil obdobná závaží na čtyři stejné struny a zjistil stejné intervaly. Jde pravděpodobně o jeden z prvních pokusů v dějinách fyziky a také o první matematickou teorii: hudební intervaly byly redukovány na číselné poměry! Intervaly byly nakonec považovány za konsonantní proto, že jsou dány poměry malých čísel; proto byla vyloučena z konsonantních souzvuků tercie, jež sice je libozvučná, podle Pythagora však daná poměrem 4/5, a proto prý disonantní. Náprava se stala v hudební teorii až v 18. stol., kdy byla celá nauka o harmonii založena na tercii (Rameau). Podobné harmonie hledali pythagorejci všude, zejména na obloze. Protože v obloze spatřovali vzor dokonalosti a harmonie — čili z čistě apriorních důvodů nepodepřených žádným pozorováním —, umístili do středu vesmíru „nejčistší z živlů“, tj. oheň (a nikoli Zemi). Okolo tohoto centrálního ohně dali obíhat v „harmonických vzdálenostech“ Zemi a kvůli symetrii také hypotetické Protizemi, dále ostatním planetám a nakonec sféře stálic. Protizemi ležící na druhé straně od centrálního ohně nelze ovšem ze Země nikdy spatřit; vymyšlena byla proto, aby počet nebeských těles byl roven mystickému číslu 10. Slunce a Měsíc prý září jen světlem odraženým od onoho hypotetického centrálního ohně. Proto také Koperník, když připsal Zemi pohyb, byl označen za pythagorejce.

Také pro výklad problémů vidění podal Pythagoras prvou „teorii“, s níž se polemizovalo až do 17. stol.: z oka prý vycházejí emanace, výrony, jež se po odrazu od tělesa vracejí zpět do oka a vyvolávají v něm zra-

kový vjem. ARCHYTAS Z TARENTU je nazval „zrakové paprsky“ a EUKLEIDÉS Z ALEXANDRIE vysvětlil jejich konečným počtem to, že nevidíme předměty malé a vzdálené. Eukleidés dodává, že tyto subjektivní paprsky se šíří přímočaře a odrážejí se stejně jako objektivní paprsky sluneční. EMPEDOKLES Z AKRAGANTU naopak učí, že emanace vycházejí z předmětů. Jeho žák Leukippos zase učil, že z předmětů vycházejí „podobnosti věcí“. Z dalších filozofů si všimneme již jen atomistů a Aristotela, protože nejvíce ovlivnil další vývoj, a konečně Platóna, protože vyslovil mínění v té době nejrozšířenější.

Hlavní ideje antického atomismu vyslovil LEUKIPPOS Z MÍLÉTU v 5. stol. př. n. l. a dále je rozvinul jeho žák DÉMOKRITOS Z ABDÉR (?460—370 př. n. l.). Svě značné jmění vynaložil Démokritos na cestování po Babylónii, Persii a Egyptě a na studium, takže mohl o sobě prohlásit, že ve srovnání se svými současníky projel největší počet zemí, zkoumal nejpodivnější jevy a slyšel nejvíc učenců; v matematice a v důkazech ho nepředčil nikdo, ani egyptští zeměměřiči. Jediného objevu si cenil výše než perského trůnu. K jeho matematickým objevům patří odvození vzorce pro objem jehlanu a kužele.

Démokritos učí, že naše vjemy postihují jen jevovou stránku skutečnosti; podstatou všeho jsou částice (atomy) a prázdnota. Částice jsou nedělitelné, věčné, neměnné a jsou nositeli kvantitativních, nikoli kvalitativních vlastností; mají např. určitý geometrický tvar a hmotnost, nikoli barvu, vůni a podobně. Vlastnosti těles, stejně jako celá tělesa nejsou primární, ale vznikají teprve kombinací atomů. Také duše není nic jiného než soustava jemných atomů pronikajících celým tělem; mezi dvěma obyčejnými atomy je vždy jeden řídicí, duševní, který je ovšem také materiální. Sídlem myšlení je mozek, tak jako srdce je sídlem citu a játra střediskem vášně. Démokritos vystupuje velmi ostře proti panujícímu učení o paprscích vystupujících z oka a tvrdí, že vidění je podmíněno dopadem malých atomů, které se odlupují z předmětu, na povrch oka. Předpokládá také, že svítící předměty vysílají do okolí obrazy (*eidola*) předmětů, jež pronikají póry smyslových orgá-

nů do duše. Emanční teorie světla užívala později této ideje k objasnění obrazů vytvářených optickými soustavami, a to až do nové doby (18. stol.). Učení Démokritovo je veskrze materialistické; prohloubil je EPIKÚROS ZE SAMU a posléze je obsáhle zachytil ve svém básnickém díle římský spisovatel Lucretius Carus. Na učení atomistů navázali novověcí přírodovědci — fyzici a zejména chemici; podstatu učení nezměnili, jen mu dodali matematickou formu a experimentální důkazy.

Zatímco uvedené názory sejevily v antickém období průměrnému občanu jako výstřední a učené, „standardní názor“ antiky můžeme vyčíst z PLATONA (?427—?347 př. n. l.). Pocházel z aristokratické athénské rodiny a také byl mluvčím otrokářské aristokracie. Mínění o jeho vlivu na přírodovědu se značně různí; z hlediska samotné fyziky bychom ho mohli téměř ignorovat. Za zmínku stojí to, že spojil Pythagorovy zrakové paprsky s ideou výronů vycházejících z těles; později dostalo toto spojení název *synaugie*. Teprve dotykem obojích paprsků prý vznikají zrakové vjemy. Dále tuto myšlenku modifikoval Galénos z Pergamu; z toho je vidět, jak těžké bylo pochopit mechanismus zobrazení v oku a podstatu vidění.

Zajímavý je dialog *Timaios*, v němž Platón říká, že Země je středem vesmíru, že je kulová a planety kolem ní obíhají ve vzdálenostech, jejichž poměry odpovídají poměrům mezi harmonickými tóny — a vyvolávají proto „hudbu sfér“. Na kulaté Zemi je ovšem možná existence protinožců, neboť tělesa jsou přitahována k jejímu středu. Svět živlů rozhojnil Platón o pátý živel *quinta essentia*, *kvintesenci* čili éter, dokonalejší než čtyři živly na Zemi, který je materiálem, z něhož je vybudován nebeský svět. Jednotlivým živlům dokonce připsal po jednom pravidelném tělese a živly lokalizoval do jejich „přirozených míst“. Například přirozené místo ohně je nahoře, proto směřuje vždy vzhůru, místo zeminy dole, proto všechna pevná tělesa padají ke středu Země; proto také Země musí mít tvar koule. Hmotný svět je však jen nepravým bytím; pravý je „svět idejí“. Matematika je předstupněm filozofického poznávání světa idejí a má tedy vzhledem k Platónově filozofii propedeutický

charakter. Proto také nápis nad vchodem do Platónovy *Akademie* hlásal, že nikdo do ní nesmí vstoupit bez znalosti geometrie. Tato zásada naštěstí přešla do většiny filozofických škol Evropy a posléze i na středověké univerzity. Nedostatek podobných zásad u Platónových současníků v Číně (u Konfucia aj.) a ignorování matematiky jako základní složky vzdělání bylo jistě jedním z důvodů pozdější stagnace a zaostávání čínské vědy. Platónovo pojetí matematiky však bylo velmi zvláštní: odmítl „snižovat“ matematiku aplikacemi na fyzikální či astronomické problémy; matematika měla sloužit jen jako prostředek ke zdokonalení abstraktního myšlení potřebného k pochopení světa idejí.

Na rozhraní řeckých dějin, mezi érou samostatných řeckých obcí a érou nadvlády Makedoňanů, působil v Athénách ARISTOTELES ZE STAGEIRY (384—322 př. n. l.). Jeho vliv zprvu nebyl v řeckém světě velký, ale s časovým odstupem narůstal, takže třeba u Arabů a zejména u západoevropských scholastiků byl nakonec dominantní; z hlediska fyziky byl však tento vliv převážně negativní. S Aristotelem a s doslovnou interpretací bible museli zápasit také zakladatelé novověké fyziky; podstatě jejich problémů lze tedy porozumět jen přes Aristotela.

Pocházel z rodiny lékaře a později také sám formálně patřil k „asklépiovcům“, lékařům; ve skutečnosti však byl po celý život filozofem a stal se zakladatelem peripatetické filozofické školy. Jako chlapec se octl u dvora v makedonském sídelním městě Pelle, kde byl jeho otec dvorním lékařem. Tam se seznámil s budoucím králem Filippem, otcem Alexandra Velikého. Po předčasné smrti Aristotelova otce přivábila sedmnáctiletého mladíka vědecká sláva do Platónovy *Akademie*, kde setrval dvacet let, až do smrti mistra. Poté založil vlastní školu, *Lykeion* (lyceum), nějakou dobu pobýval u svého žáka, tyrana Hermia v Malé Asii, kde se také oženil s jeho krásnou neteří. Za perské okupace však prchl do Mytilény, odkud byl asi jako čtyřicetiletý povolán za vychovatele čtrnáctiletého Alexandra Velikého. Měl nepochybně vliv na intelektuální rozvoj i velkolepé plány svého žáka. Ač se později spolu rozešli pro

Alexandrův despotismus, přece mladý král konstatuje: „Otci vděčím za život a Aristotelovi za vše, co mu dává cenu.“ Alexandr prý dal pro Aristotela sbírat vědecké zajímavosti, literaturu a zprávy ze všech svých výprav a dal mu také k ruce desítky vzdělaných asistentů. Když však nakonec po Alexandrově smrti zvítězila v Athénách strana protimakedonská, nedělal si Aristoteles žádné iluze o svém pravděpodobném osudu a prchl do Chalkidy na ostrov Euboia — „aby nedal athénským spoluobčanům příležitost spáchat podruhé zločin proti filozofii“, čímž narážel na osud Sokratův. Tam také Aristoteles zemřel.

Rozsahem svého díla a zakladatelským významem pro většinu evropských věd se řadí k nejvýznamnějším badatelům a filozofům vůbec. Přihlédneme-li jen k jeho názorům fyzikálním, můžeme říci, že příroda je v jeho díle chápána v zásadě materialisticky; není totiž ničím jiným než souborem fyzických těles, sestávajících z látky a z formy (nikoli tedy z atomů!). Zhruba řečeno, tělo živočicha a hromada částic, z nichž je složeno, je po stránce látkové totéž; obojí se však liší tím, že živočich má něco navíc — a to je „podstatná forma“, zvaná u rostlin, zvířat i člověka duše. Látka i forma každého objektu je v ustavičném pohybu. Pohyb však není pouhé přemísťování čili mechanický pohyb, ale také vývoj a růst, což je pohyb příznačný pro říši organickou, a konečně vznik a zánik, který pozorujeme třeba při chemických reakcích, kdy jedny látky vznikají, jiné zanikají. Aristoteles tedy anticipuje rozlišení forem pohybu na mechanické, chemické a biologické. Asi by nám dalo dost práce, než bychom přišli na to, co je těmto třem formám pohybu společné; Aristoteles odpovídá: každé bytí má dvojí stav — možnost a skutečnost. A pohyb není nic jiného než přechod ze stavu možnosti do stavu skutečnosti. Dále veškerý pohyb předpokládá prostor, který je konečný, a čas, který je nekonečný; prostor je spojitě zaplněn hmotou, třeba vzduchem, neboť příroda má strach z prázdnoty. Vždyť vidíme, že např. do prostoru pod píst sací pumpy se hrne voda — aby nebyl porušen tento princip. Zarážející je však již další teze: v prázdňovém prostoru jako

v absolutní negaci hmoty by nebylo možné určení a rozlišení místa, a proto ani pohyb (ve smyslu přemístování) by nebyl možný. Vakuum zaplněné tu a tam atomy tedy není možné, atomismus je proto nesprávný a prázdnoty není. Tato koncepce, zejména popření možnosti existence vakua, byla pro další vývoj fyziky osudná. A ještě zhoubnější byla koncepce další, převzatá sice od starších filozofů, ale propracovaná Aristotelem natolik, že staří myslitelé ji jen ztěží mohli překonat.

Při pátrání po příčinách smyslových vjemů Aristoteles shledával, že jsou jimi čtyři živly (pevné látky, kapaliny, plyny, oheň) a případně pátý éter, jež jsou výsledkem kombinace čtyř základních atributů (teplé, studené, suché, vlhké). Primární vlastnosti věcí, jako jsou geometrický tvar a fyzikální kvantita, tvoří „přirozenost věcí“; poslední krok od abstraktního ke konkrétnímu tvoří vnímatelné vlastnosti věcí jako jsou barva, vůně atd., jež jsou kombinací oněch přirozeností věcí. Také konkrétní podoby živlů, tj. určité skutečné pevné těleso, kapalina atd., mají svoji přirozenost — a k ní patří i vlastnosti „lehké a těžké“. Pevné látky jsou absolutně těžké, jejich „přirozené místo“ je dole; proto, jsou-li ponechány samy sobě, přecházejí „přirozeným pohybem“, tj. nejkratším pohybem čili pohybem po přímce, na své přirozené místo, dolů. Z analogických příčin jde oheň nahoru. Zato vzduch a voda jsou jen relativně lehké, resp. těžké, tj. vzduch je lehký jen vůči zemi a vodě, nikoli vůči ohni, neboť je vzhledem k němu relativně těžký. Podobně voda je relativně těžká vůči vzduchu a ohni, avšak relativně lehká vůči zemi. Proto voda nemůže tlačit na dno, vzduch nemůže tlačit na hladinu kapaliny, např. na hladinu rtuti v tlakoměru atd. Důkaz těchto tezí byl spatřován v tom, že smícháme-li v uzavřené nádobě písek, vodu a vzduch, pak i po promíchání se vždy za určitou dobu nastolí „přirozený pořádek“, tj. písek se octne dole a vzduch nahore. Když tedy Viviani dokázal existenci tlaku vzduchu (v 17. stol.), šlo o překvapující objev nejvyššího, světonázorového významu, vyvracející aristotelskou fyziku v jednom z nejzákladnějších bodů.

Zmíněné vertikální pohyby čtyř pozemských živlů

jsou vždy přímočaré, zrychlené a samovolné, tj. uskutečňují se bez působení vnější síly a jsou finitní, konečné; po dosažení přirozeného místa ustávají. Jsou proto (zvláště pro onu konečnost) pohyby nedokonalými. Dokonalý je jedině ustavičný, infinitní kruhový pohyb na nebi, vlastní tělesům jiného řádu, tj. tělesům z éteru. Kruhový pohyb je přirozeným pohybem *kvintesence* (éteru). U planet, jež jsou Zemi nejbližší, je ještě jakási stopa čtyř pozemských živlů, a proto jejich pohyb není dokonale kruhový ani dokonale rovnoměrný; tato tělesa jsou proto planetami, tj. tělesy bloudícími mezi dokonalými hvězdami, stálicemi. Mechanika nebeských pohybů a pozemských pohybů se diametrálně liší, musejí proto existovat dvě různé mechaniky, stejně jako existuje dvojí složení oněch oblastí (z živlů). Éter čili pátá esence je stavebním materiálem nebe; na Zemi se může objevit jen v podobě světla, jež je jakýmsi přechodným bytím s charakterem přirozenosti mezi prvky pozemskými a nebeským éterem.

Pohyb vzhůru a dolů je „vysvětlen“; pohyb ve směru vodorovném však nemá přirozených příčin a neděje se tedy spontánně. K uskutečnění těchto pohybů musí působit nějaká vnější příčina, hybatel nebo hybná síla, *impetus*. To se zdálo být ve shodě s pozorováním: vodorovně se pohybující tělesa bez *impetu* se nakonec vždy zastaví. Že by mohla existovat setrvačnost u vodorovných pohybů, na to Aristoteles sice také připadá, avšak kategoricky to popírá. Vyslovil dokonce i přesnou formulaci příslušného zákona setrvačnosti, ale vzápětí ji však kategoricky popřel. A tak teprve po 2000 letech stanula tato antiteze k Aristotelovi v čele celé fyziky. Na otázku, co je příčinou oněch vynucených čili nepřirozených pohybů, dává Aristoteles odpověď, která nás dnes doslova omračuje: vzduch! Pohybující se těleso prý totiž svým čelem nejprve vzduch rozrazí, zasune se do masy vzduchu — za tělesem ovšem hrozí vzniknout prázdnota. Aby se tak nestalo, hrne se do takto vznikající prázdnoty vzduch, a to takovou silou, že svým nárazem na zadní stěnu tělesa celé těleso znovu uvádí do pohybu. Vzduch je tedy nezbytně nutný k uskutečnění vynuceného pohybu a vodorovně se pohybující těle-

so se takřka opírá o vzduch. Aristoteles argumentuje dále slovy: „Protože vzduch umožňuje pohyb, pak kdybychom vzduch odstranili — těleso by buď nehnuté stálo, protože by nemělo kam se pohybovat, nebo kdyby se již předtím pohybovalo, pokračovalo by v pohybu stejnou rychlostí věčně.“ A protože toto je absurdní (vždyť pohyby jsou finitní a není nekonečna v prostoru), nemůže vakuum existovat. Kdyby se připustila možnost existence vakua, vedlo by to dále k atomům a posléze k totálnímu ateismu. Objev „Torricelliho vakua“ nad hladinou rtuti u prototypu tlakoměru byl tedy ve své době objevem základního významu s nejvýznamnějšími světonázorovými důsledky. Pochopit, jak hluboké byly důsledky těchto jednoduchých experimentů a tím i celé experimentální metody, lze jedině na pozadí uvedených starých fyzikálních názorů.

Země, jako těleso tvořené nejtěžším živlem, se ovšem nemůže pohybovat, ani se nemá kam pohybovat; musí a priori ležet ve středu vesmíru a musí mít tvar koule. Teze o kulatosti Země byla potvrzena nejen apriorními úvahami, ale také pozorováními: byl znám kruhový tvar zemského stínu na Měsíci, stejně jako zvyšování světového pólu při cestě na sever apod. Aristoteles dokonce odhadl nám dosud neznámou metodou také rozměry zeměkoule — žel opět se mýlil, neboť udával rozměry zhruba dvojnásobné. Jestliže však Kolumbovi odpůrci namítali, že Zemi nelze obeplout, protože má tvar kruhové desky plující v oceánu, byli ještě daleko za Aristotelem!

O volně padajících tělesech Aristoteles věděl, že padají zrychleně, a předpokládal, že ve vakuu by všechna padala stejně rychle, tj. se stejným zrychlením (tento pojem ovšem neznal); toto však byl pohyb čistě fiktivní. O pohybech skutečných, přinosených, prohlásil, že se dějí rychlostí úměrnou váze padajících těles. Vyvrácení této osudné teze čekalo až na Galileiho. Hmota a pohyb existují podle Aristotela od věčnosti a tázat se po jejich původu nemá smyslu. Svět byl v podstatě vždy takový jako dnes — s jedinou výjimkou: kdysi neměla hmota žádnou formu. Nazývá ji proto prvotní hmotou. Jak však získala formu, když dnes vůbec není hmoty

bez formy? A tu Aristoteles říká to, čím se zavděčil středověkým teologům křesťanským i islámským: od věčnosti existuje nejen prvotní hmota, ale také prvotní rozum, *nús*, tj. čistá forma bez hmoty, zkratka „Duch“. Vztah mezi oběma primárními entitami je v tom, že duch udělil prvotní hmotě pohyb a je tedy zároveň prvním nehybným hybatelem. Boha tedy potřebuje Aristoteles do své fyziky z důvodů mechanických! Pohyb ovšem udělil hybatel svým dotykem nejprve sféře stálic, světové klenbě, která je mu nejbližší. Proto je tento pohyb nejdokonalejší, vyznačuje se naprostou pravidelností a neměnností a můžeme podle něj měřit čas. Pohyb éterové sféry se pak předává ostatním sférám, na nichž jsou upevněny stále bližší planety. Všechny sféry jsou soustředné a v jejich společném středu leží Země. Pohyb planet je již méně pravidelný, méně dokonalý a konečně pohyb ve světě sublunárním a na samotné Zemi se vyznačuje úplnou nepravidelností vrcholící v existenci procesů vzniku a zániku. Nicméně zdrojem tohoto pohybu je v poslední instanci opět onen nehybný první hybatel. Zdánlivě bezesporné a logické Aristotelovy teze mechaniky a kosmologie způsobily nesmírnou retardaci mechaniky a celé fyziky; zároveň však podpíraly teologické argumenty středověkých apologetů křesťanství i islámu — a nelze se tedy divit, že právě tito obhájci vynaložili veškeré intelektuální i mocenské prostředky na vyvrácení novodobé fyziky z kořenů. Tento boj byl zásadní, tvrdý a nesmiřitelný. Celé dějiny středověké fyziky se točí hlavně kolem těchto otázek; proto učebnice dějin středověké fyziky vyjmenovávají všechny myslitele a každou tezi, jež se kdy ozvala proti Aristotelovi. Všechny ostatní údaje o středověké fyzice mají vedle těchto otázek význam jen druhořadý.

Aristoteles ovšem měl i pozoruhodně konkrétní vědomosti z mechaniky, zejména ze statiky: znal „jednoduché stroje“ a slovně vyjádřil některé podmínky rovnováhy na těchto mechanismech. Nespokojuje se přitom konstatováním výsledků, ale snaží se je dokonce geometricky odvozovat nejasnými úvahami o vlastnostech kruhových oblouků apod. Akustické, optické a ter-

mické jevy analyzuje v souvislosti s popisem stavby a funkcí příslušných smyslových orgánů. Správně soudí, že zvuk není snad tlak, jímž těleso předává okolnímu vzduchu svůj tvar, jak se domnívali někteří jeho současníci, ale že jde o vzduch v pohybu, dokonce mluví o zhušťování a zředování vyvolané zvučícím tělesem. Stejně obdivuhodné jsou i jeho názory na světlo. V oblasti optiky podobně jako Démokritos bojuje proti koncepci zrakových paprsků a správně klade otázku, proč by oko se svými vlastními zrakovými paprsky nemělo vidět potmě. Někteří staří filozofové přisoudili každému lidskému smyslu jeden z živlů — a na oko připadl oheň; Aristoteles namítá, že by jím měla být spíše voda, u orgánu sluchového vzduch atd. Nešťastné je však jeho pojetí barev — jako směsí elementárního, bílého světla a tmy. Zcela mylná byla jeho představa o teple, jež považuje za jeden z primárních atributů — a vůbec ne za veličinu. Spekuluje dosti složitě o různých účincích tepla, nakonec však otevřeně přiznává, že otázky z této oblasti nelze zatím definitivně rozhodnout. O existenci magnetismu a snad i elektřiny věděl asi tolik, co Thalés, a je zajímavé, že o univerzálním významu těchto jevů netušil vůbec nic, ani jej neinspirovaly k dalším filozofickým úvahám.

Aristoteles tedy na jedné straně překonal všechny své předchůdce a stal se nedostižným vzorem pro své žáky, pokud jde o logickou důslednost a obecnost závěrů i pokud jde o množství různorodých pozitivních vědomostí. Neznal však ani metodu experimentální, ani metodu matematickou, kterou alespoň zásadně uznával jeho učitel Platón — a tak musel nakonec sklouznout do nejhlubších omylů. Byl však především filozofem opírajícím se o svůj systém apriorních, velmi obecných idejí, za druhé zakladatelem popisné přírodovědy a teprve za třetí fyzikem omezujícím se na obecné teze týkající se fyziky. Ve srovnání se svými předchůdci stojí alespoň zásadně vždy na reálné půdě, neúnavně pozoruje a třídí, aby nikdy neztratil ze zřetele nic podstatného. Ve srovnání se svými budoucími přemožiteli však zůstává ve fyzice pouhým spekulujícím filozofem, který se nedovede omezit na opatrný,

pomalý postup v bezchybných krocích, opřených v první řadě o experiment, měření a matematiku.

OD ALEXANDRIJSKÝCH MATEMATIKŮ KE GALILEIMU

Na Aristotelově případu jsme viděli bezmocnost čistě filozofické metody při řešení fyzikálních problémů, což má zásadní význam. Tato skutečnost však jeho současníkům a dlouho ani jeho následníkům nebyla zřejmá. Filozofie proto v očích přírodovědců neztratila na vážnosti. Univerzální přírodovědecké problémy se dokonce zdály být vyřešeny. Řešit konkrétní, „drobné problémy“, či dokonce otázky technické se zdálo být pod důstojnost antických filozofů.

Přesto však i mezi filozofy se začíná již v antice přistupovat k přírodovědeckým problémům z jiného hlediska. Pythagoras a Platón kdysi doporučovali zabývat se matematikou, ne sice kvůli aplikacím, ale z důvodů čistě teoretických. Přesto někteří z jejich následovníků vzali tuto výzvu vážně; pro samu matematiku zprvu odkládali řešení otázek filozofických, ale nakonec ovládají matematické metody tak dokonale, že je dovedou aplikovat na problémy astronomické (Eudoxos), optické (Eukleidés), mechanické (Archytas) a geodetické (Eratosthenés). Matematika jim pomáhá formulovat přesné odpovědi na jednoduché konkrétní otázky, čili právě na ty otázky, o nichž filozofové mlčí. Netrvalo dlouho a matematika se u Řeků osvobodila a oddělila od filozofie. Ke stejné emancipaci posléze pomohla i fyzice, avšak v zastřené formě.

Pojmy fyzika a fyzik v našem smyslu v antice ovšem ještě neexistovaly. Cenné fyzikální poznatky a jejich přesné formulace však již pro fyziku shromažďují matematicky zaměření astronomové, technici a geodeti, většinou matematikové, odborníci a astronomové v jedné osobě. Žel, jen zřídka a výjimečně činí tito badatelé pokusy, a experimentují-li už někdy, nepovažují za hodny záznamu ani tak své postupy, jako spíše výsledky.

Pokud jde o filozofující přírodovědce, můžeme říci, že historický pohled na jejich snažení na sklonku an-

tiky i ve středověku skýtá obraz dosti jednotvárný a neutěšený; na stránkách historie stojí za zaznamenání převážně jen námitky proti Aristotelovi. Metody fyzikálního poznání ani výsledky se již podstatně neobohacují až do Galileiho. Je jistě zarážející, že za bezmála dvě tisíciletí od Archiméda až do předchůdců Galileiho se situace ve fyzice podstatně nezměnila. Je ovšem možno částečně změkčit tvrdost tohoto výroku konstatováním, že Galilei nezačínal přesně tam, kde skončili alexandrijští učenci, ale o něco výše. Žel, tento rozdíl není veliký a lze tedy vývoj celé fyziky v uvedeném období zahrnout do jediné epochy. Je možno také najít některé příčiny naznačených skutečností, tkvící v podstatě otrokářského a feudálního řádu i ve středověké ideologii odvrácené od světa vezdejšího.

Začátek celé epochy však byl velmi slibný. Alexandrijské *Múseion* a práce jeho badatelů představovaly pokrok, jakého dosud v přírodovědě nebylo. Naštěstí ještě před uhasnutím tohoto posledního ohně antické vzdělanosti se od něho postupně zapalují pochodně a září nestejnou silou v Římě a poté ve východní polovině římské říše. Odtud pak čerpají svou vzdělanost Arabové, rozšiřují ji a stávají se učiteli západoevropských scholastiků, v jejichž rukou pochodeň nejprve doutná, až konečně za renesance září evropská věda nejméně stejně jasně jako kdysi v Alexandrii. Z této renesanční vědy vyrostla naše novověká fyzika. Zastavme se nyní u hlavních etap této dlouhé a dramatické cesty.

Alexandrijské Múseion a Archimédes

V helénském období se ve srovnání s obdobím starořeckým mění jak vnější rámec fyziky, tak její vnitřní obsah i motivy bádání. Motivem výzkumů již není jen filozofický zájem o přírodní skutečnosti, ale jsou to mnohem více než předtím také motivy technické, praktické; Archimédes konstruuje různé stroje, Herón zbraňuje. Mění se metoda fyziky, proniká do ní ze všech stran matematika, takže se stává v očích tehdejších vědců takřka součástí geometrie; platí to o optice doslova a o mechanice do značné míry.

Athény, jež kdysi byly střediskem vzdělanosti, hostí ve svých zdech již jen trosky někdejších filozofických škol, které živoří a které nic podstatně nového nepřináší. Naproti tomu v severoegyptské Alexandrii zakládá panovník *Múseion* (*Muzeum*) jako vědeckou instituci, již také projevuje královskou štědrost. Ptolemaios I. Soter zval na svůj dvůr učence a jeho nástupce Ptolemaios II. (vládl 285—246 př. n. l.) založil kolem roku 250 př. n. l. *Múseion*, což již nebyla škola udržovaná jediným filozofem ze školného jako v Athénách, ale státní instituce, jejíž učenci měli pravidelný plat, byly pro ni objednávány přístroje neslýchané přesnosti a ceny, založena botanická a zoologická zahrada a zejména knihovna, jakou starověk dosud neznal. V dobách rozkvětu měla tato knihovna na 700 000 svazků rukopisů, které Ptolemaiovci kupovali v Řecku a v dosahu své moci vyvlastňovali (původním majitelům dávali zhotovovat kopie). Zničení této knihovny v několika etapách patří asi k největším kulturním ztrátám lidstva vůbec. Někdy šlo o nechtěné neštěstí, jako třeba při dobývání Egypta Caesarem, nakonec však o vědomý záměr. V tomto směru se nejvíc „proslavil“ mohamedánský vojevůdce Amru výrokem: „Obsahují-li tyto knihy to, co korán, jsou zbytečné, obsahují-li něco jiného, jsou špatné.“ A tak knihy posloužily k ohřátí vody pro rituální koupel jeho vojáků.

V opisech se však naštěstí zachovala díla největších badatelů alespoň zčásti. Mezi ně lze počítat i Archiméda ze Syrakus, který nějakou dobu v Alexandrii studoval a který také převzal tamější styl vědecké práce: patřil k nejuniverzálnějším duchům své doby, takže zařadí-li ho mezi geometry, půjde o zařazení jen přibližně správné. Z geometrů, kteří obohatili fyziku, je to vedle Archiméda Eukleidés a Eratosthenés, z astronomů je třeba jmenovat Aristarcha ze Samu, Hipparcha a Klaudia Ptolemaia a z mechaniků Ktésibia, Heróna a Filóna z Byzance. Ke každému z nich se ovšem pojí řada objevů ale i legend.

ARCHIMÉDES ZE SYRAKUS (?287—212 př. n. l.) prý pobyl v Alexandrii jen krátce, takže všechny své objevy učinil v rodném městě, které se jako spojenec Kartága

dostalo do války s Římem a bylo zničeno, ač je Archimédes pomáhal velmi účinně hájit pomocí svých neobyčejných technických vynálezů. Byl zabit při dobytí města římským vojákem.

Z jeho asi čtyřiceti vynálezů je známo jen několik, z jeho spisů se zachovalo deset prací. Fyziky se týkají knihy *O rovnováze*, *O plovoucích tělesech*, zčásti *O počtu písečných zrn* a zhruba před sto lety nalezené dílo *Ephodion*. Archimédes je zakladatelem statiky pevných těles a kapalin. Podává správnou definici těžiště, statického momentu síly a odvozuje podmínku rovnováhy na páce. Správně chápe pojem kapaliny a prohlašuje, že volná kapalina musí mít tvar kulový; z toho odvozuje kulový tvar Země. Archimédes pochopil význam pojmu hustoty a našel metody jejího určování; nachází rovněž metody měření objemu těles a formuluje zákon, který dnes nese jeho jméno. Prozkoumal také všechny známé jednoduché stroje a vymyslel k nim další (Archimédův šroub, Archimédův kladkostroj). V optice určil vztah mezi polohou středu a vrcholu kulového zrcadla. Ničím však nevzbudil větší respekt než svými vynálezy z oblasti vojenské techniky; největší obdiv vyvolal jeho glóbus spojený s planetáriem. Dovedl prý svými mechanismy vrhat proti římským lodím a legiím balvany na velkou vzdálenost, zvedat a odhazovat celé lodi a zapalovat je zrcadly. Patří nesporně k největším technikům starověku a k největším vědcům vůbec. Daleko více než vynálezů technických, jež učinil jen příležitostně, si však cenil objevů teoretických. Proto prý také zdobil jeho hrob obraz kužele, polokoule a válce o stejné základně a výšce. Že je poměr objemů těchto těles dán čísly 1:2:3, patří rovněž k jeho objevům. Jeho planetárium viděl později ještě sicilský prokurátor Cicero a z jeho prací usoudil, že šlo o génia „na úrovni téměř neslučitelné s liskou přirozeností“.

Tento postřeh je velmi pozoruhodný a zaslouží si vysvětlení už proto, aby byla patrná odlišnost metod Archimédových a Aristotelových. Pro Archiméda, stejně jako pro pozdější starověké matematiky platilo, že jejich práce byly nanejvýš formálně přesné a vytříbené a že vrchol dokonalosti byl spatřován ve zpracování

axiomatickém. Z výchozích axiomů, jež se přijímají bez zdůvodnění a komentářů, se pak bezchybným matematickým a logickým postupem odvozují všechny myslitelné důsledky. V tomto ohledu měla hlavní vliv celá ideologie antické společnosti, pro niž byl příznačný skepticismus v oblasti gnoseologické. Matematici si totiž byli vědomi, že kdyby takto již předem nezaštíteli svá díla a teorie formální dokonalostí, byli by okamžitě podrobeni nejzhousebnější kritice ze strany filozofů-skeptiků. Proto tedy je i Archimédova metoda čistě deduktivní a agenetická, neboť nedává vůbec možnost nahlédnout do způsobu, jímž byla vytvořena. Avšak právě proto byla jeho cesta cestou sterilní, a to nejen proto, že nevypovídá nic o tom, co je mimo rámec axiomů, ale i proto, že tato cesta je (a zejména byla) svrchovaně obtížná. Nenašel se proto nikdo, kdo by byl schopen v ní se stejným úspěchem pokračovat; proto nezaložil Archimédes žádnou filozofickou či matematickou školu. „Zdá se, že ani pro jeden Archimédův teorém není možno vymyslet objasnění; přečteš-li si ale jeho řešení, zdá se ti, že není nic snadnějšího a prostšího.“ Zřejmě tedy skrýval cestu, po níž dospěl ke svým postulátům a axiomům — a navíc, jeho matematická virtuozita a genialita způsobila, že „v očích možných následovníků byl jakýmsi božstvem, které sice uznávali a kterému se téměř klaněli, které napodobit však se neodvažovali“. Uvedené výroky starých i novodobých autorů dobře charakterizují přednosti deduktivní, matematické cesty ve fyzice, stejně jako její nevýhody z hlediska „psychologie tvorby nového“. Deduktivní matematická metoda se točí kolem postulátů sice bezchybně, ale stále dokola, a nečerpá-li nové podněty empirické, experimentální, stává se nakonec brzdou pokroku. Toto si uvědomili, a to ještě ne úplně, teprve pokračovatelé Galileiho a ovšem zčásti i jejich mistr. Nicméně proti metodám Aristotelovým představují tyto metody skok na kvalitativně novou, vyšší úroveň.

EUKLEIDÉS Z ALEXANDRIE zpracoval tímtož způsobem geometrii a dokonce katoptriku (tj. nauku o odrazu světla a o optických soustavách odrazu využívajících, zejména o rovinných a kulových zrcadlech).

Matematik ERATOSTHENĚS byl správcem alexandrijské knihovny. Je zakladatelem matematického zeměpisu; byl však také filologem a básníkem, filozofem a badatelem v teorii čísel. Určil rozměry Země a popsal dokonce princip své metody. Zjistil totiž, že v hornoegyptské Sieně v den slunovratu ozařuje Slunce v poledne celé dno studny (čili stojí v zenitu), zatímco v Alexandrii stojí téhož dne o padesátinu plného úhlu níže. A protože města leží zhruba na témže poledníku a cestovatelé mu sdělili, jaká je vzdálenost mezi městy, dospěl k řádově správným údajům o rozměrech Země. Ve svém třídílném *Zeměpisu* dokonce tvrdí, že je možná cesta kolem Země.

Z velkých astronomů starověku působil v Alexandrii kolem r. 280 př. n. l. ARISTARCHOS ZE SAMU. Našel metodu, jak určit vzdálenost Měsíce a Slunce. Byl rovněž prvním hlasatelem heliocentrismu. Proti námitkám svých současníků, že roční pohyb Země by musel mít vliv na zdánlivé polohy hvězd, se hájil tím, že jejich vzdálenost je mnohem větší než vzdálenost Měsíce a Slunce, což se snažil demonstrovat zmíněným měřením. Byl zřejmě největším teoretickým astronomem starověku.

Nejvýznamnějším pozorovatelem byl HIPPARCHOS Z NÍKAIE, který řídil alexandrijskou školu v letech 160 až 125 př. n. l. Fyzika právem může závidět astronomii řadu přesných a soustavných měření, které provedl; žel jevy na Zemi stále ještě nepoutaly takovou pozornost učenců jako jevy na obloze. Skutečnost, že se Hipparchos nikdy nevzdaloval od svých měření k filozofickým spekulacím, spasila astronomii od prázdných úvah a mylných cest — a stala se nakonec vzorem i pro fyziku. Určil téměř přesně délku roku, vzdálenost Měsíce i Slunce od Země; všiml si také posouvání jarního bodu (precese) a určil dokonce periodu tohoto pohybu zvanou někdy platónský rok, na 36 000 let. Správná hodnota je nižší (25 725 roků) a obdivuhodně souhlasí s řadou obrazových materiálů v Egyptě z doby vzniku astronomie dávno před Hipparchem. Katalogizoval 1080 hvězd, svými tabulkami a měřeními založil observační astronomii — avšak jako stoupenec geocentrismu vy-

myslel také něco, co mátlu astronomy až do Kopernika. Nepravidelnosti pohybu planet, o nichž si nedovedl představit, že by se pohybovaly po jiných než kružnicových trajektoriích, vysvětlil prostě tak, že středy jejich trajektorií umístil mimo Zemi. Později musely ovšem být připsány pohyby po kružnici i těmto středům, čímž se vše nesmírně zkomplikovalo.

Hipparchovým idejím dal konečnou, matematicky dokonalou podobu poslední velikán alexandrijské školy — KLAUDIOS PTOLEMAIOS (?85—?165). Jeho geocentrická soustava byla považována za nevyvratný fakt až do Kopernika a po něm ještě 200 let se muselo bojovat, než se jí astronomové vzdali. Pro fyziku má význam Ptolemaiovo určení přibližného tvaru zákona lomu světla; zjistil jej pokusně a svoji metodu také popsal. Ale správný tvar zákona nenašel; zanechal svá pozorování jen ve formě tabulek, čili ve formě, na kterou byl zvyklý v astronomii. Jakých nepřesností se přitom dopustil a k čemu to vedlo, uvedeme v dějinách optiky. V tomto směru ho opravil teprve Descartes a Snell v 17. stol. V astronomii učinil chyby dokonce úmyslně.

Z plejády alexandrijských fyziků technického zaměření proslul mezi prvními KTÉSIBIOS ve 3. stol. př. n. l. Stal se zakladatelem tzv. pneumatiky, tj. nauky o mechanismech uváděných do pohybu stlačeným vzduchem. Nevelké sací pumpy byly sice známy již za Aristotela, Ktésibios však vynalezl „pumpu na tlak“. Zdokonalil také vodní hodiny: pohyb zvolna klesající lodičky na vodní hladině v časoměrné nádobě převedl na ukazatel a vymyslel také mechanismus, který každou hodinu vrhal jeden kamének na misku vah. Na misce se tedy dalo spočítat, kolik je hodin — a totéž ukazovalo i vychýlení vahadla. Přesýpací hodiny a vodní hodiny jsou ovšem známy již z Egypta a Mezopotámie. K jeho vynálezům patří podle Vitruvia také vodní varhany a pneumatický katapult („šípomet“).

Zatímco Ktésibios byl prý původně holičem, jeho následovník HERÓN Z ALEXANDRIE se věnoval vědě a technice od začátku — pokud jde o výsledky, stal se největším fyzikem před Galileim, a pokud jde o talent, předstížen byl snad jedině Archimédem. Vedl *Múseion*

někdy kolem r. 130 př. n. l. Domníval se — na rozdíl od Aristotela —, že mezi částicemi plynů i látek jsou mezery, vakuum, a proto jsou plyny stlačitelné. Pomocí vakua vysvětloval i účinek násosek a spojených nádob. Zjistil zředování vzduchu při zahřátí, poznal, že skupenské přechody jsou způsobeny teplem, a dovedl také teplo přeměnit v mechanický pohyb. Na tomto poznání je založeno několik jeho přístrojů, zejména aeolipyla — prototyp reaktivní parní turbíny. Je autorem četných mechanických vynálezů, které sloužily jak běžným potřebám (např. automat na nalévání číše vody za pěti-drachmu, zvedák, olejová lampa se stálým přítokem oleje), tak k měřickým účelům (např. nivelační přístroj s mikrometrickými šrouby, hodometr k měření ujeté dráhy, dioptr, který zdokonalil pro geodetická měření), ale i k pobavení v cirku a k předvádění „divů“ v chrámech.

V optice Herón zobecnil zákon odrazu světla v princip nejkratší dráhy paprsku (při odrazu) a zkoumal teoreticky kuželová zrcadla, válcová zrcadla a různé kombinace rovinných zrcadel. Že nebyl snad jen technicky zaměřeným fyzikem, ukazují zejména jeho práce matematické, z nichž např. odvození vzorce pro obsah trojúhelníka, vyjádřený pomocí délek stran, bylo výkonem obdivuhodným.

Prvním z badatelů ovlivněných Aristotelem byl FILÓN Z BYZANCE. K jeho úspěchům patří vynález termoskopu (teplojevu), tj. baňky přecházející v kapiláru; je-li v kapiláře obarvená kapalina, posouvá se podle toho, jak se vzduch v baňce zahřívá. Mylně bývá toto zařízení připisováno Galileimu, který s jeho pomocí učinil první kroky k vědecké termice. Na Filónovi však již vidíme zhoubný vliv Aristotelova přístupu k výkladu fyzikálních jevů. Filón např. říká, že voda v násosce vystupuje proto, že vzduch vodu táhne a že voda ve vzduchu vázne; funkci termoskopu vysvětluje zase tak, že vzduch je do ohně oblečený a měřením vlastně zjišťujeme rozsah tohoto oblečení. Tyto výroky již dávají tušit, jakými cestami šel výklad přírodních jevů, když Aristoteles dosáhl monopolního postavení ve vědě a filozofii.

Antický Řím

Po ovládnutí Egypta Římem alexandrijská škola sice rázem nezaniká, ale stále více stagnuje, až se nakonec středisko vzdělanosti stěhuje do střediska moci, do Říma. Přírodověda však není ani zdaleka ve středu zájmu Římanů; teoretické otázky ponechávají většinou učeným Řekům, technickou a tělesnou práci otrokům. Největší díla netvoří již originální myslitelé, ale kompilátoři a encyklopedicky zaměření vzdělanci. Je zajímavé, že v oblasti filozofických názorů na přírodu nenabyl v Římě význačnějšího vlivu Aristoteles — nýbrž atomisté! Teleologické učení Aristotelovo, které tvrdilo, že všechno dění v přírodě má konečný cíl, narazilo na odpor jak u stoiků, tak u epikurejců.

Jedinečným pomníkem démokritovského atomismu v římské literatuře je dílo básníka TITA LUCRETIA CARA *O přírodě*. Toto dílo podává jasný obraz světa antického člověka s cílem vyvrátit pověry a zbavit lidstvo strachu před tajemnými silami. Díky uměleckým kvalitám překonalo věky, a to vzdor svému celkovému pojetí i obsahu. Lucretiovo dílo spočívá na idejích Démokritových, pouze ve snaze objasnit magnetismus tento rámcem překračuje.

Encyklopedií přírodovědy, přírodopisu, ale i bájí o přírodě je rozsáhlé dílo vysokého římského úředníka a admirála GAIA PLINIA SECUNDA (STARŠÍHO). Nebyl sice vzděláním ani filozof, ani matematik, ale přesto ve svém díle *Přírodověda (Historia naturalis)* podal na základě svých literárních zkušeností a velké sečtělosti dílo obdivuhodné. Podle 37 knih Pliniova díla, které uvádí prameny, z nichž látku čerpal, a poté pojednává o matematickém popisu vesmíru, o geografii, o člověku, o živočišstvu, o rostlinstvu, o lékařství a o nerostech, včetně jejich využití v umění, si lze učinit jasný obraz o názorech, vědomostech i metodách římské vědy. Do díla pojal především všechno zajímavé; líbí se mu ovšem hlavně to, co je kuriózní a báječné. Nekriticky přijímá údaje a ani ho nenapadne ověřit si sebejednodušší tvrzení; ukazuje to třeba tvrzení o zrušení magnetismu diamantem. V díle se však také zrcadlí zvýšený zájem

o jevy elektrické a magnetické, který později na více než tisíc let úplně vyprchal.

Ještě než se definitivně rozloučíme s antikou, musíme si všimnout také díla římského inženýra a architekta z doby Caesarovy, MARCA VITRUVIA POLLIA. Údaje o jeho životě nejsou známy, zato je známé a běžně dostupné jeho dílo *Deset knih o architektuře*. Je to jediný spis toho druhu v římské literatuře; podává přehled nejen o architektuře, ale také o mechanice a o fyzickém zeměpise; zejména kniha osmá, která pojednává o vodě a vodovodech, devátá o měření času a desátá o strojích. V teorii se drží koncepce čtyř živlů; ve zvuku spatřuje postupný proces obdobný vlnění na vodní hladině a původ říčních vod vidí (na rozdíl od Babylóňanů) ve srážkách. Vítr se snaží objasnit tlakem vodních par, na něž upíná svoji pozornost, a z toho důvodu se také obšírně zabývá Herónovou parní turbínkou. Kladkostroj popisuje jako věc dávno známou a jeho návody ke stavbě vodních mlýnů hrály ještě ve středověku velmi významnou úlohu.

Řecká vzdělanost se však nerozšířila jen do Říma. Zajímavá byla i její cesta na východ, do Byzance, zejména do Konstantinopole. Toto východní císařství bylo jediným legálním dědicem jak římské moci, tak řecké vzdělanosti — bylo vlastně úplně řecké. Přesto se však v dějinách fyziky na tuto oblast zpravidla nijak nesusoustrěduje pozornost. V Byzanci se totiž řecká vzdělanost zachovala, ale nerozvíjela. Některé její složky byly potlačeny křesťanskými císaři, např. byly zrušeny athénské filozofické školy — a mezi těmi složkami kultury, které byly podporovány, přírodověda nikdy nebyla. Konečně Byzanc neměla ani přímý vliv na ty oblasti Evropy, v nichž vyrostla naše novověká fyzika; nepřímé vlivy však přece existovaly.

Antickou vzdělanost uchovali větší měrou než vládnoucí ortodoxní Řekové v Konstantinopoli jejich odpůrci na byzantské půdě, kacířští nestoriáni v Sýrii. Po odsouzení na prvních křesťanských ekumenických koncilech byli nestoriáni pronásledováni — až nakonec našli útluk v zemích na východ od Byzance. Nabyli významného postavení zejména v kultuře perské, ale

i indické a pronikli až do Číny, kam všude přinášeli řeckou vzdělanost. A když v těchto zemích zvítězil islám, našel v nich své první učitele. Tak se nakonec ocitají řecké spisy (v arabských překladech) v rukou islámských učenců — a teprve ti se stávají, zejména na půdě Španělska, učiteli západoevropských scholastiků. Podle tohoto tradičního výkladu jsou tedy velmi důležitým mezičlánkem mezi antikou a obdobím scholastiky Arabové; ti nejenže zachránili antickou kulturu, ale také fyziku částečně rozvinuli. Doba jejich největší slávy však začíná až v 9. stol. a končí ve 14. stol.

Arabská středověká fyzika

Islám zprvu nebyl vědám nakloněn, což je vidět třeba z postoje k alexandrijské knihovně. Překvapivě rychle však kalifové začínají podporovat vědy a zvat k sobě vědce a umělce, a to jistě i pro zvýšení lesku svého dvora. V 8. stol. jsou již dokonce prosperující vysoké školy v Bagdádu i v Córdoba. Ostatně západoevropští panovníci — současníci velkých kalifů — činí totéž v říši franské a podobně postupuje i císař v Konstantinopoli. Výsledkem je nepochybný rozvoj kultury v centrech arabského světa a samozřejmě také ve fyzice se objevují badatelé, kteří překonali staré Řeky. Ze všech je třeba jmenovat alespoň nejpřednější optiky a mechaniky, případně i filozofy, matematiky a astronomy, kteří těmto fyzikům předtím připravili půdu.

O překlady děl řecké, ale také perské a indické naučné literatury se zasloužil AL-CHVÁRIZMÍ z Bagdádu začátkem 9. stol. Arabština měla v islámské oblasti podobný „univerzální“ význam jako v západní Evropě latina. Jeho zásluhou se také rozšiřuje z Indie do arabské oblasti desítková poziční číselná soustava, již užíváme dodnes. K nám se dostala od Arabů, a proto označujeme příslušné cifry jako „arabské číslice“. Později rozvinuli Arabové algebru (sám termín je arabského původu) a trigonometrii, čímž připravili nezbytný matematický aparát i pro fyziku. Z vědeckých oborů se zabývali kromě matematiky nejvíce astronomií (ovšem i astrologií) a chemií (s alchymii). Hodně sil vyna-

ložili také na překlad, výklad a nakonec i na vyvrácení Aristotela. Z hlediska fyziky je konečně významné to, že pochopili, jak důležitá je hustota látek pro jejich rozlišování — a vyvinuli proto velmi přesné metody měření hustoty.

Jejich přední lékaři a přírodovědci se zabývali očními chorobami v Orientu velmi rozšířenými a posléze i okem a procesem zobrazení v oku — to vedlo nakonec k rozvoji geometrické a zobrazovací optiky.

Největší arabský optik a jeden z největších středověkých fyziků vůbec však lékařem nebyl. Jmenoval se IBN AL-HAJSAM, latinsky ALHAZEN (?965—?1038); proslul ve vědách, zejména v geometrii, a když přislíbil, že by dovedl dokonce zařídit, aby nilské záplavy dosahovaly každoročně stejné úrovně, octnul se jako host u káhirského dvora. Slib ovšem splnit nedovedl; dostal však zaměstnání ve státní administrativě. Když však byl přistižen při přestupcích, předstíral šílenství a pro jistotu uprchl z dosahu svého vládcce. Po jeho smrti se vrátil, živil se opisováním knih a ve volných chvílích psal knihy vlastní.

Jeho prvním krokem v optice bylo odmítnutí zrakových paprsků. Prohlásil, že vidění způsobují paprsky vycházející z každého bodu pozorovaného předmětu. Ty vstupují do oka a v čočce (!) vytvářejí obraz. Že i při dvou obrazech máme jediný vjem, je dáno uspořádáním nervů. Do procesu vidění zasahuje však také fantazie a rozum — těmito činiteli lze vyložit zrakové klamy. Alhazen zkoumá mísení barev pomocí rotujícího kotouče — a z toho, že při určité rychlosti se skutečně barvy smísí v bílou, soudí, že světlo má konečnou rychlost! Na jedné straně se tedy dopouští neuvěřitelného omylu, na druhé straně však teoreticky i pokusně dokazuje zákon odrazu, zkoumá odraz na kulových, válcových a kuželových plochách a formuluje matematicky problém, který dlouho býval předmětem výpočtů v optice: určit na zrcadlicí ploše polohu bodu, v němž by odražené světlo přešlo z daného bodového zdroje právě do oka. Určuje dokonce podrobně úhly lomu na různých rozhraních, výsledky tabeluje a dokazuje, že tabulky Ptolemaiovy jsou chybné. Zjišťuje, že paprsek lomený i dopadající

leží v téže rovině dopadu; že by však formuloval zákon lomu, jak se někdy říká, není pravděpodobné. Zkoumá zvětšení skly ve tvaru ploskovypuklých čoček, další závěry však již nečiní a nemůže být proto pokládán za zakladatele dioptriky. Na další rozvoj optiky měl však velký vliv; důležité proto také bylo jeho radikální odmítnutí Aristotela.

Arabové rozvinuli také nauku o přesném měření hustoty látek. Opírali se přitom o Archimédův zákon a o metody dvojího vážení těles (na vzduchu a v kapalinách). Důležité výsledky se pojí se jmény AL-RÁZÍ a AL-BÍRÚNÍ. První, zvaný v Evropě RHAZES, zavedl do fyziky hydrostatické váhy, druhý začal s jejich pomocí určovat hustoty pevných látek. Alhazen v knize *O vahách moudrosti* [1143] metodu prohloubil a teoreticky zdůvodnil; uvedl také velký počet měření s přesností na jedno promile a ukázal aplikace metody při identifikaci látek. Je zajímavé, že se zamýšlí i nad vlastnostmi tíže; prohlašuje, že se nedá nijak odstínit, říká, že tíže tělesa je úměrná jeho hmotnosti, ale dochází také k mylnému závěru, že tíha roste se vzdáleností od Země. Definuje rovněž správně rychlost. Na jeho příkladu vidíme, jak se u středověkých vědců mnohdy pojí správné názory a výsledky s kardinálními chybami, ale i s tušením existence všeobecné gravitace.

Kolem r. 1200 již počet arabských vědců a objevitelů ve fyzice prudce klesá. Nebudeme se zabývat příčinami tohoto stavu a přejdeme ke středověké evropské fyzice, jež pokračovala ve směru vytyčeném učenci arabského světa.

Evropská středověká fyzika

Podmínky pro rozvoj fyziky ve středověké křesťanské Evropě byly zejména na počátku velmi nepříznivé, a co horšího — tento stav trval velmi dlouho. V islámském světě se naproti tomu vědy záhy po prvních zmatcích ujali sami kalifové, čili věda se pěstovala přímo z příkazu nejvyšších míst. Byzantská oblast měla tu výhodu, že nepoznala stěhování národů a zprvu ani takový náraz, jakým bylo šíření islámu. V Evropě však trvá

dlouho stěhování národů pod tlakem Hunů, a poté národy již usazené opět ustavičně válčí mezi sebou. A do toho přicházejí ještě Avari, Maďaři, Tataři. . . Múzám tedy nezbyvá než „mlčet mezi zbraněmi“.

Po stránce hospodářské je zejména pro raný feudalismus příznačná roztržitost: společnost je atomizována natolik, že téměř každá vesnice je soběstačná a tvoří svět sám pro sebe. Převládá naturální hospodářství. Vědě se věnuje jen velmi málo lidí; inteligence se rekrutuje jedině z řad kléru. Náзор těchto vzdělanců je proto velmi podstatně ovlivněn učením církve, která do podrobností stanoví jejich vzdělání i činnost a formuluje středověký obraz světa. Postavení fyziky tedy značně záviselo na tom, jakého místa se jí dostane v celém středověkém názoru.

Základním rysem názoru středověkého učenice byla úplná jasnost a jistota poznání o původu, stavbě, cíli i účelu celého světa. Jeho vědění bylo ucelené, bez jakýchkoli trhlin, jež by skýtaly důvod k přemýšlení či pochybování. Síla tohoto názoru spočívala ve shodě poznání přirozeného čili filozofického (a vůbec ne empirického) s poznáním nadpřirozeným čili se zjevením kodifikovaným biblí. Akceptovat zjevení jako jeden pramen poznání bylo dokonce nutnou podmínkou poznání, neboť lidský rozum je v důsledku prvotního hříchu trvale oslaben a není schopen pravdivého poznání bez osvícení vírou. Tuto stěžejní zásadu lapidárně vyslovil Anselm z Canterbury: „Věřím, abych chápal.“ A víra hlásá stvoření veškerého světa na počátku času z ničeho, stvoření člověka šestého dne v ráji, jeho pozdější hřích a konečně vykoupení z tohoto hříchu Kristem. Toto vykoupení je základní ideou, která proniká také veškeré poznání světa vezdejšího i nadpřirozeného. Zkoumání a vykládání přírody nemá význam samo o sobě, ale jen ve vztahu k této ideji. „Přírodní věda jedná o neviditelných příčinách viditelných věcí,“ učí de Beauvais. Spekulace o přírodě postupují deduktivně, vycházejíce z uvedeného obecného principu. Induktivní, empirické zkoumání je zbytečné, podezřelé a v některých případech dokonce nedovolené — např. anatomie a pitva lidského těla. Tolik lze říci o přístupu k empirické vědě. A po-

kud jde o její obsah, je jasné, že tento obsah nemůže být ve sporu se zjevením, tj. s dříve uvedeným názorem babylónsko-biblickým. To platí bez výjimky až do nástupu aristotelismu ve 13. stol. Názor Aristotelův v oblasti fyziky byl již uveden; středověký aristotelický názor nebyl ovšem totožný s názorem antickým, ale byl doplněn a modifikován křesťanskými ideami.

K základním vlastnostem Země, tvořené nejtěžším živlem, patří tíha, kterou každý pocítuje, dále nehybnost (pohyb Země jako celku nikdo nepocítuje) a výjimečnost Země. Ta je dána tím, že ji obývá člověk, vrchol všeho stvoření, pro něhož bylo vše učiněno již na počátku a pro něhož sestoupil sám syn boží s nebe na zem. Na Zemi jako na střed světa působí všechna okolní tělesa, takže jak zdar organického života, tak osudy jednotlivce jsou předurčeny konstelací hvězd při jeho narození. Ze Země vycházejí síly i lehké živly (oheň a vzduch), stoupají vzhůru a vytvářejí ve výšinách ovzduší komety a meteory, jež věští neblahé události pro celé lidské pokolení. Planety jsou upevněny na průhledných sférách, jež se otáčejí kolem Země. Nad nejvyšší z nich, tj. nad sférou stálic, je nebe, kam stoupají duchové spravedlivých a obklopují boží trůn. Duchové hříšníků klesají do pekel, která jsou pod zemí, mají tvar sedmipatrové nálevky a směřují do středu Země. Nad středem Země, která má tvar disku nebo klenby, je střed našeho světa — Jeruzalém, město, v němž Kristus dovršil vykoupení lidského rodu. Velký rozruch vzbudilo tvrzení, že Země by snad mohla být jako jablko, po němž bychom mohli obejít kolem dokola jako moucha. Pak by ovšem bylo ještě cosi pod středem Země, pod peklím, pak by snad mohli existovat protinožci a chodili by asi hlavou dolů. Byli by však stejní jako my, protože lidstvo je stejného původu a pochází od Adama. Jak se však protinožci dostali na druhou stranu světového oceánu? Vždyť by byli museli spadnout dolů, v tečném směru k zemskému oblouku. Pravděpodobně tedy jiných než nám známých tří kontinentů není; nejsou ani filozofické důvody pro jejich existenci a v biblí se o nich nic neříká. Pozornost je třeba upoutat ne k obvodu, ale ke středu světa, k Je-

ruzalému, který je v rukou nevěřících — a je třeba jej osvobodit. To bude činem nanejvýš záslužným pro věčnou spásu.

Smyslem lidského života je dojít vlastní, individuální spásy, smyslem historie celého lidstva je přivést ke spásě všechny národy, a to prostřednictvím církve. Je v zájmu všech, aby světlo spásy bylo přineseno co nejrychleji všem národům, a to hlásáním slova božího; narazí-li však na odpor, tedy i mečem.

Péče o blaho na Zemi je sice dovolená, ale z hlediska spásy v podstatě zbytečná. Není třeba vědy, jež by svými důsledky snad život usnadnila, naopak — utrpením a dobrými skutky lze získat zásluhy pro život věčný. Také léčení je zbytečné, vždyť lékař jen léčí, ale bůh uzdravuje. Všechno pozemské, i věda, je pomíjivé; nová fakta jsou zbytečná a podezřelá a netřeba je hledat, neboť všechno podstatné z hlediska spásy bylo již vysloveno v učení církve. Důležitější než nauku rozvíjet je nauce se učit a rytířsky ji hájit před mnohými útoky. Proto také není žádných laboratoří na univerzitách, ale jsou honosné disputace podobné rytířským turnajům; nejvíce se při nich cení dialektická obratnost v argumentaci a přesná, pohotová znalost nauk a jejich latinská formulace.

Výrazem definitivnosti a dokonalosti bytí a symptomem pravdivosti poznání je univerzální jednota: jeden je bůh, jeden je svět jím jedenkrát stvořený. Jeden je tvor, kvůli němuž vše bylo stvořeno; ten také sídlí na jediném obyvatelném tělese — na Zemi. Člověk spáchal jeden první hřích a ten jediný je dědičný a je příčinou smrti. Člověk však byl vykoupen jediným aktem ukřižování jediného syna božího, který je také jedinou hlavou církve, jež je jedinou institucí spásy. Kristus má jediného zástupce na Zemi v dané době, římského papeže vybaveného neomylností (ovšem zas jediné ve věcech víry a mravů). Jedno je také světské rameno církve — císař římský, který má dbát jediné prospěchu církve, jež je mezinárodní a v lásce národem jedním. Jejím jazykem je latina a jeden je jak světový názor — daný církví a filozofem (tím je Aristoteles), tak způsob, jak si ho osvojit: posloucháním přednášek na

univerzitě. Na všech univerzitách je jedno učení, přesně podle jedněch a týchž autorů, jejichž výroky se čtou, memorují a disputují. Tradované pravdy jsou dokonalé, jisté a definitivní a víra v ně je podmínkou věčné spásy. Jsou také v podstatě úplné a je tedy nebezpečné o nich pochybovat nebo je doplňovat něčím novým. Hlásání něčeho podstatně odlišného je nebezpečné nejen hlasateli, ale i celé společnosti, a proto musí být znemožněno a trestáno, a to jediným způsobem: upálením. Narušení jedinečné integrity středověkého názoru je čímsi nesmírně závažným a není v poslední instanci ničím jiným než dílem ďábovým ustavičně se snažícím připravit lidstvo o věčnou spásu.

Stagnace vědy ve středověku tedy není dána snad jen příčinami hospodářskými či politickými, ale také uvedenými názory ideologickými. Učenci, kteří začali hlásat jiné názory, museli provést nejprve revoluci „ve svém nitru“, čímž ovšem riskovali vlastní spásu; pak museli najít odvalu ke krokům, jimiž zase riskovali vlastní život. A když překonali obě tyto bariéry, stáli tu podezřelí, s několika izolovanými tezemi netvořícími žádný dokonalý systém; a tak perspektiva jejich úspěchu byla malá, a doba, než se tak stalo, trvala dlouho — přes tisíc let.

Nebyl to nedostatek schopných učenců, ani snad jen nedostatek zájmu feudální společnosti o problémy fyzikální, co způsobilo tuto stagnaci. Ostatně každý, koho jmenují dějiny fyziky středověku, stál většinou jednou nohou (a někdy oběma) na horké půdě kacířství.

Z prvního tisíciletí si zaslouží zmínky alespoň tři muži: Philoponos, Cassiodorus a Gerbert. JAN PHILOPONOS působil v Alexandrii, zaměřil se na boj proti pohanským učencům — až nakonec upadl sám do kacířství, do hypertrinitářství, uznávajícího tři bohy. Našel však také odvahu zaútočit na Aristotela a pro nás je zajímavé, že právě v mechanice. Na matematické fyziky alexandrijského *Múseionu* však Aristoteles neudělal žádný dojem — a dokonce v jednom ztraceném dopise byl prý kritizován Herónem, který říká, že hozený kámen nepotřebuje k pohybu nárazy vzduchu, ale že nese s sebou a zachovává si *dynamis endotheisa* — (dnes by-

chom řekli kinetickou energii). Na výstupném oblouku své trajektorie ji těleso spotřebovává. Philoponos Aristotelovu koncepci pohybu vyvrací a říká, že příčinou pohybu tělesa je jeho vlastní *energeia*, což se později překládalo jako *vis impressa* a u Keplera jako *inertia*; všechny tyto termíny vstoupily natrvalo do dějin fyziky, každý však s jiným obsahem. Energii získává kámen od vrhajícího tělesa, zachovává si ji, popřípadě ztrácí při styku s překážkami. Právě z této ideje vychází po více než 1000 letech Descartes a připisuje tuto vlastnost, tj. schopnost prorazit překážky, součinu hmotnosti a rychlosti tělesa, jenž dostal jméno hybnost.

Pro vzdělanost — zejména v prvním tisíciletí v Evropě — udělal hodně Benedikt z Nursie, který v 6. stol., tedy právě po uzavření athénských pohanských škol, zakládá kláštery křesťanské a dává jim nový program: ne již jen se modlit, ale také pracovat. A že tato práce nemusí být jen tělesná, tomu zase mnichy naučil FLAVIUS MAGNUS AURELIUS CASSIODORUS. Byl dlouho vysokým státním úředníkem v Římě, nakonec dal své velké jmění a statky klášteru za podmínky, že řeholníci budou pěstovat vědy, opisovat literární památky, uchovávat antickou a ovšem také křesťanskou vzdělanost a vychovávat vědecký dorost; zkrátka byla tu idea alexandrijského *Múseionu* v křesťanské podobě, jež daleko přetrvala jak jeho ústav, zvaný *Vivarium*, tak četné kláštery. Cassiodorus provedl přesný opak toho, oč usiloval Firmianus Lactancius ve 4. stol., tj. vymýtit světskou vzdělanost a pozemskou moudrost. Cassiodorus sám také napsal encyklopedii *Učebnice božských a lidských věcí* obsahující mj. sedmero svobodných umění, světové dějiny atd. Mniši tedy vědění z velké části zachovali, ale jen málo ho rozvíjeli.

Mužem, který se pokusil rozproutit stojaté vody, byl Alkuin z Yorku; činil tak z příkazu svého chlebodáře a přítele Karla Velikého. V dějinách přírodovědy však zanechal stopu mnich GERBERT. Studoval na arabských školách ve Španělsku, kde nabyl takových matematických, fyzikálních, astronomických a ovšem i astrologických a alchymických vědomostí, že byl svými vrstevníky ve Francii považován za čaroděje. Toto

uznání bylo ovšem stejně vysoké jako nebezpečné. Exaktním vědám přisoudil význam, jaký v Evropě ještě nikdy neměly, psal o těchto oborech a vymyslel a zdokonalil různé přístroje. V Remeši vybudoval nejslavnější školu v celé říši a získal sympatie císařů Otty I., II. i III. I jako rektor prováděl nadále astronomická a chemická pozorování, a když mu snad hrozilo nebezpečí pro jeho černé umění, zachránil ho Otto III. roztomilým způsobem: prosadil jeho zvolení za papeže. Vůči suverénovi a zástupci Kristovu kritika ovšem již možná nebyla. Ještě jako Gerbert naučil evropské učence desítkové soustavě a arabským číslicím, jako Silvestr II. zjednal cestu „fyzice“ do škol — nebo alespoň snížil odpor k ní, a to jak na katedrálních, tak na klášterních školách. Tento pozitivní rys a postoj se přenesl i na univerzity, které z nich později vznikly.

Celá první polovina druhého tisíciletí v Evropě je již ve znamení scholastiky; nebudeme sledovat boje, které musely být podniknuty, aby ve filozofii zvítězilo a nej-přednějšího místa na středověkých univerzitách dosáhlo učení Aristotelovo. Výsledkem bylo to, že ve 13. stol. již vládne Aristoteles, pečlivě „očistěný“ jak od arabských interpretací, tak od antického pohanství.

V první polovině druhého tisíciletí měl v Evropě pověst největšího přírodovědce ALBERTUS MAGNUS (1193—1280). Byl poctěn titulem *doctor universalis* — a skutečně jeho dílo je encyklopedií tehdejší přírodovědy a dalších oborů. On prosadil Aristotela na univerzity, ale také on jako první konstatoval, že ve fyzice je nutno především přihlížet k pokusům a ke zkušenosti. Sám konal spíše chemické pokusy; je objevitelem arzenu aj. Z oblasti magnetismu konstatuje, že existuje deklinace, tj. odchylka magnetky od zeměpisného severu. V duchu doby své pokusy spíše tajil — nebo je dělal proto, aby překvapil přátele, a teprve v poslední řadě proto, aby objevil nové skutečnosti. Jeho literární dílo je velmi rozsáhlé a málokdo by asi dovedl jen přečíst všechno, co napsal.

Podobnou roli v Anglii měl ROBERT GROSSETESTE, který však navíc prohlásil matematiku a experiment za základní metody přírodovědy. Konal také pokusy se svět-

lem a s čočkami v souvislosti se svou napůl fyzikální, napůl teologickou teorií světla. Tento „Galilei středověku“ však zazářil ještě příliš předčasně. Napsal mj. řadu přírodovědeckých prací a ovlivnil četné žáky — Tomáše z Yorku, Bartholomaea Angelica, Vincence de Bevauais, i nejslavnějšího, Rogera Bacona.

ROGER BACON (1214—1294) z anglického Ilchestru pěstoval exaktní vědy a filozofii, kritizoval Aristotela i svoje současníky, přičemž poukazoval na tři zdroje zastávání evropské vědy: na neznalost jazyků, přezírání matematiky a nedostatek experimentálních metod. Tíhu vysvětloval jako přitažlivost ke středu Země. V optice znovu objevil temnou komoru, kterou byla pro něho celá místnost s malým otvorem v zataženém okně. Na stěně pozoroval obraz Slunce, převrácené obrazy předmětů, svého vynálezu využíval k pozorování slunečního zatmění — aby ušetřil bratry oslnění a oslepnutí. Přitom jeden z jeho žáků objevil iradiaci (tj. zdánlivé zvětšení rozměrů silně osvětlených předmětů). Bacon zkoumal barvy duhy, hranolu a kapek rosy a přitom shledal jejich společné znaky (stejně pořadí barev aj.). Pozorováním určil, že výška duhy je 42° nad spojnici Slunce a pozorovatele. O zvuku a světle řekl, že mají mnoho společného, že však zvuk se šíří jako vlnění, světlo nikoliv. S obdivuhodnou obrazotvorností předpověděl možnost nejrůznějších vynálezů a sám také vynalezl brýle; psal, že je třeba postříbření zrcadla chránit z druhé strany olovem, a měl snad — pro svou potřebu — i dalekohled. Pro své názory, nebývalé práce a studie na pokračí magie (magii a alchymii sám slovně odsuzoval) a pro nesmlouvavou kritiku současníků byl řadu let vězněn v řádovém vězení a jen načas mu pomohly tři velké spisy věnované jeho někdejšímu příteli, poté papeži. *Větší dílo (Opus maius)*, *Menší dílo (Opus minus)* a *Třetí dílo (Opus tertium)* zůstanou cennou památkou na tohoto největšího průkopníka experimentální metody ve středověku. Tato díla se totiž vyznačují nejen originalitou pojetí i výsledků, ale také tím, že jsou věnována fyzice (a přírodovědě), a to v celém jejím rozsahu. Od té doby nejvýznamnější středověcí vědci píší knihy zaměřené převážně na některý dílčí obor fyziky či jiné vědy.

Ze středověké mechaniky jsou pozoruhodné práce prvního rektora vídeňské univerzity ALBERTA SASKÉHO. Zjistil, že průbojnost tělesa je úměrná jeho hmotnosti; neznal ještě pojem rychlosti, a tak pohybový stav tělesa charakterizoval tím, kolik dřeva prorazí; u něj se poprvé setkáváme ve fyzice s pojmem hmotnosti.

Přesvědčený nominalista a tvrdý kritik středověkých poměrů WILLIAM OCCAM vyslovil jako první zákon setrvačnosti: „Tělesa uvedená v pohyb nepotřebují dále ničeho [má na mysli žádný aristotelský *impetus* a u hvězd anděly], ani nikoho, kdo by je postrkoval, nýbrž pohybují se sama, a to plynule, až se vyskytne nová příčina ke změně jejich pohybu.“ Tato příčina změny pohybového stavu tělesa byla později nazvána síla.

Jordanus Nemorarius spolu s největším matematikem své doby Leonardem Pisánským jako první řešili mechanické problémy, a to nikoli již staticky, ale jako problémy dynamické. Nemorarius zavedl pojem i termín „moment síly“ a svou metodou vyřešil pohyb na nakloněné rovině a problém páky.

William Heytesbury zkoumal volný pád těles a pohyb rovnoměrně zrychlený. Zjistil, jak velkou dráhu přitom těleso opíše v první, druhé a třetí sekundě; určil též, že dráha opsaná ve druhé sekundě je třikrát větší než dráha v první sekundě.

Těžkopádné formulace ovšem souvisely s tím, že dosud nebyl znám pojem funkce. Také později byl pokrok fyziky vždy nerozlučně spjat s pokroky v matematice. Na základě toho lze snadno zodpovědět otázku, zda snad některé dávné civilizace neměly vyšší úroveň techniky a fyziky, než dnes tušíme. Vcelku bez velkého rizika můžeme říci, že nikoli — protože není stopy po tom, že by byly měly matematiku vyšší úrovně než je matematika konstantních veličin.

To se však mělo konečně již také definitivně změnit. Prvý krok k tomuto cíli učinil NICOLE ORESME. Nejen že vyslovil větu, známou později z Galileiových *Rozprav*, o tom, že „doba, během níž těleso opíše při rovnoměrně zrychleném pohybu určitou dráhu, je rovna době, během níž opíše tutéž dráhu těleso pohybující se rovnoměrně rychlostí rovnající se poloviční hodnotě konečné

rychlosti zrychleného pohybu“; Oresme dokonce užívá grafu závislosti rychlosti pohybu na čase. Grafem rovnoměrného pohybu je ovšem rovnoběžka s časovou osou, grafem rovnoměrně zrychleného pohybu přímka procházející počátkem souřadnic; celá zdánlivě komplikovaná věta neříká ovšem nic jiného, než že trojúhelník na grafu rovnoměrně zrychleného pohybu je plošně roven jistému obdélníku na grafu rovnoměrného přímočarého pohybu. Stejný výsledek lze nalézt u Dunse Scota. Na tomto příkladě vidíme v zárodečném stadiu jak pojem funkce, tak její graf, pojem souřadnic i koncepci proměnných veličin. Vidíme, že tyto nanejvýš důležité matematické pojmy se zrodily v oblasti mechaniky, a to již ve středověku. K plné platnosti je ovšem dovedl až Descartes, neboť pro středověk byly ještě „předčasné“ a jako takové nebyly používány a byly téměř zapomenuty.

K důležitým odvětvím aplikované mechaniky středověku patřily mechanické hodiny. Kdo je první sestavil z ozubených kol, ze závaží s regulátorem a rafijí (nejprve jedinou), známo není. Víme jen, že jejich první obrázek se vyskytuje v díle francouzského architekta Villarda de Honnecourt (kolem r. 1250). První skutečné hodiny jsou známy z věže katedrály v Londýně (1286). Podrobnosti o jejich mechanismu jsou známy z Milána (1336) a Padovy (1344). Mechanismus na odbíjení čtvrtí je od Jeana de Felains (1389) a první přesné popisy a podrobnosti o stavbě orlojů jsou od Heinricha von Wicka. Tento muž postavil také první hodiny na justičním paláci v Paříži, a to vedlo k domněnce, že věžní hodiny jsou jeho vynálezem. Jde však o zařízení tak komplikované, že asi nemůže být dílem jednoho člověka. Šlo ovšem o záležitost tehdy širokou veřejností bedlivě sledovanou, o pýchu měst i předmět pověstí. U nás jsou orloje v Praze a v Olomouci již od první poloviny 15. stol. Nebudeme dále sledovat historii a legendy o hodinách a orlojích, jen je třeba poznamenat, že k nám přišly asi z Itálie, jak o tom svědčí dlouho užívané italské dělení ciferníků na 24 hodin.

Co lze říci o dalších oblastech středověké fyziky? Ke středověké akustice je možno říci jen málo, a to proto, že objevy byly anonymní a jen zřídka se zaznamená-

valy. Šlo převážně o objevy z hudební akustiky, jež sloužily k obohacení dvorské a hlavně chrámové hudby; s nimi úzce souvisí rozvoj hudební teorie. Ze starověku přešla do středověku řecká hudební teorie, avšak bez přesné hudební notace, dále primitivní varhany a základní formy všech hlavních kategorií hudebních nástrojů. Ve středověku vznikla hudební notace, složitá hudební teorie a ve shodě s teoretickými požadavky byly postaveny varhany a hudební nástroje vysoké hudebně estetické hodnoty; daleko mimo chrám zněly harmonicky sladěné zvony. Empiricky byly vyřešeny i složité problémy akustiky velkých uzavřených prostorů.

V termice a elektřině středověk nepřinesl téměř nic. Zato v nauce o magnetismu PETRUS PEREGRINUS DE MARECOURT ve 13. stol. získal celou řadu nových poznatků experimentálně. Zhotovil velký kulový magnet a podél jeho poledníků rozmístil železné plíšky. Přitom zjistil, že se plíšky samy orientují a směřují k pólům koule, že se stejnojmenné póly magnetu odpuzují a nestejnojmenné přitahují a že po rozdělení magnetu získáme vždy zase celý magnet s oběma póly. Poznal rovněž, že magnety získávají svůj magnetismus od Země — a to je také první zmínka o zemském magnetismu. Peregrinus sestrojil také kompas na principu známém Číňanům již ve 2. stol. Svě vědomosti o magnetech se snažil také využít k sestrojení *perpetua mobile*. Svými metodami i výsledky se řadí k nejstarším a nejpřednějším experimentálním fyzikům.

V oblasti optiky je možno zaznamenat cenné objevy R. Bacona; někteří historikové zdůrazňují, že právě jeho vynález brýlí a Gutenbergův vynález knihtisku byly nutnými podmínkami prudkého a téměř masového růstu vzdělanosti za renesance. Vysvětlení podstaty duhy, u níž se Bacon spokojil s pouhým popisem, podal po něm Theodorik ve 14. stol. Syntézu středověkého vědění z optiky (včetně nauky Alhazenovy) podal Vitellius ve své desetidílné *Optice* z r. 1277. K jeho objevům lze počítat objev nejjednoduššího tvaru zákona „obrácení světelného paprsku“; říká totiž, že při lomu i odrazu světla postupuje světlo v obou směrech po stejné trajektorii. Obecnější formulace pochází až od Keplera.

Posledním významným středověkým a prvním novověkým optikem byl FRANCESCO MAUROLICUS. Začal již soustavně zkoumat čočky a duhu, funkci čočky v oku a jiné. Pracoval převážně experimentálně; právě z tohoto důvodu a konečně i proto, že působil v 16. stol., ho lze řadit již k novověkým fyzikům. Neznal však ještě ani zákon lomu světla, ani mikroskop a dalekohled, takže jeho dílo patří spíše na rozhraní staré a nové doby.

Nanejvýš významný přechod od staré fyziky k nové je spjat s přechodem ke kapitalismu v oblasti hospodářské, se vznikem velkých národnostních států v oblasti politické a s renesancí v oblasti kulturní. V ideologické oblasti signalizuje tento přechod velmi výrazný odklon od středověkého světového názoru. Také ve fyzice dochází k velkému zlomu, začíná se odmítat aristotelská fyzika i spekulativní metoda a zavádí se metoda experimentální a metoda matematická, odmítá se ptolemaiovská astronomie a vítězí pojetí Kopernikovo. Rozhodující boj ve fyzice se však odehrál na půdě mechaniky.

VÝVOJ KLASICKÉ FYZIKY K MECHANICKÉMU OBRAZU PŘÍRODY

V dílech renesančních učenců byla nejen překonána aristotelská fyzika a její spekulativní metoda, ale byl také vytvořen pozitivní vědecký program: systematicky zkoumat komplexní experimentální a matematickou metodou problémy z oblasti přírodních jevů, a to problémy nikoli obecné, ale takové, jejichž řešení je ověřitelné měřením. Zásadně se tedy odmítají obecné problémy přírodně filozofické. Filozofickým krédem fyziků se stává mechanický materialismus připomínající demokritovský atomismus, doplněný požadavkem, aby pokud možno všechny teze byly formulovány matematicky a ověřeny experimentálně. Jde o první jasný vědecký program v dějinách fyziky; jím začíná fyzika fakticky existovat jako samostatná věda, i když ještě nemá název, i když není předmětem výuky, ani zatím neexistuje profese fyzik.

Někteří badatelé dokonce přímo vyslovili některé teze tohoto programu (F. Bacon), jiní ho začali realizovat a prosazovat svým příkladem (Galilei) a někteří z něj učinili logicky a matematicky dokonalou konceptuální soustavu (Newton). Jejich zásluhou se mechanika stala nejdokonalejší fyzikální vědou a vzorem veškeré přírodovědy. V celém období let 1600 až 1900 převládá přesvědčení, že všechny děje v přírodě jsou v podstatě mechanické a že je tedy třeba redukovat všechny vědy na mechaniku. Proto se také vytvářejí mechanické modely tepelných jevů (tepelné fluidum), jevů elektrických a magnetických (volná elektrická fluida, vázaná magnetická fluida), světla (korpuskulární, resp. vlnová teorie světla) a dokonce procesu hoření (flogistonová „teorie“). Mechanistická fyzika opírající se o newto-

novskou mechaniku byla významně posílena jak konkrétními výsledky klasické mechaniky, tak velkými úspěchy akustiky a termiky.

Úspěchy v oblasti mechanistické elektrodynamiky a optiky byly však jen částečné a dostavovaly se hlavně v prvním období. S rostoucími poznatky v těchto oblastech se však stále jasněji ukazovalo, že má-li se vůbec přírodověda nadále opírat o mechaniku, že to nemůže být mechanika newtonovská. Ještě však než se podařilo nahradit na trůně fyziky starou newtonovskou mechaniku novou mechanikou relativistickou, rodí se kvantová teorie, která záhy zaujala vedoucí postavení ve fyzice 20. stol. Na počátku našeho století tedy dochází k pádu mechanistické teorie, což se jevílo současníkům jako krize fyziky. Podívejme se nyní na začátky této mechanistické fyziky a sledujme vývoj jejích tří hlavních opor — klasické mechaniky, akustiky a termiky.

VZNIK A VÝVOJ KLASICKÉ MECHANIKY

V souvislosti s naším pojetím klasické fyziky jako experimentálně matematické vědy oproštěné od filozofických spekulací, ale neopírající se ještě o kvantovou teorii se nemůžeme ani v mechanice omezit jen na období let 1600 až 1900, kdy newtonovská mechanika monopolně vládla v myslích i dílech fyziků, ale musíme ji sledovat „od začátku“, a to i za cenu, že se jména některých starých badatelů objeví podruhé.

Mechanika patří k nejstarším fyzikálním vědám. Její rozvoj vždy úzce souvisel s rozvojem výrobních sil, dopravy a vojenství. Pod vlivem potřeb z oblasti stavební a strojní techniky se vyvinula jako první v rámci mechaniky *statika*; poté vzniká *kinematika* a nakonec *dynamika*. Zatímco kořeny prvních dvou věd sahají do starověku, dynamika je věda novověká; jejími zakladateli jsou Galilei a Newton (17. stol.). Vrcholu dosahuje dynamika v tzv. analytické mechanice. Stává se vzorem fyzikálních věd na 250 let i teoretickouází mechanického materialismu, až posléze na počátku 20.

stol. klesá na pouhou aproximaci obecnější mechaniky relativistické a kvantové. Přesto zůstává klasická mechanika pro dnešek i pro budoucnost základem techniky a fyziky ve všech oblastech, ve kterých máme co činit s pohybem makroskopických těles rychlostmi malými ve srovnání s rychlostí světla; vývoj klasické mechaniky bouřlivě pokračuje v řadě tradičních i nových směrů.

Vývoj klasické mechaniky ovšem nebyl proces jednoduchý: Newtonovi předchůdci museli nejprve připravit půdu filozoficky. Musela být překonána a odstraněna aristotelská mechanika; to učinili renesanční myslitelé 16. stol. Poté se museli badatelé 17. stol. naučit novým metodám, jež v aristotelské fyzice byly neznámé — metodě experimentální a metodě matematické. Teprve potom vytváří Newton své velké syntetické dílo obohacené o novou matematickou metodu. Sám však této své metody v *Principiích* důsledně nevyužívá; to učinil až Euler ve stol. 18. a stal se tak zakladatelem analytické mechaniky. Nejjednodušší a nejméně konfliktní situace mechaniky byla po celou dobu v oblasti statiky.

GEOMETRICKÁ STATIKA

Na základě dochovaných staveb a některých literárních památek je možno soudit, že elementární fakta ze statiky, zejména vlastnosti jednoduchých mechanismů (jednoduchých strojů) a podmínky rovnováhy mezi silou a břemenem, byly známy již několik tisíciletí před začátkem našeho letopočtu; svědčí o tom egyptské a babylónské stavby, ale i zobrazení vah v činnosti apod.

K nejstarším literárním pracím z oblasti statiky patří přírodně filozofické spisy Aristotelovy, který také zavedl název mechanika (*mechané techné*) pro nauku o strojích a pro umění je sestavovat. Ze zmíněných prací vyplývá, že byly známy zákony skládání sil působících v jednom bodě a v jedné přímce, podmínky rovnováhy sil a vlastnosti jednoduchých strojů, zejména zákon rovnováhy na páce.

Vědecké základy statiky propracoval metodou matematickou jako první Archimédes. Jeho práce obsahují

přesnou teorii páky, pojem a užití statického momentu síly, pravidlo o skládání rovnoběžných sil, poučky o rovnováze zavěšených těles, věty o těžišti a také základy hydrostatiky, zejména formulaci zákona po něm nazvaného.

Ve středověku měl pojem mechaniky ještě širší význam a spadala pod něj prakticky veškerá tehdejší technika, zejména problematika spojená se stavbou mlýnů, lodí, hradů a z hlediska statiky náročná stavba katedrál. Další podstatný přínos k rozvoji statiky v dnešním smyslu znamenají práce francouzského učenice J. Nemoraria a renesančních badatelů Leonarda da Vinciho a Holanďana S. Stevina. Současnou podobu staticy a podstatné prohloubení této oblasti vědy podali francouzští matematikové, zejména P. Varignon a L. Poinsot. Práce těchto novověkých fyziků vedly k objevu pravidla o rovnoběžníku sil, které obsahuje poznání, že síla je veličina vektorová, a k prohloubení pojmu momentu síly. Dopravení tohoto geometrického pojetí statiky představuje syntetická práce Varignona, opírající se o pravidla skládání a rozkladu sil a o větu, jež dnes nese jeho jméno. Mimořádný význam jeho díla ostatně dobře ilustruje skutečnost, že jeho *Mechanika* jako jediná mohla trvale existovat vedle díla jeho současníka I. Newtona.

Vrcholný význam pro současnou epochu statiky chápáné geometricky mají výzkumy Poinsota, který zavedl do fyziky pojmy dvojice sil, moment hybnosti a další. Jeho dílo *Základy statiky (Éléments de statique)* z r. 1804 je prohloubenou syntézou statiky budované na základě zobecnění uvedených geometrických koncepcí. Druhý, odlišný směr ve statice spočívá na principu virtuálních posuvů, rozvinutém však již v souvislosti s naukou o pohybu, zejména s dynamikou.

KINEMATIKA

Také problematika geometrie pohybu sahá svými počátky do starověku. Řešení nejjednodušších kinematických úloh o skládání pohybů je obsaženo rovněž již v pracích Aristotelových, řešení složitých periodických

pohybů pak v astronomických teoriích starých Řeků, vrcholících dílem Klaudia Ptolemaia *Velká soustava (Megale syntaxis)*. Podle této geometrické teorie lze každý periodický pohyb blízký kruhovému pohybu složit z dílčích kruhových pohybů, epicyklů, jejichž středy vykonávají další kruhové pohyby.

Tato správná ptolemaiovská kinematika však byla bohužel chápána jen jako problematika úzce související s principiálně nesprávnou dynamikou Aristotelovou a s geocentrickou soustavou v astronomii. A právě tyto mylné koncepce převládaly v Evropě až do konce 16. stol., a to ne snad jen v důsledku nedokonalého poznání, chybné astronomie, ale také proto, že měly za sebou rozhodující síly společenské. Z úzce odborného hlediska šlo sice o problém astronomický, o kinematiku sluneční soustavy, leč otázka, zda je správná geocentrická, či heliocentrická soustava, byla základní otázkou světonázorovou. Celých 1500 let převládala soustava geocentrická; ve shodě s ní byl vytvořen také systém křesťanské (ale též islámské) teologie, včetně interpretace bible, čili ideologie vládnoucích tříd feudalismu byla bez Ptolemaia nemyslitelná. Přitom neuvěřitelná komplikovanost této soustavy ji činila věcně podezřelou až nepravděpodobnou. Praxe od konce středověku naléhavě volala po nové, správné a přesné astronomii: objevitelské cesty směřující k novým kontinentům, kartografie, ale i potřeba nového kalendáře patří k stimulům nejvýznamnějším. Bylo ovšem třeba nejen zbourat starou budovu ptolemaiovské astronomie a kinematiky naší planetární soustavy, ale bylo třeba také vybudovat kinematiku novou.

Hlavní zásluhu na tomto díle má několik málo mužů: dva zakladatelé — Němec M. Kusánský a Polák M. Kopernik, dva budovatelé — Dán Tycho Brahe a Němec J. Kepler a dva mučedníci za novou ideu, Italové G. Bruno a G. Galilei. S těmito jmény je spojena vědecká revoluce, jejíž hloubka a intenzita téměř nemá obdoby v dějinách vědy. Jejím výsledkem byla nová, správná kinematika sluneční soustavy, nová astronomie, rozhodný krok směrem k nové fyzice i nový světový názor se všemi jeho společenskými důsledky.

Předchůdcem všech moderních koncepcí kosmu byl renesanční myslitel, obdivovatel antické vzdělanosti, MIKULÁŠ KUSÁNSKÝ (1401—1464). Byl synem zámožného loďaře a vinaře z Kues nad Moselou; s otcem se však rozešel a věnoval se plně církevní politice; jednal např. s Čechy jménem basilejského koncilu, s Řeky o sjednocení s Římem a stal se posléze kardinálem. Je zajímavé, že žil v klidu a slávě, ač hlásal prakticky tytéž ideje, za které byl r. 1600 upálen G. Bruno. Jako vysoký církevní činitel měl ovšem cestu ke vzdělaným otevřenou a jeho dílo mělo po dlouhou dobu rozhodující vliv na všechny dříve jmenované i další badatele, např. na Leonarda da Vinci. K jeho převratným idejím patří nejen obecně významná teze *coincidentia oppositorum*, tj. idea o jednotě protikladů, jejíž modifikace se stala později páteří dialektiky Hegelovy a Marxovy, ale zejména čtyři ideje fyzikálního obsahu: (1) idea o relativnosti pohybu (vše je ve vzájemném pohybu, nelze tedy rozhodnout, zda např. se pohybuje břeh či loď); (2) idea o nekonečnosti vesmíru (ani sféra stálic neodděluje snad svět vezdejší od světa nebeského, svět je všude téže podstaty a je nekonečný); (3) ve shodě s prvou tezí také nelze předpokládat, že by Země samojediná byla v absolutním klidu, ale správnější je předpokládat, že koná denní a roční periodický kruhový pohyb; (4) idea o tom, že rozdíly mezi Zemí a ostatními planetami jsou jen klamným zdáním našich smyslů; pozorována ze Slunce jevila by se Země jako jedna z planet. Není tvořena — jak se dosud předpokládalo — nejtěžším, a tedy „méněcenným“ živlem, ale látkou stejnou jako jiná tělesa vesmíru. Také všechna místa vesmíru jsou rovnocenná a ve vesmíru jako v díle božím není nic nedokonalého. Přitom hmoty neubývá ani nepřibývá, ač má nesčetné podoby. Je jasné, že tyto Kusánské myšlenky, formulované ovšem jen jako domněnky čistě filozofické, se musely časem stát dynamitem položeným v samých základech geocentrické teorie i celé středověké ideologie. Každý renesanční myslitel měl zpravidla nějaký antický idol a vzor: Kusánský si vysloužil u současníků označení pythagorejce. Z hlediska mechaniky je dále zajímavý jeho spis (volně

přeloženo) — *Úvahy soukromníka o zkušenostech s vahami (Idiota de staticis experimentis)*, v němž formou dialogu vysvětluje své názory o mechanice a o všech možných jejích aplikacích. Matematicky ovšem heliocentrickou soustavu nezpracoval.

To učinil ve své době jeden z nejvzdělanějších mužů střední Evropy — MIKULÁŠ KOPERNÍK (1473—1543). Pocházel z patricijské rodiny v Toruni, byl nejmladším ze čtyř sourozenců, a když záhy ztratil otce, pečoval o něj strýc z matčiny strany, varminský biskup Lukáš Watzelrode; ten mu umožnil vystudovat na zahraničních univerzitách všechny čtyři fakulty a dopomohl mu k hmotné nezávislosti tím, že ho učinil kanovníkem ve Frauenburgu (dnes v polském Fromborku). Celý tvůrčí vědecký život však prožil Koperník ve vlasti, možno říci v osamocení. Ideou o obězích planet se zabýval 36 let před jejím uveřejněním a za tu dobu ji propracoval matematicky do takových podrobností, že předčila i po praktické stránce 1500 let starou a ustavičně zdokonalovanou soustavu Ptolemaiovu. Byl však nejen teoretikem, ale také dobrým pozorovatelem; např. Brahe si velmi cenil paralaktického přístroje z jeho pozůstatosti. Koperník si byl ovšem plně vědom revolučnosti svého heliocentrického modelu naší planetární soustavy a nedělal si proto iluze o tom, jak bude přijata v mocenských kruzích. Proto také s uveřejněním svého díla otálel a teprve na naléhání vlivných přátel předal rukopis díla *O obězích (De revolutionibus)* svému žákovi Rhaeticovi; první výtisk uviděl až v den své smrti 24. května 1543.

Dílo způsobilo převrat v astronomii. Za střed světa se v něm považuje Slunce, kolem něhož obíhají planety po kružnicích; jednou z planet je také Země. Komplikovaný pohyb Měsíce je vysvětlen velmi prostě tím, že je satelitem Země. Kromě zmíněného oběžného čili revolučního pohybu vykonává Země ještě pohyb rotační kolem osy; navíc objevil Koperník ještě třetí, precesní pohyb Země, tj. pohyb zemské osy po plášti kužele s periodou asi 26 000 let. Tím vyložil pozorovanou precesi, tj. ustupování jarního bodu. Dílo je nejen podrobně matematicky propracováno; jeho novost a přínos

je o to větší, že Kopernik neznal dosud ani nejzákladnější zákony dynamiky (zejména zákon setrvačnosti v obecném tvaru), ani zákon gravitační. Jeho učení však mělo nesmírný vliv na rozvoj všech přírodních věd i filozofie a obohatilo mechaniku o pojem relativního pohybu v kosmickém měřítku a o poznání nutnosti volby určité vztažné soustavy souřadnic při jeho popisu. Čistě kinematický popis Kopernikův však obsahoval ještě některé přežívající nesprávné koncepce, zejména tezi, že pohyb nebeských těles se děje po kružnici jako „dokonalé trajektorii“ a že hvězdy jsou lokalizovány na průhledné sféře stálic.

Fascinující představy Kopernikovy znepokojily všechny významné hvězdáře, mezi nimi i nejlepšího pozorovatele renesanční astronomie, v Praze působícího dánského šlechtice TYCHONA BRAHE. Aby se mohl rozhodnout pro geocentrickou nebo heliocentrickou soustavu, prováděl po několik desetiletí přesná pozorování poloh planet, zejména Marsu, a dočasně vytvořil kompromisní model sluneční soustavy. V Braheově soustavě je středem světa Země, kolem ní obíhá Slunce a teprve kolem něho ostatní planety. Ke zpracování rozsáhlého číselného materiálu se však pro náhlou smrt již nedostal. To učinil jeho asistent, výborný matematik, ale slabší pozorovatel (v důsledku silné krátkozrakosti) J. Kepler.

JOHANN KEPLER (1571—1630) pocházel ze švábského města Weilu, z rodiny zchudlého šlechtice, který se o rodinu vůbec nestaral a padl jako žoldněř neznámo kde. Matka byla nevzdělaná a v letech 1620 až 1621 musel Kepler jako císařský astronom vynaložit všechny síly, aby nebyla upálena jako čarodějnice. Nad nadaným chlapcem bděl zprvu dědeček, weilský starosta Kepler, který se postaral o jeho vzdělání dovršené absolvováním protestantské teologie. Pro své progresivní názory, zejména nadšené uznání Kopernika, však Kepler místo kazatele nedostal; díky svému věhlasu v teoretické astronomii však byl přijat za asistenta Tychona Brahe na hvězdárnu Rudolfa II. Za svůj životní cíl si vytknul najít zákony pohybu planet. A skutečně již v díle *Tajemství kosmu (Mysterium cosmographicum)* z r. 1596

našel přibližné pravidlo pro vzdálenosti tehdy známých planet od Slunce. Je zajímavé, že tento problém není dodnes uzavřen; lepší, ale vůbec nijak nezdůvodněnou formuli našli r. 1772 Titius a Bode a nejdokonalejší vzorec pro vzdálenosti všech těles sluneční soustavy od středu (od Slunce) našel až ve 20. stol. jugoslávský astronom A. Mohorovičić. V dalším traktátu *Nová astronomie (Astronomia nova)* z r. 1609 uveřejnil Kepler své první dva zákony, z nichž jeden navzdory odvěké koncepci kruhových pohybů na nebi tvrdí, že planety se pohybují po elípsách, v jejichž společném ohnisku je Slunce. Druhý zákon mluví o rychlosti pohybu planet, jež také nejsou stálé, jak se odjakživa myslelo; zákon třetí, známý z jeho obsáhlého filozoficko-matematického díla *Harmonie světa (Harmonices mundi)* z r. 1619, uvádí vztah mezi délkami poloos planet a jejich oběžnými dobami. Tři Keplerovy zákony plynou z pozorování Braheových; Kepler sám pro ně nenašel dynamické vysvětlení, neboť zákony nové mechaniky dosud formulovány nebyly. Kepler žil v nedostatku, ač byli jeho dlužníky císařové i Valdštejn. Pro osobní heroismus a lásku k pravdě patřil vedle Spartaka k nejoblíbenějším hrdinům historie v očích Karla Marxe.

Za neumdlévající snahy vybojovat uznání Kopernikově soustavě se dočkali proslulosti, ale i pronásledování Bruno a Galilei. O obou se ještě zmíníme jako o průkopnících nové dynamiky; nyní se omezíme na konstatování, že bývalý dominikánský mnich GIORDANO BRUNO (1548—1600) všude, kam přišel, bojoval proti Aristotelově fyzice i celé jeho filozofii, a ovšem i proti církvi, a hlásal, že soustav toho druhu, jako je sluneční soustava, je nekonečně mnoho a že není ani žádná sféra stálic, jak připustil Kopernik. Svůj těžký život ukončil Bruno jako 52letý na hranici v Římě.

Galilei si dokonce umínil získat pro Kopernikovu soustavu římský dvůr a s ním i církev. Za to, že neskončil jako Bruno, mohl děkovat jen mocným příznivcům, změněným poměrům po čtyřiceti letech a ovšem i včasnému „odvolání bludů“. Z kinematiky je jeho největší zásluhou to, že lidstvu takřka vtloukl do hlavy axiom o relativnosti pohybu, čili že o pohybu lze mluvit jediné

vzhledem k určité vztažné soustavě. A známe-li zákony pohybu vůči jedné vztažné soustavě, pak velmi snadno můžeme vypočítat podobné zákony i vůči soustavě jiné, pohybující se vůči prvé rovnoměrně přímočaře, neboť spolu souvisejí tzv. Galileiho transformacemi.

Důležitý přínos pro rozvoj kinematiky představují dále práce Newtonovy a Eulerovy (18. stol.), v nichž je zaveden a bohatě využit pojem zrychlení, a konečně práce Coriolisovy (19. stol.), v nichž je proveden výpočet zrychlení vůči rotujícím, čili neinerciálním vztažným soustavám. Protože tito i další fyzikové zkoumali kinematické problémy již v nejužší souvislosti s dynamikou, dotkneme se těchto otázek až v následující kapitole o dějinách klasické dynamiky.

KLASICKÁ DYNAMIKA

Obsah klasické dynamiky je mnohem bohatší a její historie složitější než v případě statiky a kinematiky. Máme-li se orientovat ve spleti jejích oborů a problémů, neobejdeme se bez určitého zjednodušení, opírajícího se jednak o tradiční členění mechaniky, jednak o fakt, že věcně i časově představuje rozhodující mezník ve vývoji mechaniky dílo Newtonovo. Tím se problematika rozpadá zhruba na deset oblastí.

Předchůdci Newtonovi z období renesance provedli destrukci aristotelské dynamiky v rovině filozofické a vytyčili nové zásady fyzikálního bádání (např. F. Bacon). Tyto zásady uvedli v život zakladatelé experimentálních metod (např. Galilei) a objevitelé matematických metod opírajících se o pojem proměnné veličiny (např. Descartes). Poté následují Newtonova *Principia* (1687), jež představují jednak podstatně prohloubenou syntézu dosavadního vývoje, jednak vytvářejí úplně nový matematický aparát, adekvátní popisu dynamických dějů — diferenciální a integrální počet.

Následovníci Newtonovi pracují většinou již jen v jednom oboru, a to buď matematicky, nebo experimentálně. Z nich je třeba nejprve jmenovat velké teoretiky, kteří řešili obecné problémy mechaniky, včetně teorie pohybu

soustavy hmotných bodů a tuhého tělesa a zároveň vytvořili velká syntetická díla (patří sem např. Euler, Laplace a Gauss). Zároveň s tím se ovšem vyvíjely všechny další obory mechaniky, zejména hydromechanika, aeromechanika a tzv. molekulární mechanika, čímž se rozuměla nauka o mechanických vlastnostech látek, zejména nauka o pružnosti, nauka o kapilárních vlastnostech kapalin a kinetická teorie plynů. V relativně samostatné odvětví se vyvinula nauka o kmitech, tvořící spojovací článek mezi mechanikou a akustikou. S vývojem a problémy mechaniky vždy úzce souvisel také problém fyzikálních jednotek a měření fyzikálních veličin: snahou celé klasické fyziky vždy bylo převést měření fyzikálních veličin na veličiny mechanické, což bylo chápáno jako „měření absolutní“. Na uvedenou osnovu mechaniky lze již snadno „navěsit“ jako na jakousi ideovou kostru větší či menší množství podrobností bez nebezpečí dezorientace čtenáře v této rozsáhlé problematice.

První vážné trhliny aristotelské fyziky se objevují ve staré dynamice teprve pod tlakem argumentů Kusánského, Benedettiho, Ubaldiho, Campanelly a zejména Angličana F. Bacona. Kritiku starých nauk dovršil a Bacona doplnil francouzský filozof R. Descartes.

FRANCIS BACON (1561—1629) byl současníkem Galileiho; vzděláním právník a filozof. Ve vlasti dosáhl hodnosti kancléře; nakonec však byl pro úplatnost funkce zbaven, odsouzen, dostal však od krále milost. Inspirován starým italským učencem Telesiem, podle Bacona „prvním z moderních učenců“, který se neomezil na kritiku Aristotela, ale který se pokusil vytvořit také systém s ním soupeřící, předsevzal si vytvořit novou metodu vědy; výsledkem je dílo *Nové organon* (1620). V něm hlásá, že „cílem vědy je obohacení lidského života novými objevy a silami“, nikoli umrtvující opakování a memorování výroků autorit, běžné na tehdejších univerzitách. Proti scholastické abstrakci staví jako kritérium pravdy praktickou upotřebitelnost vědy a prohlašuje, že „věda je moc“. Podrobně vědy klasifikuje, vyzvedává mezi nimi vědy empirické a vypracovává pro ně novou, induktivní metodu, či spíše zásady práce v empirických vědách. Ne univerzita, ale spíše

specializovaný ústav typu Braheovy hvězdárny a volné sdružení badatelů v soukromých vědeckých společnostech je místem rozhodného pokroku věd. Právem je Bacon považován za prvního velkého muže, který dal vědě nový směr a pevně ji spojil s pokroky průmyslu. Anglie se stává od těch dob nejen baštou empirismu, ale i zemí s nejrychlejším tempem rozvoje výroby a kapitalismu. Fyzikové většinou Bacona mlčky přecházejí, neboť prý neučinil žádný rozhodující fyzikální objev, neuvědomující si, že nová metoda je mnohdy víc než ojedinělý nový fakt.

Zatímco Anglie se stala „vlastí empirismu“, Francie provedla kritiku aristotelismu z pozic racionalismu a stala se „vlastí racionalismu“. Jeho reprezentantem a „klasikem“ je příslušník vysoké šlechty, velký filozof, matematik, ale i dobrodruh RENÉ DESCARTES (1596—1650). Vychován v jezuitské koleji, kde ovšem za nejvyšší kritérium pravdy bylo pokládáno mínění autorit, dospěl k názoru přesně opačnému: chtěl dojít k poznání cestou deduktivní podle vzoru matematiky; těžko však bylo nalézt výchozí bod těchto dedukcí, neboť v ohni jeho „metodické skepse“ roztály staré pravdy jako sníh na slunci. Nakonec dospěl k názoru, že nic není jistého, kromě zásady „dubito, ergo cogito, cogito, ergo sum“, čili „pochybují, tedy myslím, myslím, tedy jsem“. Dále je pravdivé jen to, k čemu lze dospět rozumem; ve srovnání s ním má ovšem empirie úlohu druhořadou. Těmito názory sice oslnil současníky, takže např. Spinoza vybudoval i etiku „geometricky“, fyzice by jimi však valně neprospěl, neboť přezíral experimentální metody. Pro fyziku však bylo rozhodující, že tento velký skeptik a zakladatel racionalismu neshledal ani v tehdejší matematické metodě všechno v pořádku; zejména ho hnětla rozdílnost metod v aritmetice a v geometrii. Nakonec se mu podařilo po zavedení pojmu proměnných veličin vybudovat analytickou geometrii, jež umožňuje řešit geometrické problémy algebraicky. Tento převrat v matematice vedl k důležitým změnám i ve fyzice, zejména umožnil popsat dynamické procesy, čili jevy proměnné v čase. Dále Descartes formuloval čtyři pravidla pravdivého poznání a vyslovil názor, že

je třeba nejen celou fyziku geometrizovat, ale také geometrii fyzikalizovat — jinými slovy, že je třeba překonat propast mezi geometrií a fyzikou. Důvodem bylo jeho tvrzení, že od všech vlastností těles lze abstrahovat, jen ne od jejich rozlehlosti. A tuto vlastnost mají tělesa na Zemi i v kosmu; nemůže tedy být rozdíl mezi hmotou, ani mezi fyzikou těchto dvou oblastí — a navíc, protože jen hmota je nositelkou vlastnosti „rozprostraněnosti“, nemůže být prostoru bez hmoty; není tedy možná existence absolutního vakua.

Na tyto nanejvýš pozoruhodné názory navazují další, mnohem již pochybnější spekulace: prahmota vyplňující kdysi veškerenstvo byla homogenní, byla však uvedena do kruhového vírového pohybu, přičemž celková hybnost, nebo jak Descartes říkal velikost pohybu celého vesmíru, zůstává od těch dob stálá. Je tedy objevitelem nejen tohoto základního pojmu mechaniky, ale i prvního základního zákona zachování v mechanice. Tření mezi částicemi hmoty vznikají později jednak lokální víry (a z nich potom hvězdy), jednak částice kulového tvaru a tříšť částic nepravidelného tvaru. Hmota jednoho víru působí při bezprostředním dotyku tlakem na hmotu jiného víru. Částice, jež se nestýkají, nemohou na sebe působit, čili proslulé *actio in distans*, tj. působení do dálky, možné není. Světlo není ničím jiným než projevem onoho tlaku. Pro směr šíření světla formuloval Descartes zákon, který předchází badatelé marně hledali 1500 let; o nejedné komplikaci kolem jeho zákona lomu se zmíníme v optice. I z tohoto zjednodušeného popisu Descartovy koncepce přírody je patrné, že přírodní a zejména fyzikální jevy vykládal mechanisticky, bez zásahu nadpřirozených sil; je proto považován za zakladatele jak racionalismu, tak mechanistické přírodovědy.

Pro pohyb, jenž patří k základním přírodním jevům, je podle Descarta třeba formulovat základní zákony, a to v duchu jeho koncepce proměnných veličin, neboť pro všechny děje v přírodě je čas nezávisle proměnnou veličinou. Do čela mechaniky staví proto tři pohybové zákony, což bylo později vzorem i Newtonovi; první z nich je prakticky totožný s Newtonovou pozdější for-

mulací zákona setrvačnosti, následuje zákon zachování hybnosti. Protože nemá smyslu uvažovat o působení do dálky, je třeba zkoumat zákony styku, zejména rázu těles. To také Descartes provedl; zavedl pojem impulsu síly, určil jeho vztah k hybnosti a formuloval sedm pravidel pro ráz těles, připomíná však, že platí jen pro dokonale pružná tělesa. O gravitaci však ještě nebylo tušení; pohyb planet ve smyslu Kopernikově tedy objasnil pomocí svých věrů. Je zajímavé, že objevy Keplerovy tento aristokrat úplně ignoroval; Galileimu, spojujícímu se popisem vztahů mezi veličinami a nepátrajícím po jejich příčinách, vytýkal povrchnost, zatímco sám se opíral o apriorní koncepce věrů, jimiž se nakonec pokoušel objasnit i jevy magnetické.

Jeho učení nabylo nesmírného vřhlasu a sehrálo velmi významnou roli v raném stadiu vývoje dynamiky. Protože však v jeho systému nebylo místa pro boha — snad jen s výjimkou funkce prvního hybatele a dárce hybnosti světu — byl pokládán za ateistu a za nebezpečného kacíře; proto raději volil k svému pobytu bezpečnější, klidnější a liberálnější Leiden*) místo Paříže. Z jeho života je zajímavé to, že v mládí bojoval ve vojsku bavorského vévody proti Čechům na Bílé hoře; nakonec přijal pozvání švédské královny, avšak v nezdravém severském počasí se nachladil a zemřel ve Stockholmu na zánět plic. Jeho učení mělo mnoho stoupenců a velký vliv na celou vzdělanou Evropu; mělo však ještě více odpůrců: z materialistických pozic jej kritizoval jeho krajan a stoupenec atomismu P. Gassendi; Descartův mechanický výklad světla a zákona lomu zase kritizovali stoupeni teleologického pojetí přírodních jevů, v optice zejména Fermat a v mechanice Leibniz. Všechny kritiky však zastínil a Descartovo učení nakonec „poslal do muzea“ Newton. Všichni zmínění učenci však již svorně ignorovali nauku Aristotelovu, která už vůbec nepřicházela v úvahu jako jedna z možných variant výkladu dynamických dějů. Nová protiaristotelská filozofická koncepce byla podstatně posí-

*) Nesprávně se někdy dodnes píše o Leydenu, leydenské láhvi apod.

lena pracemi zakladatelů experimentálních metod mechaniky a fyziky.

Experimentální základy dynamiky v díle Newtonových předchůdců

Rodící se kapitalismus potřeboval novou techniku a tu již nebyl schopen vyvinout řemeslník, jako tomu bývalo dříve. O technické otázky se proto začínají zajímat největší učenci; v aristotelské fyzice ovšem nenacházejí vhodný teoretický základ, a tak musejí sami začít vytvářet novou, pravdivější mechaniku, jež by snesla experimentální ověření a jež by také dovedla sloužit praxi. Stručně se někdy říká, že za renesance dochází k zasnoubení řemeslníka a učenice. Právě na poli experimentální dynamiky došlo k rozhodujícímu střetnutí staré a nové fyziky, takže zakladatelé experimentální dynamiky jsou zároveň nejvýznamnějšími proroky nové vědy. Hlavním hrdinou celé této epochy je Galileo Galilei; v rodné Itálii patří k jeho předchůdcům Leonardo da Vinci, Benedetti, Cardano a k následovníkům Torricelli, Viviani a Borelli. V Anglii prosluli ve stejném směru Boyle a Hooke, ve Francii Mersenne, v Německu Guericke a v Čechách Marci. Všimněme si, čím tito badatelé přispěli k rozvoji mechaniky.

Největší renesanční velíkán LEONARDO DA VINCI (1452—1519) byl geniální italský umělec, vědec a konstruktér, který předznamenal vývoj mechaniky a předeslal své současníky natolik, že nebyli schopni plně využít jeho výsledků. Jeho dílo je nové jak po stránce metodické (učí, že poznatků o přírodě nelze dosáhnout spekulací, ale jedině pokusem), tak obsahové: probudil mechaniku ze staletého spánku tím, že zkoumal pokusně pohyb po nakloněné rovině a volný pád, hydrodynamické otázky i kapilaritu, tření, vlny na vodní hladině i tíhu vzduchu; určoval těžiště nejrůznějších těles, ale také stavěl průplavy a kanály a navrhoval nejrůznější stroje, včetně principu helikoptéry. Svě poznatky šířil v akademii jím založené. Lze říci, že je předobrazem Galileiho, od něhož se však lišil tím, že výsledky nepublikoval; neměl čas je ani uspořádat, takže

zůstaly v těžko čitelných poznámkách. Ač byl matematicky vzdělaný, narážel na skutečnost, že dosud neexistoval pojem proměnné veličiny a funkce; neměl tedy adekvátní matematický aparát, jímž by bylo možno dynamické zákonitosti vyjádřit. Jeho objevy byly tedy do té míry předčasné, že mnohdy nenašly u současníků porozumění. Proto mu také bývá věnováno v historii vědy méně místa, než odpovídá jeho objevům a znalostem.

Přesto však jeho dílo úplně nezapadlo. Postaral se o to podivný muž, který si zakoupil dům v jeho někdejší susedství, GIEROLAMO CARDANO, o němž existuje důvodné podezření, že převzal výsledky Leonardovy do svých děl *O přesnosti (De subtilitate)* z r. 1552 a *Nové dílo (Opus novum)* z r. 1570. Zabýval se matematikou, fyzikou a ostatními přírodními vědami a ve všech oborech zanechal znamenité práce. Při neobvyčejné odvaze odvrhnout v oblasti filozofie a vědy všechno staré se zároveň pověřivě třásl před každým znamením, věřil v existenci domácího ducha a zabýval se magií. Jednou asketa, jindy bonviván, vzdělaný matematik a kultivovaný lékař mající s lidmi upřímný soucit, byl na druhé straně bez nejmenšího pohnutí přítomen opravě vlastního syna. V 75 letech zemřel dobrovolně hladem, aby se splnila jedna jeho věštba. Jeho duševní stav omlouvá snad i to, že neváhal odcizit někdejšímu příteli Tartagliovi vzorec pro řešení rovnic třetího stupně, jímž se algebra rovnic vyšších stupňů dostala po tisíciletích opět podstatně kupředu; později Tartagliovi autorství řešení přiznal. Pro fyziku zachránil asi podobným způsobem některé výsledky Leonardovy, týkající se pohybu po vodorovné rovině a formulace zákona setrvačnosti pro tento případ; pro pojem rychlosti dokonce zavedl známý poměr přírůstků dráhy a doby a navíc náznak jeho limity. Pro císařský kočár znovu vynalezl „Cardanův závěs“.

Jeho rival NICOLO TARTAGLIO pocházel z chudé rodiny; ve 14 letech neuměl ještě číst, ale jakmile se dostal ke vzdělání, absorboval je takovou silou, že dospěl k novým řešením jak v matematice, tak ve fyzice; z jeho díla *Nová věda (Nuova scienza)* z r. 1573 je důležité zejména řešení problému šikmého vrhu. Zjistil, že trajek-

torie vržených střel je zakřivena od začátku do konce, a nikoli — jak učili aristotelikové —, že se tato tělesa pohybují nejprve po přímce a od jistého bodu po kružnici; spekulativní cestou také došel k závěru, že největší dostřel nastává při náměru rovném 45°.

Největší pokrok dynamiky se pojí se jménem Galileiovým. Je však třeba říci, že kromě jeho geniality sehrálo významnou roli také několik příznivých okolností — matematik F. Viète zavedl předtím do algebry i geometrie písmena jako symboly matematických veličin, čímž definitivně zmizely obtíže, jež s sebou neslo slovní vyjádření problémů; Galilei měl také významné předchůdce — SIMON STEVIN přišel s koncepcí myšlenkových pokusů a jako jediný konal také soustavně skutečné pokusy, byť převážně v oblasti statiky. Ke znázornění sil začal Stevin užívat orientovaných úseček (vektorů) a prosadil do praxe užívání desetinných zlomků. Benátčan GIOVANNI BATTISTA BENEDETTI zase objevil existenci odstředivé síly a v r. 1585 formuloval princip setrvačnosti v klidu i v pohybu; zjistil rovněž, že těžká i lehká tělesa padají se stejným zrychlením; zavedl také pojem momentu síly. Jako nevybíravý odpůrce panujících názorů byl však on i jeho dílo umlčeno. Galilei tedy musel začít znovu téměř tam, kde začínal jeho předchůdce Benedetti.

Dramatický život GALILEA GALILEIHO (1564—1642) začíná v Pise v rodině zchudlého šlechtice zabývajícího se prodejem sukna, vyučováním hudby a hudební teorie. Otec chtěl mít z nadaného chlapce lékaře a poslal ho proto již v 17 letech na univerzitu v rodném městě. Galileimu se však natolik znelíbily autoritářské metody na fakultě, že rezignoval na medicínu, ač z ní kynuly asi desetkrát větší příjmy než z funkce profesora matematiky. Avšak i k matematice se obrátil až po několikerém důrazném doporučení otce, aby prostudoval díla Eukleidova a Archimédova. Od chvíle, kdy se studiem začal, nešetřil chválou na adresu těchto antických badatelů. Rozhodl se je následovat a již za studií vynalezl metodu zjišťování hustoty látek pomocí jím modifikovaných vah (1583). To mu vyneslo takový věhlas, že ač formálně univerzitní studia nedokončil, byl povolán

za profesora matematiky v Pise (1589). Tam se zabýval dynamickými problémy, zejména studiem pohybu po nakloněné rovině a volným pádem. Protože nebylo přesných hodin, použil jako metody měření času vážení hmotnosti vody vyteklé otvorem během doby pádu těles, a tak zjistil, že dráha těles při pádu je úměrná čtverci času, a to nezávisle na tíze tělesa. Osudným se mu stalo to, že toto neslýchané novum přičítá se tezí aristotelské mechaniky uveřejnil, a to nikoli latinsky, ale živou italštinou, a že výsledky dokonce demonstroval před celou univerzitou i před veřejností. Každý prý mohl při pokusech na šikmé věži v Pise na vlastní oči vidět, že všechna tělesa padají se stejným zrychlením, čili že profesori učí na univerzitách po staletí nesmysly, když říkají, že těleso padá tím rychleji, čím je těžší. Příležitost k pomstě se profesorům naskytla brzy sama: Galilei byl požádán o posudek na návrh bagru k hloubení dna přístavů — byla to snad první žádost tohoto druhu v dějinách. Návrh byl evidentně chybný, což věděli profesori i Galilei. Říci pravdu však znamenalo pro Galileiho ztratit místo, neboť autorem návrhu byl sám syn velkovévody, kterého nebylo možno „urazit“; schválit návrh znamenalo ztratit autoritu i místo (po realizaci návrhu). Říci, že věci nerozumí, nebylo možné proto, že profesorský sbor velmi rád doporučil svého nejmladšího člena jako nekompetentnějšího, nejzkušenějšího v technických otázkách a dokonce ve veřejných demonstracích nebývalých pokusů. Galilei zvolil první možnost, napsal pravdu — a vzápětí se ocitl ve službách Benátské republiky (1592); byl ustanoven profesorem v Padově, kde setrval po dobu osmnácti nejproduktivnějších a nejšťastnějších let svého života. V badatelské práci ho však zdržovaly časově náročné povinnosti univerzitního profesora a znechucovalo ho, že v rozporu se svým přesvědčením i nadále musí učit aristotelskou fyziku a Ptolemaiovu soustavu.

Vysvobození ze situace se mu naskytlo, když se do slechl, že v Holandsku byl sestrojen dalekohled; to mu stačilo k tomu, aby sám zhotovil přístroj mnohem dokonalejší. Ihned jej věnoval toskánskému vévodovi Cosimovi II. Medicejskému a čtyři satelity Jupiterovy obje-

vené dalekohledem nazval „medicejské hvězdy“. Výsledek se podle očekávání dostavil: byl povolán ke dvoru do Florencie jako matematik a zároveň jmenován profesorem bez povinnosti přednášet. Záhy se však ukázal i rub nové zlaté mince: nebyl již v liberálních Benátkách; když vešlo ve známost, s jakou vynalézavostí hájí Kopernikovu soustavu, netrvalo dlouho a ocitl se před tribunálem římské inkvizice. Soukromý život mu ztrpčovala povinnost profesora dodržovat celibát a s postavením dvorního matematika zase bylo těžko slučitelné oženit se s krčmářkou, být s ní měl syna a dvě dcery.

Za hlavní životní cíl si Galilei vytkl dosáhnout všeobecného uznání Kopernikovy soustavy a založit novou mechaniku. K prvému cíli byl vyzbrojen závažnými argumenty — ne však zatím nezvratnými důkazy: (1) Kromě důvodů uváděných již Kopernikem a Keplerem navíc sám zjistil, že Jupiter tvoří se svými satelity sluneční soustavu v malém. Tyto měsíce by ovšem musely protínat domnělou křišťálovou sféru Jupitera, tj. kulovou plochu, na níž je planeta upevněna a jež by jim musela bránit v pohybu. Bylo tedy zřejmé, že neexistuje. (2) Shledal, že vnitřní planety (Merkur a zejména Venuše) mají fáze podobně jako Měsíc a svítí tedy světlem odraženým. Mimoto planety jsou tak blízko, že je spatřujeme ve tvaru kotoučků a nikoli bodů jako stálice, o nichž zase zjistil, že počtem přesahují jakoukoli představu a že Mléčná dráha není nic jiného než množství vzdálených hvězd. (3) O Měsíci zjistil, že je tělesem podobným Zemi, neboť na něm pozorujeme hory a údolí. (4) U Slunce zpozoroval rotaci na základě pohybu skvrn; tato „nedokonalost“ nebeského tělesa byla ve starém pojetí čímsi nepředstavitelným. (5) Příliv a odliv považoval Galilei (mylně) za důsledek rotace Země. (6) Svou novou dynamikou vyvrátil mylné mechanické argumenty stoupenců geocentrismu, např. že na rotující Zemi by musel být nesmírný vítr a nesmírné vodní zátopy, že puštěný kámen by nemohl dopadnout do průsečíku těžnice z něj spuštěné s povrchem Země apod. Všechny argumenty odpůrců pramenily z neznalosti zákona setrvačnosti, který konečně Galilei v této souvislosti lidstvu skoro až „vnutil“.

Nejmocnější síly v Římě ovšem Galilei proti sobě popudil prohlášením, že výzkum přírody se nemůže řídit zněním bible, ale že její exegezi musejí teologové uvést ve shodu s přírodním řádem. Závěrem římského „jednání“ v r. 1616 bylo nejen Galileiho odvolání a odsouzení Kopernika, jehož spis věnovaný kdysi papeži se octl na indexu zakázaných knih, ale i slib, že o této problematice již nebude učit ani psát. Když se však r. 1632 jeho někdejší přítel M. Barberini stal papežem (Urban VIII.), pokusil se Galilei situaci zvrátit, k čemuž měl dopomoci jeho proslulý spis *Největší světové soustavy (Massini sistemi del Mondo)*. Ve formě dialogu mezi stoupenci Kopernika, Tychona Brahe a Ptolemaia dokazuje správnost systému prvního. Odpůrci Galileiho ovšem využívají porušení slibu neučit o těchto otázkách a navíc přesvědčují papeže, že naivní Simplicius (prostáček — zastánce Ptolemaia) je on sám, neboť často opakuje jeden oblíbený výrok Urbanův. Výsledkem dalšího inkvizičního řízení je odsouzení k domácímu vězení a umlčení. Svá bádání Galilei znovu soustřeďuje na otázky dynamiky a výsledkem je dílo *Matematické rozpravy a pokusy ... (Discorsii e dimostrazioni matematiche ...)*, které ovšem nemohlo vyjít v žádné katolické zemi, ale až v holandském Leidenu [1638]. Ač v té době již oslepl a záhy také téměř ohluchl, přišel ještě na možnost, jak vhodně využít kyvadla k regulaci chodu hodin; ideu odkázal synovi, ten ji jako zámožný právník ovšem ignoroval, až ji vzkřísil a přivedl ke zdárnému závěru vynálezce kyvadlových hodin Ch. Huygens. Galileiho idejí více než syn dbali jeho žáci — Castelli, Viviani, Torricelli aj., i celé akademie zřizované na různých místech jako volná sdružení pro experimentální bádání. Zatím však jejich mistr umírá 99 roků po Kopernikovi a rok před narozením Newtona, v domácí vězení, ve vile v Arcetri za Florencií.

Shrneme-li stručně Galileiho odkaz a výsledky, můžeme říci, že jeho zásluhou se stal pokus obligátní záležitostí ve fyzice. Jeho metoda inspirovala činnost řady akademií a již do konce století jejich zásluhou převládla ve fyzice metoda experimentální. Z oněch akademií je třeba jmenovat v Itálii *Accademii dei Lincei*

(tj. akademii rysů, čili bystrozrakých, pozorných). Byla založena r. 1603 knížetem Fredericem Cesim v Římě a zaměřovala se na experimentální bádání. Jejím vůdčím duchem v první polovině 17. stol. byl právě Galilei. Po předčasné smrti jejího zakladatele ji přenáší Galilei do Florencie. Tam z ní vznikla po Galileiho smrti *Accademia del Cimento*, která působila v letech 1657 až 1667 a zkoumala odkaz Galileiho. Heslem této dvorní společnosti bylo „Zkoušet a znovu zkoušet!“. Takto zkoušeli pohyb, tlak vzduchu, problematiku vakua, měření teplot aj. Tím dal Galilei podnět a náplň první vědecké fyzikální škole. Netrvalo však dlouho a tato akademie se rozpadla. Zato akademie bystrozrakých byla později obnovena. Pod názvem *Accademia della Crusca* pracovala již od r. 1582 jedna z nejstarších italských akademií; byla však zaměřena hlavně na problematiku jazykovou a společenskou, nikoli na experimentální vědy. O ty se více zajímala londýnská *Královská společnost* z r. 1645 (ač král v ní nikdy nebyl a nepřispěl jí jedinou penicí) a pařížská Akademie z r. 1635.

Z oblasti mechaniky patří Galileimu zásluha o podrobný a správný popis volného pádu, pohybu po nakloněné rovině a o formulaci tří základních zákonů: (1) principu relativity v klasické mechanice, (2) zákona setrvačnosti, který znovu (po marných pokusech několika starších badatelů) formuloval a hlavně fyzikům na řadě příkladů vštípl, a (3) principu skládání a nezávislosti pohybů. Na základě tohoto principu dokázal, že trajektorii vrženého tělesa ve vakuu je parabola. Objevem izochronismu kmitů kyvadla položil základy teorie kmitů a studiem rovnováhy na jednoduchých strojích a u kapalin dospěl k shrnujícímu principu — zlatému pravidlu mechaniky (co se nabude pomocí stroje na síle, to se ztratí na dráze nebo na rychlosti). Jako první rovněž studoval pevnost nosníků (trámů), čímž založil nauku o pevnosti materiálů.

Tím ovšem není řečeno, že by všechny záměry vždy dokončil nebo měl vždy pravdu. Například věřil, že světlo se šíří konečnou rychlostí; bezvýsledně však měřil jeho rychlost pomocí luceren na dvou kopcích. Nepřijal nikdy Keplerovy eliptické trajektorie planet. Ne-

správně vysvětloval slapové jevy (tj. příliv a odliv). Měl ovšem řadu nepřátel, a to i mezi odborníky; patřil k nim např. i český lékař M. Horký. Dílo, které Galilei stačil vykonat i za málo příznivých životních podmínek, ho řadí k předním badatelům světa a k zakladatelům celé novodobé fyziky.

Z následovníků Galileiho EVANGELISTA TORRICELLI objevil zákon určující rychlost kapaliny vytékající z otvoru nádoby a navrhl pokus se rtutí ve skleněné trubici, který dnes nese jeho jméno a kterým byla dokázána jak existence vakua, tak i skutečnost, že atmosféra působí tlakem podobně jako kapalina. Není tedy vzduch živlem lehkým vůči zemi a vodě, jak učili aristotelikové, a nesnaží se vystoupit nahoru, ale působí jako každá jiná látka. Atmosférický tlak lze dokonce rtuťovým tlakoměrem měřit. Tento výsledek ve své době nebyl tak všedním faktem, jak jej chápeme dnes, ale byl faktem světonázorového dosahu a podnítil celou řadu dalších výzkumů. Samotný „Torricelliho pokus“ provedl VINCENZO VIVIANI. Realizoval také Galileiho konstrukci hodin a změřil přesně rychlost zvuku ve vzduchu.

Z dalších následovníků GIOVANNI ALFONZO BORELLI vysvětlil správně pohyb planet současným působením gravitační a odstředivé síly, přičemž o gravitaci směřující ke Slunci soudil, že je stejné podstaty jako síla působící na tělesa na Zemi. Zabýval se také kapilaritou a zjistil, že kapalina vystupuje v trubici do výše nepříměrně poloměru kapiláry. Ve Francii na podnět Pascalův dokázal jeho švagr Périer, že atmosférický tlak klesá s nadmořskou výškou a že lze na tomto principu měřit výšky hor.

V Anglii zakladatel vědecké chemie ROBERT BOYLE konal pokusy se vzduchem, a to zředěným i stlačeným, přičemž naměřil řadu hodnot pro objem plynu izotermicky stlačovaného rtuťovým sloupcem; výsledky měření shrnul R. Townley ve formuli zvanou dnes Boyleův zákon, jenž je nejstarším kvantitativním vztahem v oblasti nauky o plynech. Pro pevné látky našel zákon obdobného významu ROBERT HOOKE, když — ovšem jen slovně — vyjádřil úměrnost mezi napětím a deformací pružných těles. Nauku o kapalinách, zejména o tla-

ku v nich, obohatil francouzský filozof, matematik a fyzik BLAISE PASCAL. Založil hydromechaniku na principu virtuálních posuvů, což je exaktní vyjádření zlatého pravidla mechaniky, dále odvodil zákon po něm nazvaný a na tomto základě navrhl princip hydraulického lisu; ten však realizoval teprve za sto let anglický mechanik J. Bramah. Osobností, kolem které se tehdy točil vědecký život ve Francii, byl MARIN MERSENNE, který mj. korespondoval se všemi předními fyziky Evropy; jeho prostřednictvím si badatelé vyměňovali informace formou dopisů. Ze společnosti kolem něho později vyrostla proslulá Akademie věd (1666). Mersenne přeložil Galileiovu *Mechaniku*, sám však aktivně pracoval hlavně v akustice a v nauce o elektřině.

V Německu a v Čechách ovšem múzy mlčely za třicetileté války i po ní. Zaslouhují si tedy obdivu dva mužové, kteří činí výjimku z tohoto pravidla. V Německu to byl magdeburský starosta OTTO VON GUERICKE, který ač při obléhání města r. 1631 přišel o všechno, přece později našel čas a sílu konat závažné pokusy s elektřinou a s vakuem. Předtím ovšem musel zdokonalit vývěvu; s její pomocí demonstroval překvapující velikost vzdušného tlaku, který k sobě přitiskl kovové polokoule tak, že teprve šestnáct koní je mohlo odtrhnout (pokus v Řezně r. 1654). Zmenšení hustoty a tlaku vzduchu měřil svým dasymetrem; dokázal rovněž, že vzduch je těžký, když obrácenou vývěvou získal v kouli pětinasobné zhuštění vzduchu, a vážením zjistil, že koule je těžší. V experimentální mechanice se trvale zapsal také největší český fyzik 17. stol. — JOHANNES MARCUS MARCI Z KRONLANDU. Ač lékař, profesor a rektor Karlovy univerzity, zkoumal pokusně i matematicky ráz těles a odvodil základní věty o rázu koulí. Světovou prioritu má také v optice (objev disperze světla při lomu v r. 1648).

Na konci první poloviny 17. stol. se tedy nakupilo již velké množství různých dílčích experimentálních poznatků, jež vyžadovalo syntézu; ta ovšem nebyla možná bez „matematické přípravy“ spočívající v tom, že se učenci naučili užívat matematiky zcela běžně při řešení mechanických problémů, že došli k přesvědčení, že tato

metoda vede k novým výsledkům a že objevili metody matematické analýzy, jež jediná je adekvátní popisu dynamických dějů.

Matematické základy dynamiky v díle I. Newtona a jeho předchůdců

Hlavním reprezentantem na počátku tohoto období je holandský fyzik CHRISTIAN HUYGENS; půdu mu ovšem připravili Kepler, Descartes a Galilei. Ač měl Huygens bohatý statek a vystudoval práva, přesto se záhy vzdal slibné kariéry a již jako student Leidenské univerzity se zabýval vrcholnými technickými problémy tehdejší doby; sestrojil jako první trvale fungující přesné kyvadlové hodiny (později např. i model výbušného motoru poháněného výbuchy střelného prachu). Jeho zásluhou lidstvo dosáhlo možnosti měřit trvale a přesně čas. Sestrojil však také dalekohled, a to nejdokonalější přístroj své doby, takže mohl bezpečně konstatovat, že Saturnův pás má strukturu, a vyslovil domněnku, že je tvořen tříšti pevných těles. Vědě obětoval i svůj soukromý život a zůstal svobodný. Za své originální práce byl přijat jak do londýnské *Královské společnosti*, tak Ludvíkem XIV. do Francouzské akademie, jíž dal přednost před pobytem v Anglii. Po zrušení nantského ediktu — ač je mu udělena výjimka — odešel jako protestant do rodného Holandska, kde setrval do konce života.

Huygens nebyl jen technik, ale především velký matematik a fyzik, který učinil své vynálezy takřka mimochodem jako aplikace svých vědeckých koncepcí. Ve spise *Kyvadlové hodiny (Horologium oscillatorium)* z r. 1673 podává nejen teorii kyvadla matematického i fyzického, ale zjišťuje — a v tom smyslu Galileiho upřesňuje, že s rozkmitem doba kyvu poněkud roste a že přesně izochronní je jen kyvadlo cykloidální; nit u tohoto kyvadla se nepohybuje volně v prostoru, ale z obou stran je omezena oblouky cykloidy. V dodatku zkoumal odstředivou sílu a odvodil pro ni základní vztah. Ve zmíněném spise zavedl také pojmy střed kyvu a redukovaná délka kyvadla; dílo však vyšlo až po se-

strojení hodin (1656). Zdokonalil rovněž kapesní hodiny přidáním hnacího pera a nepokoje (1674). Když *Královská společnost* v Londýně vypsala cenu za řešení problému rázu těles (1668), patřil s J. Wallisem k jeho úspěšným řešitelům. Dosáhl výsledků obdobných jako Marci; náš fyzik má však časovou prioritu; Huygensův spis o těchto problémech vyšel až posmrtně r. 1703. Je zajímavé, že Huygens při řešení rázu použil jako první zákona zachování mechanické energie a zároveň Descartova zákona zachování hybnosti. Jako jeden z prvních se Huygens zabýval také naukou o vlnění a optikou, zejména po stránce matematické, o čemž se ještě zmíníme. Správné a průkopnické byly také jeho názory astronomické; v době bojů o správný model sluneční soustavy se již v duchu vzdálil do hlubin kosmu a vypočetl, že kdyby Slunce bylo 27 664krát vzdálenější, pak by svítilo jako Sirius, takže je jen jednou z hvězd. Časově, věcně i metodicky patří tedy Huygens mezi Galileiho a Newtona.

Zakladatelské období dynamiky vrcholí a končí syntézou provedenou Newtonem. ISAAC NEWTON (1642 až 1727) žil v době velkých myšlenkových, technických i mocenských a politických převratů, jež měly vliv v oblasti společenské na strmý růst kapitalismu v Anglii a v oblasti věd na neméně revoluční růst exaktních věd, což ovšem vedlo nakonec také k revoluci i ve filozofickém nazírání na přírodu. Právě Newtonovo dílo tento vývoj podstatně ovlivnilo. Rubem této skvělé stránky jeho díla bylo, že samotnou obhajobou svých výsledků ztratil nejen mnoho času a sil, ale mnohdy i chuť a odvahu je vůbec publikovat. Vědeckým zájmům obětoval i svůj soukromý život a zůstal svobodný.

Narodil se na samotě Woolsthorpe v hrabství Cincolshire severovýchodně od Londýna. Jeho mládí nebylo šťastné — rodiče měli středně velký statek, ale otec i děd zemřeli ještě před jeho narozením; matka se podruhé vdala a Newton žil do 19 let u babičky. Když matka ovdověla podruhé, nezbývalo, než aby se staral o celou rodinu prací v zemědělství, i když byl neobyčejně slabý a nemocný. K tomuto povolání se však nehodil, a proto se mu strýc postaral o při-

jetí do *Trinity College* v Cambridge, kde sám také kdysi studoval. Mladík ovšem ke studiu připraven nebyl, a proto také zprvu nevynikal; vyznačoval se však velkou manuální zručností, zálibou v experimentování a na konci studií také samostatným úsudkem a schopností prostudovat sebeobtěžnější díla, pokud ho zajímala. K prvním z nich patřila Keplerova *Optika* a Eukleidovy práce z geometrie, které však na něho neudělaly žádný dojem — jeho znalosti byly ještě chatrné. Naštěstí však těsně před bakalářskými zkouškami názor změnil a již r. 1665 jako „novopečený“ bakalář rozšířil binomickou větu na případ lomených exponentů. Jeho počáteční nedbalost měla patrně hlubší důvody v jeho genialitě, jež asi instinktivně poznávala ubohost tehdejšího školometství a jež hledala vlastní cesty k poznání. Na artistické fakultě ovšem musel zvládnout především *trivium* (latinskou gramatiku, rétoriku a dialektiku), *kvadrivium* (elementární aritmetiku, eukleidovskou geometrii, astronomii a muziku), částečně také řečtinu, hebrejštinu i anglikánskou teologii. Vedle toho se jako samouk intenzívně zabýval analytickou geometrií nedávno Descartem objevenou, ale i antickou historií a chronologií, biblickou archeologií, gramatikou řady jazyků a zejména alchymií. Na jeho odborný růst měl rozhodující vliv profesor matematiky a pozdější přítel Barrow, člověk evropského rozhledu, který vnesl nový obsah do univerzitní výuky, a záhy také bezpečně poznal nadání svého žáka. Sotva dosáhl 22letý Newton hodnosti magistra, vypukl ve městech mor a mladý badatel se uchýlil na tři roky do svého rodiště, kde tentokrát našel příznivé podmínky jak ke zpracování nabytých poznatků, tak k vytvoření všech svých základních koncepcí v matematice, mechanice a optice. Po návratu na univerzitu r. 1668 dává svým idejím definitivní, axiomatickou podobu — a ač má nechuť k publikování svých výsledků, přesto jejich význam je v jeho okolí již natolik zřejmý, že profesor Barrow se vzdává v jeho prospěch vedení katedry geometrie (1669). V tomto ústavu prožil Newton 35 let svého života. Poté se funkce vzdal a byl ještě 30 let královským mincmistrem (správcem mincovny) v Londýně.

V oblasti matematiky, jež u Newtona čerpala podněty z fyziky a jí také sloužila, položil Newton nezávisle na Leibnizovi základy infinitezimálního počtu a nazval jej metodou fluxí. Tím byl nejen dovršen vývoj matematiky proměnných veličin, začínající u Keplera, Descarta, Galileiho a Huygense, ale byl také položen základ matematického aparátu přiměřeného k popisu dynamických dějů, zejména mechanického pohybu.

K dlouhodobým pozdějším prioritním sporům s Leibnizem můžeme dnes říci, že Newton diferenciální a integrální počet jako první objevil, Leibniz jako první publikoval, přičemž se vžila vhodnější symbolika Leibnizova. Zákony mechaniky jsou v Newtonově pojetí diferenciální rovnice mezi fyzikálními proměnnými; nové metody dovedl také mistrně uplatňovat jak při formulaci nových zákonů, tak při odvozování jejich důsledků, a to lépe než kterýkoli z jeho současníků. Charakteristická je ostatně odpověď jeho hlavního odpůrce Leibnize anglické královně, když byl tázán na své mínění o Newtonovi: „Sir Isaac Newton má hlavní zásluhu o lepší polovinu veškeré matematiky vytvořené od počátku světa až do dnešních dnů.“

Takto metodicky vyzbrojen přistoupil Newton k tvorbě svého základního díla *Matematické základy přírodní filozofie* (*Philosophiae naturalis principia mathematica*) z r. 1687. Nejprve dovršil výzkumy svých předchůdců, zejména zobecnil pojem síly, zavedl pojem hmotnosti a do čela mechaniky postavil tři základní pohybové zákony — zákon setrvačnosti, zákon síly a zákon akce a reakce. Druhý pohybový zákon, z matematického hlediska diferenciální rovnice druhého řádu, umožnil plně a systematicky řešit velký počet problémů, hlavně z oblasti nebeské mechaniky, která se dále opírá o jím objevený zákon všeobecné gravitace. Newtonova mechanika umožnila předpovědět nejen nové zákony, ale později také nová tělesa (planety a hvězdy) a řešit nové, dříve neřešitelné problémy. V jeho díle automaticky mizí rozdíl mezi nebeskou a pozemskou mechanikou a heliocentrická soustava i s komplikovanými trajektoriemi planet odlišnými od kružnic se stává pouhým matematickým důsledkem jím formulovaných fyzikálních zákonů.

Tělesa sluneční soustavy musejí obíhat po kuželosečkách kolem společného těžiště. Záhadou zůstává pouze zákon o vzdálenostech planet od Slunce, tvořícího těžiště celé soustavy; na tyto vzdálenosti se pohlíží jako na pouhé počáteční podmínky „předem dané“. Také určení numerické hodnoty gravitační konstanty zavedené Newtonem zůstalo úkolem pro budoucí experimentátory. K filozoficky choulostivému problému okamžitého působení na dálku (např. u gravitačních sil) se Newton nevyjadřoval, neboť jeho zásadou bylo nevymýšlet hypotézy; totéž lze říci i o jeho názoru na světlo. Přesto mu jeho pokračovatelé připisovali jak tezi o působení na dálku, tak korpuskulární teorii světla, o níž mluvil jako o pouhé možnosti z mnoha jiných.

Newtonovými *Principiemi* byl v podstatě dovršen proces budování základů mechaniky bodů a tuhého tělesa a podán vzor fyzikální teorie i pro jiné oblasti fyziky. Jde o zakladatelské dílo celé teoretické fyziky (nejen mechaniky), jež jedinečným způsobem demonstruje základní úkol teoretické fyziky: převést poznání empirické na poznání logické, racionální. Newton sám uplatnil vlastní zásady ještě v mechanice proudění kapalin, kde objevil zákon vnitřního tření. O otázkách termiky, elektřiny a magnetismu se zmiňuje jen okrajově a ponechává tak prostor dalším generacím. Je třeba ještě poznamenat, že *Principia* mají také jeden nepříjemný rys, jenž je důsledkem Newtonových ohledů na současníky. Protože nikdo z jeho současníků dosud neznal infinitezimální počet, odvozoval s jeho pomocí různé vztahy, jež považoval za nutné posléze „přeložit“ do mluvy tehdy běžné matematiky, zejména syntetické geometrie; popisovat nové skutečnosti těmito tradičními matematickými prostředky bylo však nepřiměřené a nanejvýš obtížné, takže jeho knihu, všemi obdivovanou, četlo jen několik málo lidí v Evropě a dodnes zůstává dílem obtížným. O její rozšíření ve Francii se zasloužil např. Voltaire, který v ní shledával dílo velmi pokrokové, jímž nesporně ve své době bylo. Bylo ovšem jen otázkou času, kdy a kým bude celá mechanika, a posléze i celá fyzika vyjádřena jazykem nové matematické analýzy.

Analytická mechanika v rukou velkých matematiků

Velcí matematikové 18. a 19. stol. budovali teoretickou mechaniku s využitím metod matematické analýzy, kterou také sami podstatně rozvinuli; jejich nejdůležitějším výsledkem byla tzv. analytická mechanika, jež se stala vzorem fyzikální teorie ve všech oblastech. Je zajímavé, že mezi představitele tohoto progresivního směru nepatřili žáci Newtonovi, ale spíše pokračovatelé Leibnizovi, většinou Němci (Bernoulliové, Euler, později Gauss, Jacobi, H. Hertz) a reprezentanti francouzské školy (Lagrange, Laplace, d'Alembert). Teprve v polovině 19. stol. vyniká v této oblasti Ir W. R. Hamilton. Bylo tomu tak proto, že Angličané jako synové z vlasti empirismu si v teorii nelibovali, ale i proto, že dlouho užívali méně vhodné symboliky Newtonovy, a nikoli na kontinentě rozšířené symboliky Leibnizovy.

Velmi významně se zapsala do dějin mechaniky, ale i celé fyziky a matematiky rozvětvená rodina Bernoulliů. Její předkové pocházeli z Holandska, odkud odešli do Švýcar (do Basileje). V exaktních vědách vyniklo devět členů tohoto rodu, kteří se obvykle označují římskými číslicemi podobně jako monarchové. Přitom každý z nich měl většinou jiné „oficiální“ vzdělání a povolání než matematik či fyzik; většinou byli lékaři nebo teology. JACOB I. BERNOULLI se již v mládí seznámil s Leibnizovým diferenciálním počtem a ihned pochopil a rozvinul jeho geometrické a fyzikální aplikace. Zkoumal teoreticky kmitání těles, odpor, který klade kapalina pohybujícím se tělesům různého profilu a vyšetřil zákonitosti šikmého rázu těles. S mladším bratrem JOHANNEM I., který se také narodil a zemřel v Basileji, položili základy variačního počtu a řešili jím fyzikální úlohy (např. úlohu o brachystochroně*). Johannes také jako první soustavně zpracoval diferenciální a integrální počet a vypracoval metody řešení diferenciálních rovnic, což mělo

*) Brachystochrona — čára spojující dva body, po níž hmotný bod pouze vlivem gravitace přejde z jednoho bodu do druhého v nejkratší době. (Vžitý pravopis.)

podstatný vliv na rozvoj teoretické fyziky. Sám také řešil problém geodetických čar a v mechanice obecně formuloval větu o kinetické energii. Snad nejslavnější z Bernoulliů byl Johannův syn DANIEL I. Řadu let působil v Petrohradě, byl členem petrohradské Akademie věd, oficiálně však pracoval na katedře fyziologie a intenzivně se zabýval také medicínou. Řešil řadu základních problémů mechaniky a za řešení obdržel např. deset cen pařížské Akademie. Je zakladatelem hydrodynamiky a autorem proslulé rovnice nesoucí jeho jméno a vyjadřující zákon zachování energie v této oblasti. V dodatku ke své *Hydrodynamice* však navíc položil základy kinetické teorie plynů. Jeho vztah pro tlak plynu je teoretickou paralelou empirické stavové rovnice plynů a zároveň prvním fyzikálním vztahem mezi makroskopickými a mikroskopickými parametry látky.

Jeho nejvýznamnějším žákem byl největší matematik a fyzik 18. stol. po Newtonovi, LEONHARD EULER (1707 až 1783). Jako první si uvědomil nedostatky dosavadních metod teoretické mechaniky, které se lišily pro každý jednotlivý problém, takže ač platnost výsledků byla nepochybná, cesta k nim byla nanejvýš neschůdná. Ve fyzice si vytkl za cíl odvozovat a formulovat všechny věty metodami matematické analýzy, což také ve své dvoudílné *Mechanice* (1736) a na ni navazující *Teorii pohybu tuhých těles* (1765) uskutečnil a uvedl tak mechaniku na novou, vyšší úroveň. Napsal z oblasti fyziky 865 prací, přičemž každé z jeho děl mělo zásadní význam. Sotva bychom našli v dějinách vědy produktivnějšího badatele; jeho výsledky jsou tím obdivuhodnější, že r. 1738 oslepl na pravé oko a od r. 1766 byl slepý úplně a své práce, často složité soustavy diferenciálních rovnic, diktoval. Do mechaniky zavedl vhodné pojmy, např. pojem hmotného bodu, momentu setrvačnosti, ale také zobecnil základní pohybové rovnice, jež se dnes nazývají rovnice Lagrangeovy; jeho jméno nesou základní rovnice pro pohyb tuhého tělesa a setrvačnické i základní rovnice hydrodynamiky. Pohyb tělesa určoval třemi úhlovými souřadnicemi (*Eulerovými úhly*), zavedl vektory do fyziky, a ač jich důsledně nepoužíval, dal tím podnět a směr celým generacím pokračovatelů.

Euler však zdaleka nebyl jen matematik či badatel na poli teoretické mechaniky. Zabýval se řadou problémů praktického významu. Patří sem teorie turbín, kterou předběhl vývoj o celé století, dále teorie stability lodí, vnější balistika aj.

Byl odpůrcem korpuskulární teorie světla a ve své době jediným významným zastáncem teorie vlnové. Fascinovala ho možnost vyložit a matematicky popsat nemechanické jevy pomocí mechaniky imponderabilií (tj. „nevážitelných“ látek), k nimž počítal éter a fluida, zejména fluidum tepelné, magnetické a elektrické; chemie sem počítala flogiston atd. Počáteční úspěchy v této oblasti daly podnět nejen k pěstování fyziky imponderabilií, ale i vžitému rozdělení fyziky na fyziku „nevážitelných“ a „vážitelných“ hmot. V 19. stol. z této koncepce zbylo rozdělení na fyziku hmoty a fyziku éteru a 20. stol. ukázalo jistou oprávněnost této koncepce, tj. rozdělení na fyziku látek a fyziku polí. Fyzika fermionů a fyzika bosonů není nic jiného než dovršení této koncepce; v některých případech ovšem kombinace fermionů může tvořit boson (např. Cooperovy elektronové páry), takže zmíněná ekvivalence je přibližná.

Euler byl rovněž skvělým popularizátorem vědy a jeho *Dopisy německé princezně* (prý vnučce našeho „zimního krále“ Fridricha Falckého) bývají někdy považovány za nejlepší populárně vědecké dílo vůbec.

Z francouzských matematiků 18. stol., kteří významně přispěli k rozvoji analytické mechaniky, je třeba jmenovat Maupertuise, d'Alemberta, Lagrange, Laplace a Clairauta. Šlo většinou o pokrokové myslitele, kteří se autorsky podíleli na přípravě francouzské *Encyklopedie*, na ideové přípravě revoluce; a byli to právě oni, kteří prosadili metrickou soustavu fyzikálních jednotek. Mnozí z nich byli žáky a později učiteli pařížské *Polytechniky*, jež patřila v té době k nejvýznamnějším institucím v oblasti exaktních věd.

PIERRE LOUIS MAUPERTUIS sice ještě nepatřil do tohoto okruhu, ale svým dílem předznamenal další vývoj francouzské vědy. Formuloval variační princip jako nejobecnější princip mechaniky; později byl princip dále zpřesňován a reformulován Eulerem, Lagrangem,

Gaussem, Hamiltonem a H. Hertzem. Jiné Maupertuisovy práce sehrály důležitou roli při vzniku metrické soustavy jednotek, odvozené z rozměrů Země.

V první polovině 18. stol. totiž vznikl vleklý spor o skutečný tvar Země. Podle koncepcí Huygensových, Newtonových a Clairautových musí být Země v důsledku odstředivé síly, způsobené rotací, na pólech zploštělá — říkalo se, že musí mít tvar pomeranče. Z měření Cassiniových však plynulo, že je zploštělá na rovníku, čili že má tvar citrónu. Teprve Maupertuis prosadil ve Francouzské akademii, že byla provedena stupňová měření jak v Peru, tak v Laponsku; ukázalo se, že pravda je na straně „pomerančové“. Maupertius řídil řadu let matematicko-fyzikální oddělení berlínské akademie věd.

ALEXIS CLAUDE CLAIRAUT se zúčastnil Maupertuisových měření; později vypracoval teorii tvaru Země (1743); upotřebil přitom diferenciální geometrii v prostoru, kterou sám založil. Zavedl rovněž pojem diferenciálu funkcí mnoha proměnných a vypracoval teorii pohybu Měsíce. Ukázal, jak závisí tíhové zrychlení Země na jejích parametrech a jak je možno využít kyvadla v geodézii a v geofyzice. Měření rozměrů Země inspirovalo později francouzské učence k definici jednotky délky — metru — jako desetimilióntiny délky kvadrantu zemského poledníku. Clairaut byl již v 19 letech akademikem.

JEAN BAPTISTE LE ROND D'ALEMBERT (1717—1783) byl významný matematik, fyzik osvícenský filozof a (s Diderotem) autor francouzské *Encyklopedie*. Jeho životní dráha nebyla právě jednoduchá: byl jako nemluvně (ne-manželský syn francouzské šlechtičny) pohozen na schodech pařížského kostela le Rond; ujali se ho mniši a později chudý sklář Alembert — což obojí je zachyceno v jeho příjmení. Do mechaniky se zapsal svým *Traktátem o dynamice* (1743), v němž mj. formuloval obecná pravidla sestavování diferenciálních rovnic pro pohyb libovolné soustavy hmotných bodů, a to pomocí principu, který dnes nese jeho jméno. Rozlišil také různé druhy sil v mechanice a v hydrodynamice proslul formulací tzv. d'Alembertova-Eulerova paradoxu, podle něhož by se mělo těleso v bezviskózní kapalině pohybovat bez odporu.

Na jeho ideje navázal o 19 let mladší syn italského úředníka z Turína, JOSEPH LOUIS LAGRANGE (1736 až 1813); působil v Berlíně a v Paříži. Matematice se věnoval jako samouk, a to tak intenzívně, že již v 19 letech se stal profesorem na dělostřelecké škole v rodném městě a poté byl na doporučení Eulerovo pozván Friedrichem II. do berlínské akademie věd, kde se později stal prezidentem. Nakonec působil na pařížské *Polytechnice* (od r. 1797). Významně pomáhal při reformě měř a vah a zasloužil se o realizaci a přijetí metrické soustavy. Jeho hlavní doménou však byla matematická analýza, pomocí níž formuloval ve dvou tvarech pohybové rovnice mechaniky pro obecné souřadnice (tzv. Lagrangeovy rovnice prvního a druhého druhu) i obecný princip virtuálních posuvů. Jeho *Analytická mechanika* (1788) dala mechanice dnešní podobu a stala se vzorem fyzikální teorie. Leckterou ideu však převzal od Eulera nebo dokonce sám znovu objevil, neboť orientovat se v bohaté tvorbě Eulerově, psané latinou, nebylo právě jednoduché.

Dovršení směru a díla Eulerova v pracích francouzských matematiků představuje tvorba PIERRA SIMONA LAPLACE (1749—1827). Pocházel z rodiny rolníka v normandské vsi, studoval u benediktýnů, avšak z jejich školy vyšel jako přesvědčený ateista. Jeho největší zálibou byla matematika, o níž začal uveřejňovat práce v 17 letech; ve 24 letech byl již akademikem. Patřil rovněž k předním propagátorům metrické soustavy. V r. 1799 ho Napoleon na krátkou dobu jmenoval ministrem vnitra, poté byl Bourbony povýšen na pára Francie. Laplace byl významný matematik, teoretický astronom a fyzik, který v mechanice proslul dvěma díly: matematicky fundovanou *Nebeskou mechanikou* o pěti dílech (1799 až 1825) a populárním výtahem z tohoto díla o dvou svazcích (1795—1796), obsahujícím také jeho proslulou nebulární hypotézu o vzniku sluneční soustavy, již založil vědeckou kosmologii. Jeho mechanikou je dovršen vývoj této vědy od dob Newtonových. Na základě jím vypracované poruchové teorie řešil složité problémy pohybu těles sluneční soustavy, zejména Měsíce, dokázal stabilitu celé této soustavy, jakož i to,

že všechna tělesa musejí být na pólech zploštělá. Vypracoval rovněž gravitační teorii přílivu a odlivu. Od něho pochází také formule pro měření výšek pomocí tlaku, základní vzorec teorie kapilarity, dále vzorec pro intenzitu magnetického pole v okolí vodičů protékajících elektrickým proudem, kalorimetr a kalorimetrická metoda, kterou vypracoval se zakladatelem moderní chemie, Lavoisierem. Neméně významné jsou i Laplaceovy koncepce filozofické: byl osvícenec blízký francouzským materialistům a proslul jako hlasatel mechanického, „laplaceovského“ determinismu. Podle něho by nebylo pro intelekt, který by byl schopen provést příslušný výpočet, žádných tajemství v minulosti ani v budoucnosti, neboť na základě principů mechaniky a při znalosti počátečních podmínek pro každý atom vesmíru by bylo možno zjistit veškeré dění v přírodě výpočtem. Obtíže spojené s poznáním tedy nejsou zásadního, ale pouze technického, matematického rázu. Tato teze o dokonalé poznatelnosti všeho dění na základě mechaniky se stala základem mechanického materialismu a z těchto noeticky „optimistických pozic“ pohlíželi na fyzikální problémy téměř všichni fyzikové až do vzniku kvantové mechaniky.

Posledním velkým teoretickým mechanikem francouzské školy byl SIMÉON-DENIS POISSON (1781—1840), jehož činnost byla rovněž spojena s působením na pařížské *Polytechnice*. Ve svých dílech *Traktát o mechanice* (1811), *Nová teorie kapilarity* (1831) a *Matematická teorie tepla* (1835) nejen uvedl tyto obory na vyšší úroveň, a to pomocí jím rozvinuté teorie potenciálu, ale také ukázal, že téže teorie lze využít i při analýze jevů elektrických a magnetických. V mechanice důsledně používal pojmu zobecněné hybnosti; zobecnil rovnice hydrodynamiky na případ stlačitelné viskózní kapaliny i s přihlédnutím k přenosu tepla. Jeho teorie potenciálu ovládla fyziku 19. stol., zejména nauku o statických polích splňujících jeho rovnici, takže se jevila jako jedna z ústředních teorií celé fyziky. Poisson se jako první začal zabývat také dynamickým popisem pohybu strojů, čili neomezoval se jen na popis geometrické stránky pohybu jako jeho předchůdci. Z hlediska dynamické stability

prozkoumal znovu nejdokonalejší „stroj“ tehdy známý — sluneční soustavu. Svoje metody uplatnil také v teorii pružnosti, ve které nese jeho jméno tzv. Poissonova konstanta.

Také ve druhé polovině 19. stol. pokračoval intenzivní rozvoj ve všech oblastech mechaniky. Na problematiku rozvoje obecných principů mechaniky se zaměřují práce Hamiltonovy, Gaussovy, Hertzovy, Kovalevské, Ostrogradského, Jacobiho, Ljapunovy a další.

Geniální německý badatel (kníže matematiků) CARL FRIEDRICH GAUSS (1777—1855) se zasloužil nejen o rozvoj matematiky; v ní byl mimo jiné prvním člověkem, který dospěl k možnosti jiné metrické geometrie než eukleidovské. Rozhodujícím způsobem přispěl také do pokladnice vědění fyzikálního, astronomického a založil tzv. vyšší geodézii. Jeho zásluhy v mechanice souvisejí s jeho povoláním astronoma a ředitele hvězdárny v Göttingenu. V r. 1801 se konečně splnila dávná předpověď Keplerova, že mezi Marsem a Jupiterem je planeta, když G. Piazzí objevil planetku Ceres; hned v následujícím roce byla objevena také planetka Pallas. Existovalo však jen několik málo pozorování těchto těles, a když nastalo delší období dešťů, zdálo se, že jsou obě ztraceny. Gauss však stačil během několika dnů vypracovat teorii, jež se stala základem metody nejmenších čtverců a jež vedla neomylně k nalezení obou těles. Nelze se tedy divit, že dílo tohoto muže, pracujícího trvale s podobnou intenzitou, má význam epochální. V teoretické mechanice a v nebeské mechanice má základní význam jeho *Teorie pohybu nebeských těles* (1809), vydaná přesně 200 let po Keplerově *Nové astronomii* a reprezentující úhrnný pokrok v celé této oblasti vědy. Na zmíněné dílo navazuje *Nová metoda řešení přitažlivosti těles* (1829) a *Obecné základy teorie tvaru kapalných těles* (1830). V prvním z nich je podstatně prohloubena teorie potenciálu, ale také formulován nový Gaussův variační princip mechaniky, ve druhém je podána natolik dokonalá teorie tvaru velkých těles, že od té doby přestává být např. problém tvaru Země problémem převážně empirickým a stává se problémem hlavně matematickým. Upotřebitelnost jeho nových matematických metod se sta-

la očividnou, když byly pomocí nich objeveny nové planety na základě poruch pohybu známých planet, stejně jako nové hvězdy v soustavách dvojhvězd. Stalo se to v případě planety Neptun, jehož polohu a hmotnost vypočítali na základě poruch Uranu nezávisle r. 1845 anglický student J. Adams a pozdější ředitel pařížské hvězdárny Le Verrier; berlínská pozorování v následujícím roce jim dala za pravdu. Historie se později opakovala u planety Pluto (Lowell provedl výpočty r. 1915, planetu objevil až r. 1930 Tombaugh).

Dovršení vývoje klasické analytické mechaniky představuje dílo irského badatele WILLIAMA ROWANA HAMILTONA. Ve 13 letech znal již základy 13 jazyků; jeho zálibou však byla matematika a povoláním astronomie. Ve svém díle *Obecné metody dynamiky* (1834 až 1835) přichází s programem „obecné metody v dynamice, pomocí níž by bylo možno studovat pohyb všech volných soustav přitahujících se nebo odpuzujících se bodů na základě jediné charakteristické funkce a jejího derivování s použitím určitého ústředního vztahu“. To se mu také podařilo uskutečnit, když dal rovnicím mechaniky kánonický tvar a zavedl funkci, jež dnes nese jeho jméno. Při historické analýze cesty, jež vedla k jeho metodě, upřímně konstatuje, že vychází z idejí charvátského badatele RUDJERA JOSIPA BOŠKOVIČE, který se kdysi snažil ve svém díle *Teorie přírodní filozofie vyplývající z jediného zákona sil existujících v přírodě* (1758) spojit koncepce Leibnizovy a Newtonovy na základě jediného obecného zákona pro interakci mezi „silovými centry“ — atomy. Hamilton rovněž formuloval vlastní variační princip mechaniky a objevil analogie mezi rovnicemi mechaniky a geometrické optiky, jež se staly později pro Schrödingera východiskem při formulaci základní rovnice kvantové mechaniky. Hamilton soustavně pracoval ve fyzice s vektory, jimž dal také jméno, stejně jako s kvaterniony, jimiž se zabýval plných 22 let. Hamiltonovo dílo charakterizoval nejvýstižněji C. Jacobi, když r. 1842 na shromáždění Britské vědecké společnosti v Manchesteru řekl: „Hamilton, to je Lagrange vaší země.“

Sám CARL JACOBI dospěl k obdobným výsledkům

v Německu jako Hamilton v Irsku. Francouzský badatel GUSTAVE CORIOLIS vypracoval teorii pohybu těles na plochách, jež se samy pohybují (rotují) a na něž působí tzv. Coriolisova síla. Jeho krajan JEAN-VICTOR PONCELET za pobytu v ruském zajetí r. 1812 připadl na nutnost zavést pojem práce a další jejich krajan LOUIS POINSOT podal řadu názorných geometrických interpretací pohybu tuhého tělesa. Tím vzrostl význam i úroveň kinematiky těles (zejména mechanismů), kterou prohloubil Rus P. L. Čebyšev. Teorii setrvačnicků významně rozšířila Ruska SOFJA VASILJEVNA KOVALEVSKÁ, působící ve Stockholmu; tehdy neměly ženy přístup na carské univerzity ani jako posluchačky, ani jako profesorky. Také H. Hertzovi učaroval variační princip mechaniky, o jehož novou formulaci se úspěšně pokusil; stejně pozoruhodný je jeho pokus založit mechaniku bez použití pojmu síly a vypracovat teorii tvrdosti. Hertz vynikl také v oblasti experimentální fyziky objevem elektromagnetických vln, o nichž se ještě později zmíníme.

Ke jménům, jež se stala pojmy, patří v klasické mechanice 20. stol. dále ALEXANDR MICHAJLOVIČ LJAPUNOV, který vypracoval teorii stability pohybu; KONSTANTIN EDUARDOVIČ CIOLKOVSKIJ, ač slepý, založil teorii pohybu těles s proměnnou hmotností a teorii pohybu raket pro kosmické účely a stal se tak zakladatelem teoretické kosmonautiky. Navázal na dílo svého předchůdce IVANA VSEVOLODOVIČE MEŠČERSKÉHO. Velký teoretický i praktický význam, a to v mechanice i v akustice, má rovněž teorie mechanických kmitů; k zakladatelům její současné formy patří Francouz HENRI JULES POINCARÉ. Pro případ strojů ji významně rozvinul český inženýr a fyzik, akademik JAROSLAV KOŽEŠNÍK. Souběžně s obecnými problémy mechaniky se ovšem rozvíjela také experimentální mechanika tuhých těles.

Experimentální mechanika tuhých těles

V dobách po Newtonovi hrála dominantní roli v mechanice teorie; přesto bylo zřejmé, že některé veličiny,

zejména různé konstanty, jež často vyjadřují meze našeho momentálního poznání a skrývají naše nevědomosti o daném jevu, nelze zjistit jinak než měřením. Obdobně se musíme obracet k experimentu i v případě, kdy je teoretické řešení příliš obtížné, nebo kdy obsahuje mezery již ve vstupních údajích.

Z konstant, jež mechaniku především zajímaly, to byla konstanta, která je součástí gravitačního zákona, tíhové zrychlení na různých místech Země, velikost, hmotnost a tvar Země a další. Gravitační konstantu určil r. 1738 PIERRE BOUGUER, známější ve fyzice jako zakladatel fotometrie; jeho metoda ovšem nebyla přesná, neboť se opírala o měření odchylky olovnice od svislého směru vlivem masívu sopky Chimborasso. Odchylna činila pouhých 7,5 vteřin a hmotnost hory musel odhadnout. V laboratoři změřil tutéž konstantu přesněji HENRY CAVENDISH; pozdější velmi přesná měření téže veličiny obdobnou metodou pocházejí od maďarského fyzika LORÁNDA EÖTVÖSE z r. 1891. Při svých měřeních prokázal Eötvös rovněž úměrnost tíhové a setrvačné hmotnosti u každého tělesa. Je možno říci, že tito mužové provedli jedno z nejvýznamnějších měření v dějinách, neboť na základě znalosti gravitační konstanty lze již určit hmotnost Země i hvězd a planet ve vesmíru. Zjištění úměrnosti — při použití běžné soustavy fyzikálních jednotek rovnosti hmotnosti tíhové a setrvačné — se zase stalo výchozím bodem Einsteiny obecné teorie relativity. Měření se ovšem opírala také o znalosti zákona pro torzi vlákna, jehož objevitelem je francouzský vojenský inženýr Ch. A. Coulomb; od něj pochází nejen zákon pro torzi vláken (1784), ale také zákony tření (1781), zákon přitažlivosti elektrických nábojů (1785) a magnetických pólů (1788).

V oblasti problémů souvisejících se zemským tíhovým polem a s jeho změnami vlivem pohybu Země a různé hustoty jejích mas jsou nejpozoruhodnější kyvadlové metody měření tíhového zrychlení g vypracované německým astronomem F. W. Bessellem. Závislost g na zeměpisné šířce prokázal již r. 1671 francouzský astronom J. Richer, když s překvapením zjistil, že jeho přesné kyvad-

lové hodiny se v jihoamerickém Cayenne oproti Paříži o dvě minuty denně opožďují. Mnohem později (1851) dokázal v pařížském Pantheonu jeho krajan JEAN FOUCAULT, že rovina kyvu se zachovává v prostoru, přitom Země pod ní rotuje, a že jev je důsledkem Coriolisovy síly; 67 m dlouhé Foucaultovo kyvadlo bylo skutečně markantním důkazem rotace Země a mělo významnou roli z hlediska fyziky i světového názoru širokých vrstev. Neméně zajímavým důsledkem Coriolisovy síly, jež se projevuje u těles pohybujících se vůči rotující Zemi, je i nestejně opotřebením kolejnic probíhajících severojižním směrem, nestejně vymílání břehů řek tekoucích v tomto směru, dále stáčení pasátů i všech větrů proudících z místa tlakové výše do míst tlakové níže aj. Uvedené a další obdobné jevy byly podrobně prozkoumány řadou badatelů (i nefyziků) 19. stol.

Pozornosti experimentátorů se odedávna těšily také pokusy pádové a problémy balistiky. Pokusy s pádem těles z vysokých věží a na dno hlubokých šachet prokázaly správnost Newtonových koncepcí setrvačnosti a odstředivé síly, vznikající v důsledku zemské rotace; Guglielmini, Benzenberg a další zjistili, že padající těleso se skutečně odchyluje na východ od vertikály. Řada badatelů se zabývala problémy balistiky vnější (a později i vnitřní, tj. teorií pohybu uvnitř hlavně); za všechny vzpomeňme alespoň BENJAMINA ROBINSE, který dokázal, že balistická křivka není parabola, ale že její vzestupná část je vždy delší než sestupná; naučil také zbrojní inženýry měřit počáteční rychlost střel svým balistickým kyvadlem. Šlo v podstatě o pytel s pískem zavěšeným na laně; rozkvyv takového kyvadla po vniknutí střely do masy písku byl spolehlivou mírou kinetické energie projektilu.

Hydromechanika

Po Eulerovi, který formuloval pohybové rovnice ideální kapaliny z určitého hlediska, a po Lagrangeovi, který formuloval obdobné rovnice z jiného hlediska, zbývalo ještě najít dynamické rovnice pro reálné kapaliny. Pro zvláštní případ proudění viskózní kapaliny kapilá-

rami došli k významným výsledkům jednak německý fyzik Hagen, který r. 1839 zjistil měřením, že objem kapaliny vyteklé kapilárou je úměrný čtvrté mocnině jejího průměru, jednak pařížský lékař J. L. Poiseuille; ten r. 1846 došel navíc ke vzorci vyjadřujícímu závislost onoho objemu kapaliny na délce kapiláry, na tlakovém rozdílu a na teplotě. Záležitost ho zajímala jako lékaře, který se u pacientů často setkával s vlásečnicovým krvácením. Do příslušného vztahu koeficient viskozity kapaliny zavedl r. 1860 Hagen a rok nato O. E. Meyer dal formuli dnešní tvar.

Za formulaci obecných zákonů proudění viskózních kapalin vděčíme teoretickým pracím LOUISE NAVIERA a sira GEORGA GABRIELA STOKESE (1819—1903). Exaktní pojem vírů zavedl do výpočtů s ohledem na svoji formulaci zákona zachování energie německý lékař a fyzik H. Helmholtz. Na tyto výzkumy navázali posléze zakladatelé teorie obtékání těles GUSTAV KIRCHHOFF a NIKOLAJ JEGORovič ŽUKOVSKIJ, teoretik a zakladatel ruského letectví. Teorii, ale i experimentální metodiku v oblasti viskózního turbulentního proudění prohloubil dále Angličan OSBORNE REYNOLDS a Němec LUDWIG PRANDTL, který navíc sestrojil potřebné přístroje a vypracoval teorii mezní vrstvy.

S problematikou proudění kapalin úzce souvisí problematika vodních motorů, problematika pohybu lodí, letadel a střel a problematika vlnění na povrchu kapalin. K lepšímu využití energie vodních toků byly sestrojeny vodní turbíny, jež mají výkon i účinnost daleko větší než starobylá vodní kola. Je zajímavé, že s prvním modelem reaktivní turbíny přišel bratislavský rodák J. Segner. První prakticky použitelnou turbínu navrhl francouzský inženýr Buridan a sestrojil ji jeho žák BENOIT FOURNEYRON; šlo o radiální reaktivní turbínu. V r. 1837 se objevuje axiální turbína sestrojená Henschelem a Jonvallem (1840). Roku 1838 obdržel patent na přetlakovou turbínu anglický hydrotechnik Howd a tuto turbínu konečně zdokonalil jeho krajan JAMES FRANCIS natolik, že se stala nejužívanějším zařízením tohoto druhu vůbec. Další tangenciální turbínu sestrojil americký inženýr LESTER ALLEN PELTON. V r. 1853

sestrojil Francouz L. D. Girard „vrtulovou“ turbínu, z níž vyvinul posléze r. 1912 profesor německé techniky v Brně VIKTOR KAPLAN svoji světoznámou turbínu. Od těch dob se už hydrotechnika odděluje od fyziky, ubírá se vlastními cestami a zabývá se vlastními specifickými problémy.

Samozřejmě, že fyziky také zajímaly vlastnosti samotné kapaliny, nejen její pohyb. Ostatně i pohyb kapalin úzce s těmito vlastnostmi souvisí, jak dobře poznal sir RAYLEIGH — vlastním jménem JOHN WILLIAM STRUTT, který kromě dalších objevů vytvořil teorii vln na hladině kapalin, a to i s ohledem na kapilaritu. Vedle kapilarity zajímala fyziky také stlačitelnost kapalin a další vlastnosti, jež však patří do tzv. molekulární mechaniky. S problémy hydromechaniky souvisí také aeromechanika, a to tak úzce, že bývají někdy spojovány v jednu vědu — hydroaeromechaniku.

Aeromechanika

Mechanické zákony plynů, zejména zákony pohybu a proudění, nelze studovat nezávisle na jejich vlastnostech molekulárních a termodynamických. Je tedy oblast čistě mechanických problémů plynů dosti neurčitá a chudší než jiné oblasti mechaniky.

Prvním popudem k rozvoji aerodynamiky byl objev vakua, na nějž navazovala problematika vývěv, kompresorů a zařízení na měření tlaku plynů. Poté vyvstal problém formulovat vztah mezi tlakem, teplotou a objemem daného plynu, jenž vyjadřuje fyzikální stav plynu a nazývá se stavová rovnice plynu.

Zájem o atmosférický tlak byl vyvolán problémem, který nevyřešil ani Galilei. Když se měla čerpat voda do knížecích zahrad pomocí sacích pump, nebylo to možno učinit do větší výše než do 10 metrů. Galilei, který to měl vysvětlit, dovedl jen konstatovat, že „strach přírody z prázdnoty má jen konečnou hodnotu“. Teprve Torricelli usoudil, že tento „strach“ není nic jiného než atmosférický tlak; navrhl dokonce, jak ho pomocí rtuti změřit; tento „Torricelliho pokus“ provedl Viviani (1643). Jistotu o tom, že jde skutečně o atmosférický tlak,

zjednal dalším, složitějším pokusem, B. Pascal, který dále navrhl, aby se pokus provedl na úpatí a na vrcholu hory. Když to r. 1648 jeho švagr provedl na hoře Puy de Dôme (při výškovém rozdílu asi 1000 m), bylo zřejmé, že tlak vzduchu s výškou klesá. Poté se zjistilo, že se tlak mění s časem i počasím. Vzorec pro závislost tlaku na výšce odvodil Laplace a definitivní tvar mu dal J. Babinet v 19. stol. Souvislost tlaku s počasím se stala důležitým faktem meteorologickým.

O Pascalových a Torricelliho pokusech se doslechl O. von Guericke a rozhodl se vakuum podrobně prozkoumat. Nejprve ovšem potřeboval vyčerpát vzduch z většího prostoru než jen z trubice nad hladinou rtuť. Zhotovil proto vývěvu a všestranně prozkoumal účinky vakua. Dokázal, že atmosférický tlak je nesmírně velký, což demonstroval před říšským sněmem v Řeznu, o čemž již byla zmínka dříve. Dokázal rovněž, že zvuk se vakuem nešíří, světlo však ano; ukázal, že živočichové potřebují k životu vzduch a že bez vzduchu není možné ani hoření. Pokusy s vakuem se nadlouho staly módou. Svě zkušnosti shrnul O. von Guericke v díle *Experimenta nova* (1672), v němž uvádí také své zkušenosti s elektřinou. Vývěvy dále zdokonalil Boyle; poté nastává v oblasti vývěv částečná stagnace, až posléze v 19. stol. se objevily vývěvy založené na nových principech. Vývěva Geisslerova pracovala se rtuť (1862); následovala vývěva Sprengelova (1865), olejová vývěva Gaedeova, Fischerova a zařízení další, pracující s olejem na principu rotačním (rotační vývěva) a na principu difúze (difúzní vývěva). Historie kompresorů ovšem patří spíše do oblasti dějin techniky.

Fyziky zajímaly spíše metody měření tlaku a zákony plynů. Tlakoměr na principu Torricelliho sestrojil Gay-Lussac. Francouz L. Vidi vynalezl aneroid a jeho krajan E. Bourdon krabicový tlakoměr. K hlubšímu studiu plynů inspiroval badatele vynález balónů, jímž byla zahájena éra vzdušných letů pomocí aerostatů. Aerostaty viděli sice Evropané již ve středověku u Tatarů a nezaručené pokusy létat vzduchem jsou zaznamenány v různých zemích, ale pravdou je, že 5. června 1783 vypustili bratři Montgolfierové ve Francii balón plněný horkým vzdu-

chem. Když se o tom dověděla Paříž a královský dvůr, chtěli všichni vidět tyto pokusy na vlastní oči. A skutečně záhy uviděli nejen Charlesův balón plněný vodíkem, ale také první cestovatele, jimiž byli chemik Pilâtre de Rosier a markýz d'Arlandes, kteří se vznesli do vzduchu 21. října 1783. Následoval bezpočet různých letů a zdokonalování balónů a vzducholodí. Konjunktura aerostatů trvala až do první světové války, kdy zaujala ve vzdušných letech první místo letadla.

Pokud jde o mechanické zákony plynů, byl znám z r. 1661 tzv. Boyleův zákon objevený Townleyem a odvozený z nezpracovaných Boyleových měření. Vědomostí o plynech rozšířil slavný vzduchoplavec JOSEPH GAY-LUSSAC, který našel nejen po něm nazvané zákony pro děje izobarické a izochorické, ale navíc zjistil, že koeficient rozpínivosti i objemové roztažnosti je stejný pro všechny plyny a že oba koeficienty jsou si rovny. Tato skutečnost byla velmi pozoruhodná (neboť se vědělo, že každá kapalina a každá pevná látka se s teplotou roztahuje jinak) a stala se východiskem pro volbu počátku absolutní teplotní stupnice (Kelvinovy). Rovněž čistě empiricky zjistil své zákony pro směs plynů a pro reagující plyny profesor v Manchesteru JOHN DALTON. Experimentální fakta o plynech shrnul ve stavovou rovnici plynů francouzský fyzik BENOIT CLAPEYRON v r. 1834, když se vrátil ze svého desetiletého působení v Petrohradě. Vrchol, k němuž dospěla fyzika plynů na základě tohoto fenomenologického přístupu k mechanickým a tepelným jevům, představuje termodynamika založená německým fyzikem, profesorem v Curychu a Bonnu, R. Clausiem; o tom bude zmínka v kapitole o termice.

Nedlouho předtím však dochází k oživení protichůdné, modelové koncepce, jež vycházela z Bernoulliovy představy o plynu jako o soustavě přímočaře se pohybujících kulových molekul. Další krok učinil italský fyzik AMADEO AVOGADRO zákonem, podle něhož je ve všech plynech za stejného stavu (tj. za stejného tlaku, teploty a objemu) stejný počet molekul. Počet těchto molekul určil r. 1865 vídeňský profesor JOHANN J. LOSCHMIDT; počet molekul obsažených v jednom molu plynu se na-

zývá Avogadrova konstanta a její hodnota vyplývá z údajů Loschmidtových a z řady dalších měření. Jako tzv. Loschmidtovo číslo se označuje počet molekul v 1 cm^3 plynu za normálních podmínek. Odtud vedla již přímá cesta ke kinetické teorii plynů. Její základní rovnici za zjednodušujícího předpokladu, že všechny molekuly plynu se za dané teploty pohybují stejnou rychlostí, odvodil Clausius v r. 1857. Odvodil rovněž obecnou stavovou rovnici plynů; je zajímavé, že za její vhodný a fyzikálně zdůvodněný speciální tvar (1873) dostal později Nobelovu cenu holandský fyzik JOHANNES DIDERIK VAN DER WAALS. Další rozvoj mechaniky plynů souvisí se zobecněním kinetické teorie plynů, s odstraněním zmíněných konkrétních geometrických a mechanických představ týkajících se modelu plynů a se zrodem statistické fyziky, který se pojí se jmény geniálních fyziků — Skota J. C. Maxwella, Rakušana L. Boltzmana a Američana J. Gibbse; o nich bude zmínka v pojednání o klasické statistické fyzice.

Další významné kapitoly dějin aerodynamiky se týkají problematiky odporu plynů (zejména vzduchu) vůči pohybu těles a problematiky proudění a obtékání těles, z níž se vyvinula teorie mechanické podobnosti. Fyzikální principy v této oblasti aeromechaniky vyslovili v 19. stol. ti badatelé, o nichž jsme mluvili v hydrodynamice. Rozhodujícím stimulem těchto teoretických a experimentálních prací byly snahy o lety vzduchem a zčásti také otázky kladené vnější balistikou.

Na tomto místě by bylo možno uvést řadu skutečností z dramatické historie letectví. Jde však spíše o problematiku z dějin techniky a dopravy. Omezíme se proto na konstatování, že pokusy s letadly těžšími než vzduch se sice objevují již koncem 19. stol., ale největší význam však měly až lety provedené r. 1901 G. Weisskopfem (v USA se přejmenoval na Whiteheada) — ač již r. 1899 létalo jeho letadlo s parním motorem; první úspěšný let řízený člověkem uskutečnili (s použitím lehkého benzinového motoru vlastní konstrukce) bratři W. a O. Wrightové v prosinci r. 1903 v USA. Jejich přínos nespočíval jen v samotném faktu úspěšných letů, ale i v soustavném provádění pokusů v aerodynamických tu-

nelech. Pro netečnost amerických úřadů se odebrali do Francie, kde svoje letadla již následujícího roku zdokonalili natolik, že byla schopna vojenského použití — a právě to se stalo dalším mocným impulsem rozvoje letectví. Raketových motorů pro pohon modelů letadel začal používat již r. 1863 Louvrié. Po vypracování teorie letu (Rusové Žukovskij, Čaplygin, Němec Kutte, Angličan Lancaster aj.) se také příslušná část aeromechaniky stává samostatnou vědní disciplínou, jež se oddělila od fyziky a jež má četné aplikace i v oborech letectví vzdálených.

Molekulární mechanika

Pod tímto pojmem se v klasické fyzice zpravidla rozumí věda o mechanických vlastnostech pevných látek, kapalin a plynů. Pokud se badatelé omezili na fenomenologický popis těchto vlastností a chápali zmíněná tělesa jako kontinuum, pro něž vnitřní, molekulární a atomová struktura není důležitá (nebo ji dokonce popírali), byla jejich výsledkem tzv. mechanika kontinua. Jestliže naopak předpokládali zmíněnou strukturu těles a snažili se konstanty fenomenologické teorie interpretovat mikroskopicky, nazývali svoji vědu molekulární mechanikou. K stoupencům teze o hmotě jako kontinuu patřili zpravidla myslitelé konzervativní (např. Mach), k zastáncům molekulárního pojetí atomisté (např. Boltzmann). Dnes ovšem ostří tohoto sporu dávno otupělo — mechanika kontinua je prostě přibližný, fenomenologický popis mechanických vlastností látek a jejich mikroskopická interpretace je předmětem hlubší, molekulární mechaniky. Dnes je také známo, že v molekulární mechanice nestačí mikroskopický přístup na klasické úrovni, ale že je třeba i mechanické veličiny interpretovat z pozic kvantové a statistické fyziky. V tomto smyslu ztratila někdejší nekvantová molekulární mechanika na významu, zatímco jednoduchá kontinuální teorie slouží zejména technické praxi velmi dobře i nadále.

Z řady nauk, jež patří do této oblasti, je nejrozsáhlejší teorie pružnosti, v níž učinil první krok R. Hooke, když r. 1660 formuloval zákon po něm nazvaný; další

bádání v oblasti pružnosti v tahu se pojí se jménem jeho krajana THOMASE YOUNGA, který r. 1807 zavedl pojem modulu pružnosti nesoucí dnes jeho jméno. Jak pomalý byl zprvu vývoj v této oblasti, ukazuje dobře ta skutečnost, že v dlouhém mezidobí vymezeném těmito jmény se objevuje jen jméno Ch. A. Coulomba, který r. 1781 odhalil zákon pružnosti v torzi; tři roky poté sestrojil torzní váhy. Mimoto r. 1781 formuloval základní zákony tření pevných těles. Konečně v pracích Francouzů AUGUSTINA LOUISE CAUCHYHO a L. Naviera byly formulovány obecné rovnice teorie pružnosti, jež jsou počátkem mohutného rozvoje této vědy ve 20. stol. Další bádání v teorii pružnosti probíhala podle vzoru analytické mechaniky; výsledky základního významu se pojí se jmény Francouzů S. D. Poissona, HADAMARDA JEANA CLAUDE BARRÉ DE SAINT-VENANTA a GABRIELA LAMÉ, Rusa MICHAILA VASILJEVIČE OSTROGRADSKÉHO a Angličanů GEORGA GREENA a W. Thomsona, kterému se dostalo titulu lord Kelvin of Largs a který zavedl do této oblasti rovněž metody termodynamiky.

Výzkumy Navierovy a na ně navazující práce sira G. G. Stokese vedly k objevu diferenciálních pohybových rovnic viskózní tekutiny. Po dalších úspěších nauky o proudění, charakterizovaných jmény uvedenými již v hydrodynamice, je třeba se zmínit ještě o čtyřech významných problémech. První se týká teorie nadzvukového proudění, k níž učinil první kroky E. Mach. Další její rozvoj je spjat s dílem Reynoldse, Čaplygina, Žukovského a dalších.

Druhá důležitá nauka — hydrodynamická teorie procesu mazání — vznikla zásluhou Rusa GEORGIJE IVANOVICĚ PETROVA. První matematickou teorii plastického tečení kovů předložil Saint-Venant, čímž se začaly rychle sbližovat teorie pružnosti a teorie plastičnosti a pevnosti. Vývoj nakonec dospěl k ustavení *reologie* jako vědy o tečení a deformaci reálného kontinua. Tato nová věda byla formálně ustavena na třetím symposiu o plasticitě r. 1929 v USA a je založena na pracích a výsledcích amerického badatele Bingama, od něhož má také jméno (řec. rheos = tečení). V mechanice jsou dnes aktuální problémy pohybu mikročástic při změnách je-

jich tvaru, požadavky vypracovat dokonalejší teorii proudění a turbulentního tečení; je třeba řešit problémy plasticity a sypkosti a podat fyzikálně zdůvodněnou teorii pevnosti, rozrušitelnosti a tvrdosti pevných těles.

Další dvě oblasti novodobé mechaniky překračují rámec čisté mechaniky. Patří sem jak problémy hydrotermochemie, jež se týkají mechanických procesů v kapalinách a v plynech vstupujících do chemických reakcí, tak problémy biomechaniky týkající se např. mechanismů vzniku muskulárních sil, mechanismu dělení buněk aj.

Bez aparátu klasické hydrodynamiky se však neobejde ani výzkum a popis různých exotických stavů hmoty; v těchto teoriích se stýká klasická mechanika s teorií kvantovou a statistickou fyzikou. Jde o široký okruh problémů magnetohydrodynamiky, založené švédským astrofyzikem HANNESEM OLOFEM GÖSTOU ALFVENEM a zabývající se pohybem plazmatu v magnetickém poli. Nachází-li tato nová oblast hydrodynamiky významné aplikace převážně při výzkumu hmoty s velmi vysokou teplotou, pak nemenší překvapení přináší problematika proudění za extrémně nízkých teplot. Problematika supratekutosti He^4 a zejména He^3 , při jejímž popisu se také poprvé soustavně využilo topologie, skýtá mnohá překvapení; byly např. odhaleny netušené souvislosti mezi mechanikou těchto zvláštních stavů hmoty a mezi stavy hmoty, o nichž se domníváme, že existují v neutronových hvězdách. Zakladatelem experimentální nauky o supratekutosti je sovětský fyzik PJOTR LEONIDovič KAPICA a zakladatelem teorie tohoto jevu LEV DAVIDovič LANDAU.

K molekulárně mechanickým vlastnostem kapalin a plynů patří také kapilární jevy a jevy přenosu. Klasická podoba teorie kapilarity a povrchového napětí pochází z 19. stol. od Laplace, Poissona a Gausse. Pochopení jevů přenosu, k nimž patří jevy difúzní, vnitřního tření a vedení tepla, úzce souvisí s kinetickou teorií plynů. Tato teorie podala v 19. a 20. stol. přesný mikroskopický popis zmíněných jevů a odhalila také jejich vzájemné souvislosti; o těchto problémech bude ještě zmínka ve statistické fyzice.

Současná klasická mechanika tedy zdaleka není uza-

vřena, ač byla v teoretické rovině nahrazena obecnější mechanikou relativistickou a kvantovou; rozvíjí se i nadále a čerpá nové podněty z praxe. Novost těchto problémů je zřejmá již z toho, že jejich zadavatelem je v mnoha případech kosmonautika, zbrojní technika i automatizovaná výroba. Patří tedy dodnes k nejzákladnějším oborům fyziky a na tomto jejím postavení se sotva v budoucnosti něco změní. S technikou a praxí úzce souvisí také volba fyzikálních jednotek.

Nové fyzikální jednotky a klasická mechanika

Z hlediska experimentální fyziky a techniky, ale i obchodu a denního života bylo a zůstane vždy velmi důležité zvolit vhodnou soustavu fyzikálních, zejména mechanických jednotek, přesně je definovat, realizovat a co nejvíce unifikovat. Až do francouzské buržoazní revoluce panoval v soustavách jednotek dokonalý zmatek; např. jednotka délky byla odvozena z rozměrů lidského těla a byla zpravidla nejen v každé zemi, ale někdy i v každém městě jiná. Míry byly založeny na soustavě dvanáctkové, a to nedůsledně: 1 sáh měl 6 stop po 12 palcích, ten po 12 čárkách; přitom vídeňská stopa měla 31,6 mm. Také plný úhel činil 6krát 60° po 60 minutách a po 60 vteřinách.

Francouzské národní shromáždění přijalo r. 1790 návrh přednesený Talleyrandem, jímž se především provedla decimalizace jednotek, zejména pravý úhel byl rozdělen na 100° po 100 minutách a po 100 vteřinách. Za jednotku délky byl zvolen metr, definovaný jako délka oblouku zemského poledníku procházejícího Paříží na úrovni mořské hladiny, a to oblouku, který odpovídá středovému úhlu 0,1 nové úhlové sekundy. Když se později od decimalizace úhlů ustoupilo, zůstal ideální metr stejný, ovšem definován byl jako desetimilióntina kvadrantu onoho poledníku. Realizací metru se stal „mètre primitif“ ve tvaru platinové tyče; jeho kopie ze slitiny platiny a iridia se stala metrem mezinárodním, platným až do r. 1968. Jednotka hmotnosti byla definována jako hmotnost 1 dm³ vody o největší hustotě; jejím etalonem se stal „kilogramme primitif“ ve tvaru platinového válce;

platinoiridiová kopie stejné hmotnosti je mezinárodním kilogramem dodnes. Decimalizace jednotek času se vůbec nerealizovala pro stávkou pařížských hodinářů, kteří měli velké zásoby koleček ve starých mírách. Ani kalendář Francouzské republiky se dlouho neudržel. Zachovala se však idea vyjadřovat násobky a zlomky základní jednotky stálými předponami, např. *deka-*, *hekto-*, *kilo-*, *myria-*, resp. *deci-*, *centi-*, *mili-* pro násobky 10¹, 10², 10³, 10⁴, resp. 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³ atd., s použitím stálých zkratk: *D*, *h*, *k* atd. Realizaci metru ovšem předcházela pečlivá poledníková měření vedená Delambrem, Méchainem a na jiném místě Biotem a Aragem. Jednotky odvozených veličin, např. ploch a objemů, jsou odvozeny z jednotek základních veličin; např. jednotkou plochy je 1 m², jednotkou rychlosti 1 m · s⁻¹ apod. Za základní mechanické veličiny a jednotky byla zvolena hmotnost (s jednotkou gram), délka (metr) a čas (sekunda). Tyto ideje, rozšířené, zobecněné a zpřesněné na úroveň současných možností, se staly konečně ve druhé polovině 20. stol. obecným majetkem lidstva v podobě soustavy *SI (Système International)*; v anglosaském světě však dosud přežívají i jiné, starší soustavy. Je jen málo oblastí lidské činnosti, v níž došlo k tak skvělé unifikaci a racionalizaci. Nutno ovšem poznamenat, že to trvalo téměř dvě století*); snad jen notopis, užívání latinsko-řecké terminologie v přírodních vědách a používání latinských a řeckých symbolů v exaktních vědách lze s touto vymožeností srovnávat.

VZNIK A VÝVOJ AKUSTIKY

Akustika je jednou z nejstarších oblastí vědění, jež se zrodila z potřeb objasnit sluchové jevy, zejména řeč a

*) Jeden z dekretů Konventu jednajících o mírách a váhách byl přijat na témž zasedání, na němž byla odhlasována smrt královny; leckde v anglosaském světě byla proto metrická soustava považována za „nemorální“, což ovšem zdrželo její přijetí.

hudbu. Již ve starověku se poznalo, že fyzikální příčinou zvuku jsou děje mechanické, takže fyzikální principy akustiky jsou mechanické a společné s principy později vzniklé nauky o vlnění. Dějiny akustiky je možno rozdělit na tři epochy:

1. Od Pythagora do konce 16. stol.; v této epoše se vyvíjela převážně hudební akustika v úzké souvislosti s teorií hudby.

2. V klasickém období vymezeném zhruba lety 1600 až 1900 je akustika ve znamení sblížení s klasickou mechanikou, v níž se zdánlivě úplně ztrácí. Kromě dále prohlubované hudební akustiky se však rozvíjí také akustika fyzikální.

3. Pro současnou epochu je příznačný jednak vznik a rozvoj elektroakustiky, molekulární akustiky, fyziologické akustiky a četných aplikací, např. stavební akustiky, jednak to, že úzce vymezená oblast akustických metod pro oblast slyšitelného zvuku se podstatně rozšiřuje, zejména na oblast ultrazvuku a hyperzvuku a na nelineární akustické procesy příznačné pro děje probíhající s mimořádně silnou intenzitou. V podstatě však fyzikální interpretace akustických jevů většinou nevybočuje z rámce klasické mechaniky. Některé prvky klasické akustiky ovšem byly známy již před r. 1600 a těch si nyní všimneme.

VZNIK A VÝVOJ AKUSTIKY PŘED GALILEIM

Samotný název akustika je odvozen z řeckého *akustikos*, sluchový, což naznačuje, kde můžeme pravděpodobně hledat kořeny této vědy. Základy hudebního umění byly sice známy většině starých národů, avšak teoretické problémy z této oblasti formuloval jako první Pythagoras; je zajímavé, že vedle tehdy obligátních filozofických spekulací zkoumal tyto jevy také pokusně. Pomocí monochordu objevil závislost výšky tónu struny na její délce, což bylo později rozšířeno i na píšťaly. Navíc však zjistil, že délky strun naladěných navzájem na základní hudební intervaly jsou při témže napětí v poměru malých přirozených čísel (oktáva 1:2, kvinta 2:3 atd.). Na

Pythagora a jeho žáky učinilo toto poznání, zároveň se vztahy objevenými v geometrii, dojem tak hluboký, že začali připisovat číselným poměrům základní význam; nakonec se přestali zajímat o samotné fyzikální dění a zkoumali jen poměry při něm zjištěné, jež považovali za jediný základ existence světa a věcí.

Správněji chápal zvukové jevy Aristoteles, který považoval zvuk za zhuštění a zředění vzduchu šířící se od zvučícího tělesa; ozvěnu správně objasnil jako odraz zvuku od překážek. Mylně se však domníval, že hluboké tóny se šíří rychleji než vysoké. Ve starověku dosáhla významných výsledků řecká hudební teorie, týkající se stupnic a ladění; neznala však ještě přesnou hudební notaci.

Ve středověku se rozšířilo vědění z akustiky hudební a stavební, zejména v souvislosti se stavbou varhan, s otázkami akustiky velkých prostorů (katedrál) a s hudební teorií. Například v 11. stol. vynalezl Guido z Arreza hudební notaci a při stavbě varhan a hudebních nástrojů se začínal uplatňovat tzv. varhanní princip, spočívající však na poznání čistě empirickém. Stavitelé varhan poznali, že zvuk jejich nástrojů je plnější a silnější nikoli proto, že přiřadí ke každé klávese několik stejných píšťal, ale tím, že jí přiřadí současně celou řadu píšťal o délkách rovných polovině, třetině, čtvrtině, ... základní délky. Tak vznikla tzv. středověká varhanní mixtura. Později se mixtura rozpadla, tj. byla rozdělena v různé rejstříky obsahující řadu píšťal základní délky, řadu píšťal poloviční délky atd., přičemž každý rejstřík mohl být používán jak samostatně, tak současně. Obdobně také v orchestru bylo třeba stavět nástroje (rejstříky) dané barvy v poloze sopránové (např. housle), altové (viola), tenorové (violoncello) a basové (kontrabas). Fyzikální důvod se ovšem našel až mnohem později v souvislosti s objevem vyšších harmonických tónů přítomných v daném hudebním zvuku. Mixtura pouze zesiluje vyšší harmonické tóny, u píšťal obyčejně jen slabě zastoupené.

Jinak však neměla akustika jako fyzikální disciplína významnější podíl na rozvoji hudby; spíše naopak — skrovné akustické poznatky pocházejí od hudebníků a hudebních teoretiků. Výraznější pokrok v tomto směru

nastává až za renesance, kdy Leonardo da Vinci zkoumal odraz zvuku a formuloval princip nezávislosti šíření zvukových vln vycházejících od různých zdrojů; pro pomalý vývoj v této oblasti fyziky je charakteristické např. to, že jev i princip interference zvukových vln objevil až na počátku 19. stol. T. Young, když zjistil, že vlny vznikající rozdělením původní vlny se při setkání mohou zesilovat i zeslabovat.

KLASICKÉ OBDOBÍ AKUSTIKY

Akustika se stává fyzikální vědou až zásluhou Galileiho, tj. po r. 1600. Ve své předgalileovské epoše se okruh jejích problémů omezuje na studium hudebních tónů, jejich zdrojů (strun a píšťal) a na problém rychlosti šíření zvuku. Podnět k dalším výzkumům vyšel od Galileiho, který dobře znal hudbu (byl synem hudebního teoretika) a který podal důkaz těsných vztahů mezi kmitáním těles a zvukem. Zjistil, že výška zvuku je dána frekvencí kmitů; tato frekvence závisí u struny na délce, napětí a hustotě. Intenzita zvuku závisí na amplitudě kmitů. Přesné kvantitativní vztahy však nenašel. Učený francouzský mnich M. Mersenne, pokračující ve šlépějích Galileiho, dovedl již určit frekvenci znějící struny, a to v závislosti na výše uvedených veličinách. Zjistil rovněž, že struna vydává současně s tónem základním také tóny vyšší harmonické, a poprvé určil rychlost zvuku ve vzduchu. Zakladatel fyzikální akustiky, dvorní učitel Ludvíka XIV., JOSEPH SAUVEUR formuloval obdobné zákony pro píšťaly; u strun určil polohy uzlů a kmiten pomocí dodnes užívaných papírových jezdců. Skutečnost, že zvuk se na rozdíl od světla nešíří prázdným prostorem, dokázal pokusně O. von Guericke.

Newton ve svých *Principích* vypočetl závislosti rychlosti zvuku na stlačitelnosti a hustotě vzduchu, přičemž předpokládal, že proces šíření zvuku je děj izotermický, což bylo ve shodě s tehdy jediným známým zákonem pro plyny, se zákonem Boyleovým. Jeho vztah později korigoval Laplace (1826) předpokladem, že jde o děj adiabatický, což se pokusně potvrdilo. Pracemi Newto-

novými začíná rozkvět celé klasické fyziky, přičemž mechanika, nauka o vlnění, akustika a dokonce optika se rozvíjely jako jednotná věda spočívající na mechanických principech. Proto také největší zásluhy o rozvoj akustiky mají až do začátku 19. stol. teoretici mechanikové — Angličan BROOK TAYLOR, který odvodil vzorec pro frekvenci struny, Euler, D. Bernoulli, Lagrange, d'Alembert a další, kteří propracovali matematickou teorii kmitání strun, tyčí a desek a objasnili vznik svrchních tónů. Jejich vlivem se stala akustika vědou takřka úplně matematickou, bez odpovídajícího „experimentálního zázemí“; octla se v absurdní situaci, kdy na rozdíl od jiných fyzikálních věd byla obohacována stále novými vzorci téměř bez jediného experimentu.

Tato situace se radikálně změnila teprve objevy zakladatele soustavné experimentální akustiky — ERNSTA FLORENSE FRIEDRICH A CHLADNIHO; pocházel prý z rodiny potomků slovenských pobělohorských emigrantů. Byl právníkem, ale vábilo ho „pole neorané“, jímž tehdy byla experimentální akustika. Zanechal práv, stal se hudebním virtuózem, a po koncertech přednášoval o akustických problémech; předváděl rovněž nové hudební nástroje vlastní konstrukce (jako před ním P. Diviš) a své výsledky shrnul v díle *Akustika* (1802). K jeho obdivovatelům patřil i Napoleon, který mu svou finanční podporou umožnil vydat francouzský překlad *Akustiky*. Z nejvýznamnějších fyzikálních objevů Chladniho je třeba jmenovat jeho tónometr, kterým dovedl měřit frekvenci tónů, metodu zviditelnění uzlů kmitajících desek (*Chladniho obrazce*), měření rychlosti šíření zvuku v kovech a ovšem i to, že k dávno známým příčným kmitům tyčí a strun přidal kmity podélné a torzní. V Paříži byla třikrát vypsána cena za správné matematické řešení *Chladniho obrazců*; řešení podala teprve S. Germainová. Jakýmsi doplněním *Chladniho obrazců* jsou později objevené *Savartovy obrazce*. Je zajímavé, že kapaliny byly dlouho považovány za nestlačitelné a tedy za neschopné vést zvuk, ač měření rychlosti zvuku ve vodě konal již r. 1762 B. Franklin. Konečně přesvědčivý důkaz jevu podali r. 1827 Švýcar J. D. Colladon a francouzský matematik J. Ch. F. Sturm.

Po zvládnutí těchto elementárních poznatků nastal prudší rozvoj fyzikální akustiky. Fresnelovým zobecněním Huygensova principu a spojením s Youngovým principem interference byla na počátku 19. stol. prohloubena teorie ohybu zvuku; další prohloubení teorie zvuku znamená objev nového principu profesorem pražské techniky JOHANNEM CHRISTIANEM DOPPLEREM. Ten se týká změny frekvence vln při vzájemném pohybu zdroje, prostředí a pozorovatele. Zatímco uvedené objevy mají význam u všech vlnových procesů, tedy u procesů akustických i optických, nová matematická metoda rozkladu složitého kmitavého pohybu v harmonické složky, objevená JEANEM BAPTISTOU JOSEPHEM FOURIEREM, má význam pro celou fyziku a prvé triumfy slavila v termice. Objektivní experimentální metodu rozkladu zvuku v harmonické složky (tóny) pomocí rezonátorů vypracoval Němec Helmholtz. Výběrem vhodných ladiček a rezonátorů se mu podařila také syntéza zvuku v různé samohlásky. Toutéž metodou pak úspěšně zkoumal zvuky hudebních nástrojů a exaktně objasnil barvu zvuku jako charakteristiku podmíněnou souborem svrchních tónů čili spektrem zvuku. Když posléze přišel G. S. Ohm s myšlenkou, že obdobný rozklad provádí také ucho cestou fyziologickou, založil na ní Helmholtz svoji rezonanční teorii slyšení, opírající se o nové poznatky anatomie ucha. Jeho dílo *Nauka o vnímání tónů* (1862) je nejen zakladatelským dílem fyziologické akustiky, ale i dílem prohlubujícím hudební akustiku a přinášejícím teorii konsonance. Celá tato epocha akustiky vrcholí velkým teoretickým dílem J. Strutta *Teorie zvuku* (1877), jež se dodnes vydává v nejrůznějších světových jazycích.

Kromě těchto základních prací obecného charakteru přináší 19. stol. řadu specifických objevů experimentální povahy a první závažné objevy technické akustiky. Řadu akustických pokusů, včetně interference vlnění a stojatého vlnění (v důsledku interference přímé a odražené vlny), provedli bratři WILHELM a ERNST WEBEROVI; přitom zavedli pojem vlnové délky do akustiky a své četné výsledky shrnuli v díle *Nauka o vlnění založená na pokusech* (1825). Pro zlepšení představ

o akustických dějích byly významné různé vlnostroje, k jejichž autorům patřili anglický výrobce hudebních nástrojů Ch. Wheatstone a profesor na pražské univerzitě E. Mach. Stojaté příčné vlny zkoumal svým proslulým pokusem FRANZ MELDE a skládání kmitů probíhajících současně v různých (většinou kolmých) směrech demonstroval kyvadlem Francouz J. Lissajous.

Fyzikální akustice i hudební praxi zase šlo hlavně o to, zjistit, fixovat a unifikovat frekvenci, a tedy také výšku tónů. K tomu cíli i ke studiu intervalů a stupnic byly sestrojeny sirény, z nichž nejznámější pocházejí od pařížského profesora fyziky F. Savarta, dále od lipského L. Seebecka a od francouzského inženýra Ch. Cagniard de la Toura. Aby se odstranila nejednotnost ladění, určila mezinárodní konference ve Vídni r. 1885 frekvenci komorního *a* na 435 Hz; dnes je frekvence jednocárkovaného *a* zvýšena na 440 Hz.

Velmi přesná přímá měření rychlosti zvuku ve vzduchu, v dalších plynech a v kovech provedl při kladení potrubí pařížského vodovodu a plynovodu HENRI VICTOR REGNAULT; nepřímou metodu měření této rychlosti v plynech a parách vypracoval berlínský profesor fyziky AUGUST KUNDT v r. 1866. Zákony lomu zvuku demonstroval londýnský fyzik JOHN TYNDALL a meze slyšitelnosti zjistil r. 1830 Savart, který shledal, že rozsah slyšitelnosti lidského ucha činí asi 11 oktáv. Logaritmický vztah mezi intenzitou počítku a intenzitou fyzikálního popudu pro sluch a zrak našli W. Weber a Fechner (1858). Interferenci zvuku pomocí trubic proměnné délky zkoumali německý fyzik GEORG QUINCKE a anglický fyzik JOHN HOPKINS.

Z konce této epochy jsou ještě velmi významné práce týkající se stavební akustiky, záznamu a reprodukce zvuku a generace ultrazvuku. Fyzikální základy stavební akustiky položil Američan WALLACE CLEMENT SABINE v r. 1906 a v jeho směru pokračoval sovětský fyzik S. J. Lifšic. Intenzivní ultrazvuk vytvářel pomocí krátkých píšťal anglický lékař F. Galton společně s Edelmannem a pomocí elektrických jisker Rus PJOTR NIKOLAJEVIČ LEBEĐEV a jeho žáci (P. N. Neklepajev a další), kteří dosáhli frekvence až několika MHz, čili oblasti hyperzvuku.

Pomocí těchto zařízení pak zkoumali absorpci ultrazvuku.

Předzvěstí nové doby v akustice jsou objevy možnosti trvalého záznamu a reprodukce zvuku, a ovšem i přenos zvuku elektroakustickou cestou. Trvalý záznam zvuku umožnil svým objevem hloubkového záznamu zvuku pomocí fonografu a válečku T. A. Edison, který také vynalezl gramofon, a dále washingtonský fyzik EMILE BERLINER, jenž r. 1888 uskutečnil stranový záznam na gramofonovou desku. Přesto však je třeba říci, že na přelomu 19. a 20. stol. celkový zájem fyziků o akustiku slábně, neboť je považována takřka za dovršenou oblast vědy, v níž snad zůstávají otevřeny jen dílčí problémy speciálního nebo aplikačního charakteru. Mylnost tohoto názoru však ukázala hned prvá dvě desetiletí našeho století; na základě popudů, jichž se dostalo akustice z oblasti elektrotechniky — vznikla elektroakustika.

SOUČASNÉ OBDOBÍ AKUSTIKY

V souvislosti s rozvojem elektroakustiky a radiotechniky vyvstal před akustikou nový komplex problémů, zejména problém transformace zvukových signálů v elektrické a naopak, problém jejich nezkráceného zesílení, záznamu a přenosu.

První kroky v elektroakustice byly již učiněny v poslední třetině 19. stol.; německý badatel JOHANN PHILIPP REIS v r. 1861 a nezávisle na něm americký vynálezce ALEXANDER GRAHAM BELL r. 1875 vynalezli telefon, Angličan DAVID EDWIN HUGHES zdokonalil Reisův mikrofon; na tyto vynálezy navázal objev gramofonu, o němž již byla zmínka. Po různých mechanických záznamech zvuku (Edison, 1877) se objevují ve 20. stol. jednak metody optického záznamu zvuku snímaného pomocí fotoefektu, což vzápětí znamenalo konec němého filmu, jednak metoda magnetického záznamu zvuku, jež se uplatnila v magnetofonech. Začátkem 20. stol. byly sestrojeny také elektrické a elektromechanické zesilovače zvuku, jež se pak ve dvacátých letech staly základem současné zvukové techniky.

Rozvoj fyzikální akustiky za první světové války a po ní byl stimulován požadavky vojenské techniky. Šlo zejména o určování polohy a rychlosti letadel (akustická lokace ve vzduchu) a ponorek (hydrolokace), o určování vzdálenosti a charakteru výbuchu, a o problém tlumení hluku letadel, zbraní a jiných zařízení. To ovšem vyžadovalo hlubší studium procesu absorpce zvuku v reálném prostředí a procesu šíření zvukových a ultrazvukových vln ve složitých reálných podmínkách. Za 1. světové války našel francouzský fyzik PAUL LANGEVIN v piezoelektricky buzených kmitcích křemenných destiček vhodný prostředek k vytváření intenzivních zvukových a ultrazvukových vln ve vodě. Později se dočkal ultrazvuk velmi významných aplikací v chemii a v biologii v souvislosti s procesy koagulace, sterilizace, defektoskopie apod.

Také samotný problém generace zvuku a ultrazvuku se stal předmětem obširných výzkumů, a to jako součást obecné teorie kmitů a vln spojující problematiku mechanických, elektrických a elektromagnetických kmitů v jeden celek. Ve dvacátých a třicátých letech se intenzivně zkoumal problém autovibrací, tj. samovolně vznikajících kmitů soustav spojených s konstantním zdrojem vibrační energie. Významný příspěvek v této oblasti znamenají práce sovětských fyziků LEONIDA ISAAKOVIČE MANDELŠTAMA a NIKOLAJE DMITRIJEVIČE PAPALESKIHO. V oblasti generace zvuku je zajímavý také příspěvek českého fyzika ČENKA STROUHALA, prvního profesora experimentální fyziky po vzniku české části Karlovy univerzity v Praze. Strouhal vyložil vznik tónů existencí třecích tónů (dnes se nazývají Strouhalovy), a to u píšťal, u pohybujících se překážek, např. u biče, u retných píšťal a v dechových hudebních nástrojích této kategorie. Termín *Strouhalovo číslo*, charakterizující podobnost při dějích tohoto druhu, je jedním z mála označení, jež nese jméno českého autora. Časově však spadá jeho práce již do poslední třetiny 19. stol.

Fyzikální akustika se ovšem zabývá nejen otázkami generace zvuku, ale zejména problematikou jeho šíření a účinků. Mimořádná pozornost byla a je věnována

problémům šíření vln mimořádně velké intenzity (nelineární akustika), detonačním a balistickým vlnám. Jev supradalekého šíření zvukových signálů při výbuších v moři a v podmořských „zvukových kanálech“ objevili nezávisle na sobě Američané M. Irwing a J. Worcell (1944) a Rusové L. M. Brechovskij a L. D. Rozenberg (1940). Velkého významu nabylo studium vlivu struktury prostředí na šíření zvuku; výsledky umožnily použít zvukové vlny k sondování prostředí, zejména atmosféry (atmosférická akustika) a hlubokých zemských vrstev (seismika). Nemenší význam mělo využití ultrazvuku k defektoskopii (zejména kovů), opírající se o práce sovětského fyzika S. Ja. Sokolova z dvacátých let našeho století. Němec H. O. Kneser (1933) využil silné absorpce a disperze ultrazvuku u mnohoatomových plynů k výzkumným i aplikačním účelům; poté byla disperze a anomální absorpce zvuku a ultrazvuku pozorována také u kapalin. Obecnou tzv. relaxační teorii těchto jevů vypracovali Rusové L. I. Mandelštam a M. A. Leontovič (1937). Na pomezí problémů akustických a optických vytvořili teorii rozptylu světla na ultrazvukových vlnách nezávisle na sobě francouzský fyzik M. Brillouin (1922) a sovětský fyzik L. I. Mandelštam (1926); ukázalo se, že jde o významný jev z hlediska výzkumu molekulové struktury látek.

Tím se zároveň otevřel nový okruh problémů souvisejících se studiem vlivu molekulové struktury látky na šíření zvuku, zvaný molekulární akustika; k jejím prvním úkolům patřil výzkum absorpce a disperze ultrazvuku v polyatomických plynech, v kapalinách i tuhých tělesech. Ultrazvuk se stal nejen novým prostředkem zkoumání látek, ale i významným prostředkem působení na látku. Pozoruhodných výsledků bylo rovněž dosaženo při zkoumání interakce hyperzvuku (tj. mechanických vln o frekvenci vyšší než 1 MHz) s elektrony v kovech a v polovodičích.

Velké změny však nastaly ve 20. stol. i v samotné „klasické akustice“. Nositeli pokroku v hudební akustice se stali hlavně hudební teoretici (např. náš A. Hába) a výrobci hudebních nástrojů, zejména elektrofonických. Intenzivně se rozvinula akustika hlasu a řeči a proble-

matika přenosu velkého počtu zvukových signálů omezeným počtem zvukových kanálů; tím se akustika dostává do úzkého kontaktu s teorií informace, s problematikou spojení a kódování. Pozoruhodných výsledků bylo dosaženo i při odhalení principů a mechanismů sluchového vnímání, jeho hlasitosti a směrovosti, jež se pojí se jménem maďarského fyzika a laureáta Nobelovy ceny GEORGA BÉKÉSYHO.

Celkem lze říci, že akustika prožívá ve 20. stol. nejen svoji renesanci, ale i prudký rozvoj, a to ve všech směrech, tj. v akustice hudební, fyzikální, v nejrůznějších směrech aplikované akustiky; i v oblastech, kde se stýká akustika s biologií a psychologií. Avšak vzhledem k tomu, že příčinou zvuku jsou mechanické kmity a vlny, jež lze ve většině případů popsat metodami klasické mechaniky, je třeba si přiznat, že se akustické problémy netěší přízni předních fyziků; přesto mnohé z jejích problémů čekají dodnes na řešení (např. teorie znění zvonů a hudebních nástrojů), mnohé se již začínají řešit novými metodami (např. metodami akustické holografie) a mnohé dosud nebyly exaktně formulovány (např. vliv akustických polí na organismy).

VZNIK A VÝVOJ KLASICKÉ TERMIKY

Nauka o tepelných jevech, termika, je na rozdíl od mechaniky, akustiky či optiky věda novověká. Začala se rozvíjet v 17. stol., kdy se badatelé naučili spolehlivě měřit teplotu a tím položili základy *termometrie*. Teprve v 18. stol. se však začaly rozlišovat pojmy teplota a teplo a začala se rozvíjet také *kalorimetrie*, tj. nauka o měření tepla. Oběma těmito měrnými metodami byly zjištěny některé tepelné vlastnosti látek, zejména jejich roztažnost, měrné teplo, teploty fázových přechodů (tání, tuhnutí, varu) a skupenská tepla látek. Nejsilnějším stimulem rozvoje termiky však byl vynález parního stroje, jehož existenci a zdokonalení naléhavě vyžadoval rozvíjející se kapitalismus.

Bylo tudíž nanejvýš znepokojivé, že vzdor všem ú-

spěchům experimentální a technické povahy neexistovala až do poloviny 19. stol., tj. do vzniku termodynamiky, uspokojivá teorie tepelných jevů; nezbývá proto ani nám nic jiného než pohlížet na etapu před r. 1850 jako na předklasické období termiky. Není tomu tak proto, že by snad nebyly učiněny vážné pokusy o vypracování teorie tepla, ale proto, že obě existující a konkurující si teorie spočívaly na příliš úzké bázi mechanického chápání přírodních jevů a měly jen provizorní charakter: podle kalorické teorie, či spíše kalorické hypotézy, je teplo bezvážná kapalina proudící z tělesa teplejšího na těleso chladnější, a podle teorie kinetické je teplo projevem vnitřního pohybu molekul a atomů tělesa. Proti hypotéze první mluvily některé jevy známé již na konci 18. stol., takže nemohla být principiálně správná — a hypotéza druhá zase neměla po ruce vyhovující matematický aparát, takže nemohla zodpovědět závažné otázky kladené experimentem a praxí.

Proto za této situace musela zvítězit koncepce třetí — fenomenologická termodynamika, jež si položila za základ tři základní věty empirického obsahu a axiomatického významu; první z nich vyplynula bezprostředně ze zákona zachování energie, jenž se stal úhelným kamenem celé fyziky. Nechyběly ovšem ani mylné extrapolace tohoto zákona, známé pod jménem energetismus; jeho reprezentanti, např. Ostwald, popírali všechno, co v jejich pojetí odporovalo tomuto zákonu (např. druhou větu termodynamiky), nebo dokonce vše, co z ní neplynulo (např. existenci atomů). Ve druhé polovině 19. stol. jsme tedy svědky paradoxní situace, kdy mezi sebou bojují poslední zastánci fluidové teorie, stoupenci kinetické teorie a energetismu; nelze se tedy divit, že většina fyziků hledá spásu ve fenomenologické termodynamice, jež dává matematicky jednoduchým postupem cenné, ověřitelné a bezchybné výsledky. Když posléze Clausius, Maxwell a Gibbs zavedli do fyziky statistické metody, ukázalo se, že jejich nová statistická mechanika, resp. statistická fyzika je legálním pokračováním mechanické, kinetické teorie tepla a že je plně ve shodě s termodynamikou — nastal bouřlivý rozvoj celé termiky. Klasické období termiky trvalo od poloviny 19. stol. až

do dvacátých let 20. stol., kdy ovládla pole kvantová statistická fyzika, jež ovšem patří již do okruhu současného, kvantového obrazu světa. V této kapitole pojednáme proto jen o předklasické a klasické termice.

PŘEDKLASICKÁ TERMIKA

Spočívala na pevných základech termometrie a kalorimetrie a zároveň na vratkých koncepcích teoretických. Ještě než termometrie udělala první kroky v díle Galileiho a jeho žáků, musela vyvrátit antické názory posvěcené tisíciletou tradicí; nám dnes sice připadají jako primitivní kuriozity, ale v minulosti sehrály velmi negativní roli. Jejich existenci umožnilo to, že za celá tisíciletí se podařilo získat jen několik nejelementárnějších kvalitativních poznatků o tepelných jevech. Za nejdůležitější z nich se v dávnověku ovšem považovalo umění získat a uchovat oheň; získat je třením dřívěk nebo jej po zapálení bleskem přenést nebylo snadné, a tak není divu, že oheň byl pokládán za dar bohů či heroů (např. Promethea) a že jeho udržování bylo svěřováno zvláštním skupinám kněžstva (např. vestálkám v Římě).

Mnohem střízlivější názor na tepelné jevy měli ovšem řečtí filozofové; mezi nimi však sehrál negativní roli zejména Aristoteles, podle něhož teplo se sice může získat pohybem (třením), samo však není pohybem. Jde prý o jednu ze čtyř základních kvalit hmoty, o jeden z jejích neoddelitelných atributů: teplé, studené, suché, vlhké. A u toho zůstalo po 2000 let. Není tedy divu, že ještě na počátku novověku se na univerzitách disputovalo*), zda je teplejší oheň, nebo horká voda, přičemž nejednou se „dokázalo“, že teplejší je voda (protože více opaří, vsuneme-li do ní na okamžik ruku apod.). Ještě dlouho po Galileim však chyběly v termice pojmy teplota, teplo a měrné teplo, bez nichž

*) Disputace, tj. jakési intelektuální turnaje, patřily vedle lekcí, tj. četby autorit, k základním formám výuky na středověkých univerzitách.

nelze objasnit paradoxy tohoto druhu. Ani názory Démokritovy, ani zachované výklady Senecovy, Vitruviovy či Plotinovy nepřinášejí nic významnějšího.

Za zmínku stojí termoskop Filóna z Byzance; byla to skleněná trubička rozšířená na jednom konci v baňku. Když se vzduch v baňce zahříval, hladina vody v trubici se posouvala. Zařízení zdokonalil Herón z Alexandrie na počátku 2. stol. Je zajímavé, že mimo to vynalezl i první tepelný motorek — aelopilu — na reaktivní pohon parou, o čemž již byla zmínka.

A tam, kde skončil Herón, tam pokračoval o 1500 let později Galilei, který jeho úpravu termoskopu znal; teploměr tedy nevynalezl, jak se někdy uvádí, ale začal rozvíjet termometrii.

Vznik termometrie

Výška hladiny obarvené vody v kapiláře Galileiho termoskopu závisela ovšem jak na teplotě vzduchu v baňce, tak na tlaku okolního vzduchu. Proto Galileiho žáci a kolegové z *Accademia del Cimento* kolem r. 1641 kapiláru termoskopu zatavili. A protože voda v kapiláře zamrzala, použil zakladatel akademie, toskánský vévoda Ferdinand, jako teploměrné látky lihu a v Anglii E. Halley rtuti (1683). Lékaři J. Rey (1631) a současně s ním padovský lékař Santorius začali již užívat stupnice, aby mohli posoudit horečku pacientů. Akademici později používali dlouhých kapilár ve tvaru spirály, aby mohli měřit i velmi malé teplotní rozdíly.

Další pokrok přináší teprve unifikace základních bodů teplotní stupnice a posléze konvence o dělení intervalu mezi základními body, čímž je dovršen vývoj empirické teplotní stupnice a v pravém slova smyslu založena termometrie.

Ač již členové „cementové“ akademie objevili první konstantní teplotu v přírodě (teplotu tání ledu), na myšlenku použít ji v termometrii připadl teprve v Anglii Boyle (1644) a rok na to také Huygens, který navrhl teplotu varu za druhý základní bod stupnice. Těchto bodů skutečně použil francouzský akademik G. Amontons, který navíc vynalezl plynový teploměr (1703); nicméně za

života žádného z nich tato idea všeobecného uznání nedošla.

O skutečné sjednocení teplotní stupnice má hlavní zásluhu německý sklář DAVID GABRIEL FAHRENHEIT, žijící v Holandsku a v Anglii, který za nulový bod své stupnice zvolil teplotu směsi tajícího ledu a salmiaku (0 °F) a za další body teplotu tání ledu (32 °F) a teplotu zdravého lidského těla (96 °F). Fahrenheit vyráběl dokonale rtuťové teploměry se stupnicí a měl pro ně takové zakázky, že to podnítilo rozvoj sklářského průmyslu. Jeho stupnice se ujala hlavně v anglosaské oblasti. V našich zemích se dlouho používalo stupnice, kterou navrhl r. 1730 francouzský přírodovědec RENÉ ANTOINE FERCHAULT DE RÉAUMUR. Body tání a varu vody se označovaly 0 °R a 80 °R, a to proto, že lih zvětšuje v tomto intervalu svůj objem o 80 %. Švédský astronom ANDERS CELSIUS stupnici decimalizoval a označil teplotu varu vody 0 °C, teplotu tuhnutí 100 °C. Konečně r. 1742 jeho nástupce M. Strömer číslování obrátil, a to se vžilo pod názvem Celsiova stupnice; neprávem si na tento vynález dělал nárok botanik C. Linné.

Tím vývoj teploměrné stupnice a termometrie neskonal, ale teprve začal. Šlo přitom nejen o nejrůznější technická zdokonalení teploměrů, jež by umožnila měření i daleko za základní body, kdy se teploměrná látka vypaří nebo zamrzne, ale především šlo o interpolaci mezi základními body. Každá látka se totiž roztahuje s rostoucí teplotou jinak; ideálem by ovšem bylo mít stupnici, která by na teploměrné látce vůbec nezávisela. Principiální obtíž ovšem spočívala v tom, že ještě v polovině 19. stol. nebyl znám fyzikální pojem teploty, ale toliko pojem empirické teploty vázící se k té které látce. K ideálnímu řešení byly učiněny tři důležité kroky: (1) Anglický lékař D. Rutherford r. 1805 objevil dusík a přišel s myšlenkou plnit jím teploměry a W. Thomson (lord Kelvin) r. 1848 navrhl používat tlaku plynu (nikoli objemu) k určování teplot, a to nikoli určitého reálného plynu, ale plynu ideálního, který je sice fiktivní, ale jediný. Navíc navrhl posunout počátek teplotní stupnice do tzv. absolutní nuly, tj. na $-273,15\text{ °C} = 0\text{ K}$, kdy objem ideálního plynu by byl nulový. (2) Když

Clausius na základě svých formulací základních vět termodynamiky definoval termodynamickou teplotu jako pojem nezávislejší na jakékoli látce a když (3) Boltzmann dokázal vztah mezi Clausiovou termodynamickou teplotou a statistickou teplotou, byla konečně termometrie postavena na pevný teoretický základ.

Další její vývoj probíhající paralelně s evolucí pojmu teploty se především zaměřuje na různá zdokonalení teploměrů. Ze starší doby sem patří sestavení maximomínimálního teploměru, který trvale registruje extrémní teploty v daném místě; jako první jej sestavil již J. Six (1793). Lékařský teploměr v dnešní podobě pochází od H. Geisslera (1856). Kovové teploměry pocházejí od objevitele leidské láhve P. von Musschenbrocka (1725), a to v monometalickém provedení a v bimetalické úpravě od dánského hodináře Jørgensena.

Zajímavé jsou ovšem teploměry založené na jiných principech než na roztažnosti, a to hlavně proto, že umožňují měřit i extrémní teploty. Odporový teploměr navrhl známý konstruktér elektrických strojů Werner von Siemens (1863); termočlánek použil francouzský chemik Le-Chatelier (1892) a bolometru, tj. citlivých elektrických zařízení, jejichž odpor závisí na ohřátí začerněného proužku platiny, použil Langley (1881). Zmíněná zařízení umožnila (ve spojení s teorií záření těles) měřit dokonce teploty vzdálených těles, např. Slunce; obdobně teplotu vysokých pecí lze měřit optickými pyrometry (na základě srovnání jasu vlákna žárovky protékané určitým proudem s jasnou pecí), a to podle návrhů, jež jsou již velmi starého data.

Základní myšlenka sahá až k Newtonovi; praktické provedení je však až ze druhé poloviny 19. stol. Konečně chemik H. Seger používal keramických pyrometrů, z jejichž sady se roztaví právě ten, jehož teplota tání je rovna teplotě pece. Když byla termika alespoň v principu vybavena metodami a přístroji k měření teploty, přistoupilo se k měření závislosti různých vlastností těles na teplotě. Tímto způsobem byla změřena např. roztažnost látek, o níž se ještě zmíníme. Rozhodující význam pro rozvoj předklasické termiky však měla po termometrii kalorimetrie.

Vznik a rozvoj kalorimetrie

Ze zkušenosti bylo známo, že látky o různých teplotách nabývají po smísení jakési nové, společné teploty; šlo o to, určit příslušné směšovací pravidlo a poté je teoreticky interpretovat. Pro jednu látku, např. vodu různé teploty, je formuloval r. 1744 v Petrohradě působící fyzik německého původu G. W. Richmann. Pro libovolnou soustavu látek, jež spolu chemicky nereagují, formuloval obecnou kalorimetrickou rovnici r. 1762 Angličan JOSEPH BLACK. Fyzika mu vděčí za zmíněnou rovnici, za pojem měrného tepla a skupenského tepla, ale také za kalorickou hypotézu, jež vládla v termice od r. 1762 téměř sto let. Podle této domněnky je teplo „nevážitelné“ fluidum zvolna se přelévající z tělesa na těleso. Při chemických reakcích s nenulovým tepelným zabarvením (tj. při reakcích provázených uvolněním nebo pohlcením tepla) se prý teplo pohlcuje v pórech těles a jeho velikost je charakterizována pojmem reakční teplo, jež zavedl finský chemik J. Gadolin (1784); obdobně jako Black a Gadolin postupoval nezávisle také německý badatel Wilke.

Osudné na této fluidové koncepci bylo to, že kalorimetrická rovnice byla chápána jako zákon zachování tepla — čili na teplo se pohlíželo jako na nezničitelnou, ale také nevytvořitelnou, bezvážnou kapalinu. Stálo to mnoho úsilí předních badatelů, než se poznalo, že veličinou tohoto charakteru je energie, a nikoli teplo — ač již odvěká zkušenost ukazovala, že při tření těles, obecně při maření práce, může vzniknout neomezené množství tepla. Nemůže tedy teplo být substancí a veličinou „nevytvořitelnou“. Přesto kalorimetrická rovnice patří k nejstarším a nejdůležitějším rovnicím termiky. O ni se opírají metody měření měrného, skupenského a reakčního tepla a s ohledem na ni byly také konstruovány nejrůznější kalorimetry. Ledový kalorimetr sestavil již sám Black a zdokonalili jej Lavoisier s Laplaceem (1783) a R. Bunsen; parní kalorimetr pochází od Jollyho (1886). Značnou část tehdejších monografií o termice zaujímají výsledky kalorimetrických a termometrických měření pro nejrůznější látky. Za nejvyšš

pozoruhodný výsledek v této oblasti se proto považovalo zjištění P. L. Dulonga a A. T. Petita z r. 1819, že totiž u pevných látek je součin měrného tepla a molekulové hmotnosti konstantní. Později se však ukázalo, že tato veličina při velmi nízkých teplotách klesá s teplotou; Einsteinovo objasnění této skutečnosti představovalo jednu z nejvýznamnějších opor vznikající kvantové teorie.

Z předklasického období termiky si ještě zaslouží zmínky boje mezi různými hypotézami o podstatě tepla. Vládnoucí kalorická teorie tepla měla na své straně nejen nejpřednější vědecké autority (Blacka, Biota, Carnota aj.) a četné úspěchy kalorimetrické rovnice chápané jako „kalorimetrický axiom“, ale i další cenné teoretické úspěchy. V r. 1822 umožnila Fourierovi vytvořit matematickou teorii vedení tepla, jež se později stala (pro Ohma) odrazovým můstkem i při odvozování základních zákonů vedení elektrického proudu; navíc v r. 1824 umožnila S. Carnotovi odvodit vzorec pro maximální možnou účinnost tepelných strojů, který se stal základem druhé hlavní věty termodynamiky. Výrazem takřka všeobecného přesvědčení o existenci kalorika bylo i to, že Lavoisier r. 1789 a po něm i četní další přírodovědci zařadili kalorikum mezi chemické prvky, stejně jako světlo; to se pak tradovalo bezmála dalších sto let. Pro existenci kalorika zdánlivě svědčila i ta skutečnost, že při sdílení tepla zářením není vůbec třeba hmotného prostředí; toto šíření tepla vakuem se chápalo jako přechod kalorika „v ryzí formě“. Pochybnosti o kaloriku však vzbuzovaly komplikace objevující se při interpretaci různých jemných efektů, vzhledem k nimž musela být kalorimetrická rovnice neustále modifikována; např. se zjistilo, že měrné teplo plynu závisí na způsobu, jakým jeho změna proběhla. *Experimentum crucis* (křížový pokus, rozhodující pokus) v této oblasti však představovaly výsledky měření Američana BENJAMINA THOMPSONA (1753—1814), známého spíše pod jménem lord RUMFORD; titul dostal jako ministr války ve službách Bavorska. Zjistil totiž, že při vrtání dělových hlavních vzniká teplo přímo úměrné zmařené práci. Konvertibilita práce v teplo je tedy úplná; parní stroj zase ukazoval na částečnou konvertibilitu tepla

v práci. Stoupenec kalorické hypotézy Biot ve své obsáhlé učebnici z r. 1829 Rumfordův pokus popisuje; odkud se však kalorikum přitom bere, je prý nadále záhadou.

Na záhadu vztahů mezi teplem a prací se nabízela hned dvojí odpověď: teplo není nic jiného než mikroskopický pohyb částic, molekul, a to pohyb postupný, jak říkala kinetická teorie tepla, nebo pohyb rotační, jak se domníval M. V. Lomonosov; tento mikroskopický pohyb je přeměněný makroskopický pohyb; např. pohyb nebozezu při vrtání děla se změnil v mikroskopický pohyb atomů kovu. Nebo druhá možná odpověď byla — existuje jiná veličina, obecnější než teplo, která se v uzavřených soustavách zachovává a která navíc nezávisí na způsobu, jakým v soustavách změny probíhají. První odpověď pochází od stoupenců kinetické čili mechanické teorie tepla, druhá od hlasatelů zákona zachování energie. Všimněme si nejprve koncepce druhé, již vrcholí a končí předklasická termika a zároveň začíná klasická termodynamika; jejími mluvčími byli Mayer, Joule, Helmholtz, ale i Rankine a nakonec Carnot. Žádný z nich sice nebyl původně fyzikem, ale všichni rozhodujícím způsobem ovlivnili fyziku a celou přírodovědu. Mayer dospěl k zákonu zachování energie filozoficky, Joule experimentálně, Helmholtz mu dal matematickou formu, Rankine jméno a Carnot byl jeho prvním, dlouho neznámým objevitelem. Jde o objev i objevitele velmi významné a proto si celé záležitosti všimneme podrobněji.

JULIUS ROBERT MAYER (1814—1878) byl třetím synem v rodině heilbronského lékárníka. Od mládí se zajímal o fyzikální a chemické přístroje a o stroje v blízkých mlýnech. Vystudoval však lékařství v Tübingenu, krátkou dobu praktikoval na zahraničních klinikách, až se konečně v r. 1840 stal lodním lékařem na malé lodi plující na Jávě. Měl na starosti jen 28 zdravých mužů, takže mu zůstalo dosti času k přemýšlení o pozorovaných jevech. Nejvíce ho překvapilo, že v tropech při pouštění žilou byla krev námořníků neobyčejně světlá, jakoby pocházela z tepen — což se po návratu do mírného pásma zase změnilo. Pozoroval prý také zahřívání vody při

jejím pohybu (vlnobití) a po celých 121 dnů na zpáteční cestě intenzivně přemýšlel o těchto jevech. Poznal, že organismus potřebuje vyvinout v místech s vyšší teplotou méně tepla, čili že spotřebuje méně kyslíku. Začal tedy pochybovat o vitalismu, podle něhož „životní síla“ (*vis vitalis*) nepodléhá zákonitostem anorganického světa čili zákonům fyzikálním. Pochopil, že naopak organismy stejně jako neživá příroda podléhají jedinému univerzálnímu zákonu fyzikální povahy — a vytkl si za cíl jej objevit a formulovat. Výsledkem byl článek, který 16. června 1841 poslal do redakce slavných Poggendorffových *Análů* (fyzikální časopis v Německu v té době). Marně však čekal na uveřejnění a odezvu. Tehdy ani později se nenašel jediný fyzikální časopis, který by uveřejnil jeho nový základní fyzikální zákon. Mezitím se stal Mayer vyhlášeným lékařem ve svém rodišti, oženil se s dcerou zámožného kupce, ale jeho štěstí mělo rychlý konec. Se ženou si nerozuměl, byl duševně úplně opuštěn — a když se zanedlouho začaly objevovat obdobné práce o „zachování síly“, hájil svou prioritu a byl nakonec perzekuován způsobem, který ho dovedl až na psychiatrickou kliniku, jež se podobala spíše vězení než zdravotnickému zařízení. Jeho utrpení bývá srovnáváno s osudy Galileiho, který však trpěl od lidí vědě vzdálených; Mayera ale pronásledovali kolegové, lékaři i fyzikové; Mayerův osud připomíná také Keplera. Zadosťučnění mu zjednal svými výzkumy teprve Ir Tyndall v Londýně. První Mayerova práce se našla až za 36 let v Poggendorffově redakčním stole.

Mayer napsal ještě tři základní práce, jež vyšly v Liebigových *Análech pro chemii a farmacii*. V práci z r. 1842 podává stručnou formulaci zákona, uvádí metodu výpočtu mechanického ekvivalentu jednotky tepla (1 kcal = 427 kpm) a poté r. 1845 problematiku zevrubně analyzuje a uvádí aplikace svého principu na živé organismy. V poslední práci (vydané posmrtně) uvádí astronomické aplikace zákona. Správně chápe podstatu tepla, rozlišuje šest forem energie (mechanickou, a to potenciální a kinetickou, tepelnou, elektrickou, magnetickou a chemickou čili vazebnou); vyslovuje také kontrakční hypotézu o původu sluneční energie a explicitě zdů-

razňuje, že jeho zákon vylučuje možnost konstrukce *perpetua mobile* (prvního druhu).

O první Mayerově práci je třeba říci, že byly určité důvody pro její neuveřejnění — vyplývaly jak z úrovně práce, obsahující některá nesrozumitelná a chybná tvrzení, tak z tehdejších názorů fyziků na filozofickou metodu. Snad nikdy nepanovala větší nevraživost mezi přírodovědci a filozofy. Hegel pohrdal přírodovědci a jejich metodami, ti zase viděli ve filozofii jen prázdné krasořečnění — a tak Poggendorff jako zásadový experimentátor se již postaral o to, aby se na stránky jeho časopisu nedostala „žádná metafyzika“, kterou spatřoval i v Mayerových úvahách.

Mayerovy úvahy však záhy dostávají pevný experimentální základ ve výzkumech zámožného manchesterského majitele pivovaru, JAMESE PRESCOTTA JOULEA. Studoval soukromě fyziku a chemii u Daltona; otec mu zařídil laboratoř, v níž později učinil řadu objevů. K nim patřilo měření zahřátí vody míchané lopatkami v kalorimetru (1843), poháněnými závažím s určitou potenciální energií. Odtud pak vypočetl mechanický ekvivalent jednotky tepla. Dále objevil zákon pro teplo vznikající přeměnou elektrické energie, přičemž konstanta úměrnosti byla opět rovna hodnotě dříve zjištěného mechanického ekvivalentu tepla. Odtud byl již jen krok k formulaci zákona zachování energie; ten však učinil již předtím Mayer. Poté ještě r. 1853 objevil Joule s Thomsonem (Kelvinem) jev po nich nazvaný a spočívající v ochlazování plynu při jeho adiabatické expanzi. Jako stoupenec kinetické teorie tepla objasnil Joule z mikroskopického hlediska zákony platící pro plyny a pokusil se o výpočet rychlosti molekul plynu za dané teploty. Také v Anglii však narazil na nepochopení; nakonec přece došel uznání a stal se členem britské komise pro zjištění mechanického ekvivalentu tepla, v níž zasedali nejpřednější vědci.

Třetí ze souhvězdí objevitelů a hlasatelů zákona zachování energie, pomíneme-li ty, kteří sice objev reklamovali již v r. 1843, ale kteří dospěli k nesprávným hodnotám ekvivalentu, patří HERMANN HELMHOLTZ (1821—1894). Pocházel z rodiny gymnaziálního profesora v Postupimi

a Angličanky. Již jako 22letý obhájil disertační práci z medicíny, v níž dokázal existenci strukturních elementů nervové tkáně, jež byly později nazvány neurony. Poté byl chirurgem husarského pluku v sídelním městě pruských králů, přičemž měl dost času, aby mohl studovat v soukromé fyzikální laboratoři fyzika G. Magnuse, i berlínského fyziologa Müllera. S ním zakládá r. 1845 sdružení, z něhož vznikla Německá fyzikální společnost, která vydávala proslulý časopis *Pokroky fyziky*. V nich také vychází r. 1845 Helmholtzova práce o teorii tepelných jevů ve fyziologii, jež se dočkala u Poggendorffa podobných osudů jako práce Mayerova. Vyšla samostatně až r. 1847 pod názvem *O zachování síly*. Záhy poté se stává Helmholtz předním fyzikem Německa a zároveň s Clausiem a Kirchhoffem střídá generaci reprezentovanou Poggendorffem, Magnusem a Müllerem.

V základní práci Helmholtz přesně matematicky formuloval a zdůvodnil zákon zachování energie a věnoval také pozornost některým jeho biologickým aplikacím. Později vypracoval termodynamickou teorii chemických procesů a k jejich popisu zavedl pojem volné a vázané energie. Byl všestranným badatelem v exaktních vědách a ve fyziologii a významně se zapsal do všech oborů klasické fyziky.

Pojem energie zavedl do fyziky sice Mayer, ale samotný termín energie (z řeckého *en* = v, *ergon* = práce) zavedl pro „schopnost tělesa konat práci“ skotský inženýr WILLIAM RANKINE (1872). Proslul svými termodynamickými výzkumy vodní páry, ale také založením energetismu.

Krátce před svou smrtí se odvrátil od kalorické hypotézy ke kinetické teorii a jako první vůbec formuloval první větu termodynamiky předčasně zemřelý francouzský inženýr SADI CARNOT. Jeho objev však již neměl na vědu vliv, neboť příslušný dodatek k jeho proslulému spisu *Úvahy o pohybové síle ohně* zůstal dlouho neuveřejněn. Je však zřejmé, že patřil k největším fyzikům 19. stol. Carnotova věta o účinnosti tepelných strojů se stala hrobem energetismu; podle zákona zachování energie jsou sice práce a teplo veličiny ekvivalentní

a práce v teplo je přeměnitelná úplně, avšak proces opačný se realizuje nanejvýš s účinností danou Carnotovou větou. Energetismus a samotný zákon zachování energie nedovedl objasnit tuto asymetrii přeměn v přírodě ani otázku vratnosti a nevratnosti fyzikálních procesů. K řešení těchto otázek byla povolána termodynamika.

KLASICKÁ TERMODYNAMIKA

Termodynamika, jež se zprvu jevila jen jako východisko z rozporů mezi různými hypotézami o teple a jako kompromis přijatelný všemi teoretiky i experimentátory, ovládla v polovině 19. stol. pole úplně — a navíc, stala se první fyzikální teorií, jež se vymkla z rámce mechanického obrazu světa. Stalo se tak poté, kdy Clausius, Newton termiky, specifikoval zákon zachování energie pro uzavřené makroskopické soustavy a kdy zobecnil Carnotovu větu, která se stala obecným principem použitelným nejen na tepelné stroje. Mimo to obě tyto věty spojil a ukázal, že jejich protikladnost byla jen zdánlivá.

RUDOLF CLAUSIUS (1822—1888) byl šestým synem z osmnácti dětí školního rady. Narodil se v dnešním Koszalinu v Polsku, do gymnázia chodil ve Štětíně a poté studoval na univerzitě v Berlíně. Záhy však také vypo-máhal ve škole, aby pomohl otci živit rodinu. Po skončení studií (1848) působil nejprve na technice v Curychu, potom na univerzitách ve Würzburgu a v Bonnu. Za prusko-francouzské války r. 1870 byl jako voják zraněn do nohy a bolestí se již nezbavil. Jeho vysoké vědecké i morální kvality mu otevřely brány mnoha zahraničních akademií věd.

V r. 1850 formuloval v dnešním tvaru první a druhou větu termodynamiky; později zavedl pojem kruhových (1854), nevratných procesů (1862) a entropie (1865). Dokázal obecný význam termodynamické metody v teorii elektrických jevů, např. u polarizace dielektrik, v termoelektřině a u elektrolýzy. Zároveň s W. Thomsonem však neoprávněně extrapoloval závěry termodynamiky na celý vesmír; je autorem ideje o te-

pevné smrti vesmíru, kterou s úspěchem kritizoval Boltzmann. O Clausiových zásluhách v kinetické teorii bude ještě zmínka.

Termodynamiku dále obohatili Kelvin, Gibbs, Nernst a Planck. Podobně jako byl kdysi Newton největším „prorokem“ mechanické fyziky na počátku jejího vývoje, tak WILLIAM THOMSON*) — lord KELVIN (1824 až 1907) ji důstojně uzavírá. Thomson pocházel z rodiny skotského učitele matematiky působícího v Irsku. Až do deseti let ho učil otec sám, a když byl povolán na univerzitu v Glasgowě, posadil chlapce rovnou mezi své posluchače. William se dal záhy do studia Fourierových děl o teple a Laplaceových o mechanice. V 16 letech přesídlil do Cambridge a rok pobyl v Regnaultově laboratoři v Paříži, kde se pěstovala hlavně termika. Odtud se vrátil do Glasgowa, kde se stal ve svých 22 letech profesorem „přírodní filozofie“ na univerzitě; tam setrval až do své smrti.

Ve svých 24 letech zavedl pojem absolutní teploty a teplotní stupnici, jež nese jeho jméno. Formuloval samostatně druhou větu termodynamiky a začal používat termodynamických metod ve všech oblastech fyziky (1851). Odvodil rovněž vztahy pro závislost teploty varu kapalin na tlaku par a na dalších parametrech (1870). V r. 1853 objevil s Joulem jev, který dnes nese jejich jména a r. 1856 Thomsonův jev. Teorie tohoto jevu se stala základem termodynamiky nevratných procesů. Proslulé jsou jeho výzkumy v oblasti tepelné vodivosti, a to i v záporném smyslu: při aplikaci na problémy geochronologie ztotožnil dobu existence Země s dobou jejího ochlazování a dospěl ke stáří 300 miliónů let — a protože přírodopisci nebyli v této oblasti erudovaní, byl např. Darwin nucen v dalších vydáních svých děl vypustit absolutní datování, aby se nedostal do rozporu s Kelvinovými výpočty. Jde o další příklad zhoubných extrapolací fyziky [podobných domněnce o tepelné smrti vesmíru]. Kelvin byl ovšem mimořádně velkým fyzikem

*) K fyzikům téhož jména patří ještě sir JOSEPH JOHN THOMSON (1856—1940), objevitel elektronu, a jeho syn sir GEORGE PAGET THOMSON (1892—1975), objevitel difrakce elektronů.

ve všech oblastech klasické fyziky, takže několik nesprávných koncepcí jen zvyšuje atraktivnost jeho osobnosti. Jako hlasatel mechanické fyziky prohlašoval, že jev je možno považovat za objasněný, lze-li jej beze zbytku redukovat na mechaniku; proto také neuznal Maxwellovu teorii elektromagnetického pole a správně odhadl, že „na jasném nebi mechanického názoru existují jen dva obláčky — Michelsonův pokus a záření černého tělesa“; sám se ještě dočkal bouře, jež z nich vznikla. Stejně jako Newton byl i Kelvin prezidentem *Královské společnosti* v Londýně a nakonec vedle svého velkého předchůdce také navěky spočinul ve Westminsterském opatství.

Dalším klasikem termodynamiky a statistické fyziky je americký fyzik, profesor v Yale, JOSIAH WILLARD GIBBS; tento průkopník teorie termodynamických potenciálů a autor proslulého pravidla fází (tj. pravidla o počtu fází, jež mohou spolu koexistovat) byl největší autoritou v klasické statistické fyzice. Pro rozvoj vědy měla negativní důsledky jeho mimořádná skromnost, jež způsobila, že své práce publikoval jen v nevýznamných místních časopisech, takže jeho objevy nebyly před r. 1892 vůbec známy. Poté však se stal přes noc hvězdou první velikosti.

Vývoj klasické termodynamiky byl dovršen pracemi německých badatelů WALTHERA HERMANN A NERNSTA a M. Plancka. První a druhá věta termodynamiky se totiž týká jen přírůstků vnitřní energie a entropie, nikoli jejich hodnot celkových, k jejichž určení je třeba znát poměry v okolí absolutní nuly. O vnitřní energii a entropii látek v okolí absolutní nuly a o její nedosažitelnosti vyslovil Nernst třetí větu termodynamiky (1905); v r. 1910 ji dále zobecnil Planck. Nernst patřil spolu s Ostwaldem, van't Hoffem a Arrheniem k zakladatelům moderní chemické termodynamiky, byl předním badatelem v oblasti nízkých teplot, ale také konstruktérem různých přístrojů (např. Nernstovy lampy). Planck, jenž je zakladatelem kvantové teorie, se převážně zabýval termodynamikou; také ke svému proslulému zákonu o vyzařování černého tělesa dospěl při svých snahách vypracovat termodynamiku záření. S termodynamikou sou-

visejí také Planckovy progresivní názory filozofické: bojoval jak proti energetismu (Ostwaldovi), tak proti pozitivismu (Machovu empiriokriticismu), na nějž pohlížel jako na provizorní odezvu na nepřekonatelné těžkosti mechanistické fyziky.

Termodynamika se v dobách svého vzniku vymykala z rámce mechanistické fyziky nejen pojetím a obsahem, ale do jisté míry i svými motivy. Jejím inspiračním zdrojem byla problematika tepelných strojů. Historie vztahů mezi fyzikou a tepelnými stroji je velmi dramatická a rozsáhlá; patří ovšem spíše do dějin techniky. Primitivní parní stroje a turbíny vznikaly metodou pokusů a chyb; užitečný stroj dal lidstvu až technický génius Wattův. Po založení termodynamiky vznikají od druhé poloviny 19. stol. na vědeckém základě dokonalé parní stroje, parní turbíny akční (Laval) a přetlakové (Parsons), spalovací motory zážehové (Otto) a vznětové (Diesel) a reaktivní motory, zejména raketové (Cander v SSSR, Oberth a von Braun v Německu, Pelterie ve Francii). Charakteristika těchto strojů není možná bez termodynamických pracovních cyklů, bez výpočtů účinnosti a dalších termodynamických parametrů, z nichž vyplývá, jaká opatření je třeba učinit ke zdokonalení těchto strojů. Již tím se věda stává výrobní silou, neboť např. zvýšení účinnosti strojů při použití přehřáté páry znamená u parní turbíny úsporu desítek tun uhlí denně, resp. podstatné zvýšení energetické bilance při téže spotřebě paliva.

KLASICKÁ STATISTICKÁ FYZIKA

Zároveň s teorií elektromagnetického pole představuje vrchol klasické fyziky, neboť umožňuje nahlédnout i do mikrostruktury makroskopických těles a hlouběji teoreticky pochopit fenomenologické principy termodynamiky. Vytvoření statistické fyziky je velkým revolučním činem ve vědě, spojujícím filozofický atomismus, tvořící její pojmový základ, s matematickou teorií pravděpodobnosti, tvořící její matematický základ, a s experimentálním zjištěním jevů vymykajících se termodynamice.

Filozofický atomismus má kořeny v antice a pojí se se jmény Leukippa a Démokrita v Řecku a Lucretia Cara v Římě; po umlčení ve středověku jej k životu vzkřísil v počátcích novověké fyziky PIERRE GASSENDI, opat francouzského kláštera a jeden z hlasatelů korpuskulární teorie světla. Poté D. Bernoulli v r. 1738 v dodatku ke své *Hydrodynamice* odvodil poprvé v dějinách z mikroskopické představy o atomové struktuře plynu makroskopickou stavovou rovnici pro plyny. Další vývoj však zbrzdily dvě okolnosti: atomismus jako učení progresivní byl solí v očích nejen všem reakčním filozofům, ale i konzervativním fyzikům, kteří chápali hmotu jako kontinuum; vzpomeňme, že ještě na počátku 20. stol. Ostwald a Mach neuznávali existenci atomů. Byli tedy hlasatelé atomismu a priori v opozici vůči oficiální vědě. Druhou nepříznivou okolností bylo to, že ani nej přednější badatelé až do poloviny 19. stol. nedovedli úspěšně aplikovat teorii pravděpodobnosti na fyzikální problémy, což bylo právě pro formulaci statistických zákonů nezbytné.

Nepomohlo proto ani to, že Dalton dokázal užitečnost pojmu molekula (1808), že Avogadro objasnil, proč všechny plyny obsahují za stejného stavu (tj. za stejného tlaku, teploty a objemu) stejný počet molekul a že zákony chemického slučování objevené Daltonem lze vysvětlit nejsnáze pomocí atomové hypotézy.

Je zajímavé, že teoretickou sílu atomismu se pokusili ukázat také badatelé, jejichž učení bylo v přímém protikladu s jejich postavením. Kromě Gassendiho to byl např. Bošković. Ten odvozoval matematickou cestou vlastnosti látek všech skupenství z představy o centrálních silách působících v tělese mezi bodovými silovými centry. Jako jezuita a profesor matematiky v Římě nemohl ovšem mluvit o atomech. Anglický kazatel JOSEPH PRIESTLEY s podobnými názory raději z Anglie přesídlil do USA, ač ho již obklopovala sláva objevitele kyslíku (1774), fotosyntézy (1771), zakladatele pneumatické chemie, tj. chemie plynů, i historika nauk o elektřině a o barvách a vidění (1767).

Nepovšimnuto zůstalo i dílo A. Seebera (1824), který ztotožnil uzlové body krystalové mřížky s chemickými

atomy a pokusil se odtud odvodit makroskopické fyzikální vlastnosti látek. Dokonce ani snahy Gaussovy v tomto směru neuspěly, zkrátka „doba nebyla zralá“ k přijetí složitých fyzikálních modelů a jejich důsledků. Že je třeba začít od problémů a struktur nejjednodušších, tj. od chaotického pohybu molekul v plynech, pochopil Clausius. Z této představy a z předpokladu, že průměrná rychlost všech molekul plynu je za dané teploty stejná, odvodil Clausius r. 1857 základní rovnici kinetické teorie plynů; poté (1859) zavedl pojem střední volné dráhy molekuly plynu (tj. dráhy mezi dvěma nárazy molekul). Kinetickou teorii nebylo již možno ignorovat — nastaly tedy boje mezi stoupenci různých koncepcí termiky; proto se stoupenci atomismu snažili najít jevy, jež by bylo možno objasnit jen pomocí kinetické teorie a nikoli v rámci ostatních konkurujících teorií.

A tak dánský fyzik a oceánograf MARTIN KNUDSEN vypracoval elementární teorii jevů přenosu v plynech, tj. teorii tepelné vodivosti, viskozity a difúze. Rozhodující však byly objevy experimentální, jež potvrdily správnost kinetické teorie: anglický botanik Brown jako první pozoroval v mikroskopu chaotický, „bezpříčinný“ pohyb pylových zrn (Brownův pohyb, 1827); pro mechanický pohyb molekul mluví dále řada jevů difúzních a posléze někdejší žák pražské univerzity a pozdější profesor univerzity vídeňské, J. Loschmidt, určuje počet molekul v krychlovém centimetru plynu za „normálních podmínek“. Odtud již jednoduše vyplynula legendární hodnota Avogadrovy konstanty, udávající počet molekul v grammolekule každé látky: grammolekula každé látky obsahuje $6 \cdot 10^{23}$ molekul. Toto číslo ukazuje, jak obrovský je počet molekul v tělese, a ovšem i to, jak jsou nepatrné. Například v kapičce vody o objemu 1 mm^3 je tolik molekul, že kdyby kapička ztrácela odpařováním milión molekul každou sekundu, odpařila by se celá za milión let.

Je třeba říci, že ani Clausius ještě nepřistoupil na koncepci veskrze statistickou: předpokládal sice, že molekuly plynu se pohybují, že o jevech rozhoduje jejich kinetická energie, čili jeho teorie byla kinetická, nikoli ještě statistická. K faktu, že energie molekul se vyzna-

čuje určitou distribucí, čili že existuje jakési rozdělení jejich rychlostí, přihlédl teprve Maxwell. Ten také r. 1866 odvodil příslušnou rozdělovací funkci; následujícího roku podal jako prvý statistickou interpretaci druhé věty termodynamiky a po dalších deseti letech zpracoval statistickou mechaniku, jíž dal r. 1878 i jméno. Maxwell dovedl vypočítat nejen rychlost molekul, čímž např. poprvé objasnil, proč nemůže mít Měsíc ovzduší (rychlost molekul v jeho atmosféře by totiž byla tak velká, že jejich velké procento by překročilo únikovou rychlost čili druhou kosmickou rychlost pro Měsíc a postupně by všechny unikly); svou metodou dovedl navíc vypočítat střední hodnoty jakýchkoli fyzikálních veličin týkajících se statistického souboru částic a tyto střední hodnoty ztotožnil s veličinami měřitelnými. Tato idea je jednou z nejvýznamnějších idejí fyziky vůbec. Ani naše současná kvantová fyzika nečiní nic jiného, než že počítá střední hodnoty fyzikálních veličin; postup našich výpočtů je jen složitější. Maxwell, který je navíc Newtonem elektrodynamiky, je osobnost zajímavá; o jeho životě se zmíníme v kapitole o elektrodynamice. Neodpustíme si však konstatování, že ke škodě vědy zemřel na rakovinu žaludku již ve 48 letech a že ho současníci nejednou charakterizovali jako génia. Měl totiž mimořádně jasný a jednoduchý sloh; nepochopitelné by byly našim čtenářům také jeho různé exkursy — např. mezi různé etapy řešení soustav diferenciálních rovnic klidně vsunul svůj výklad o tom, jak si nejlépe dovede vyčistit skvrny na kalhotách, způsobené různými látkami.

Je však jasné, že částice mohou konat také pohyb rotační, případně i další složitější pohyby. Konečně některé hmotné struktury nelze považovat za složené z molekul (např. iontové krystaly, kovy apod.). Vystala tedy otázka, jak modifikovat statistickou fyziku s ohledem na tyto okolnosti.

První krok ke správnému řešení učinil Boltzmann, druhý Gibbs. Hlasatel progresivních směrů ve fyzice vysoce oceňovaný i Leninem, LUDWIG EDUARD BOLTZMANN (1844—1906), byl odpůrcem Machovým. Boje mezi různými směry nebyly nijak jednoduché, ani pouze „akademické“. Boltzmann formuloval základní kinetickou

rovnici (1872), jež se stala základem celé fyzikální kinetiky; jde o něco jiného, než je Clausiova základní rovnice kinetické teorie plynů. Téhož roku podal statistickou teorii entropie a položil základy teorie nevratných procesů. Patřil rovněž k prvním přívržencům Maxwellovy elektromagnetické teorie a jako první použil termodynamických a statistických metod k popisu záření. Výsledkem v této oblasti je proslulý zákon Stefanův-Boltzmannův pro zářivý výkon černého tělesa (1884), který r. 1879 odvodil experimentálně jeho učitel na vídeňské univerzitě JOSEF STEFAN. Boltzmann odvodil rovněž vzorec pro hodnotu světelného tlaku, jehož existenci posléze experimentálně dokázal ruský fyzik P. N. Lebeděv (1899). Sám Kelvin, který po celý život bojoval proti Maxwellově teorii, prohlásil, že teprve tyto pokusy ho přesvědčily o její správnosti. Boltzmann nebyl preferován vídeňskou vládou, ani Lebeděv nebyl na výsluní carské přízně a vzdal se nakonec moskevské profesury.

Vrcholem klasické statistické fyziky je dílo Gibbsovo. Gibbs abstrahoval od názorných modelových představ použitelných jen u plynů a vypracoval obecnou metodu, v níž je každý makroskopický systém chápán jako jediná mechanická soustava, jejíž stav je určen zobecněnými souřadnicemi a impulsy jeho podsystémů; evoluce stavů systému je charakterizována změnami těchto veličin řídicími se tzv. kánonickými rovnicemi mechaniky. Tato metoda umožňuje rozšířit Gibbsovo pojetí nejen na reálné plyny, ale na všechny soustavy, jejichž pohybové rovnice lze vyjádřit v kánonickém tvaru, např. i na krystaly a elektromagnetické pole. Gibbs patří rovněž k zakladatelům chemické termodynamiky a její statistické interpretace. O metody Clausiovy, Boltzmannovy, Maxwellovy a Gibbsovy se opírá věda dodnes, protože umožňují vypočítat měřitelné tepelné i jiné fyzikální parametry a vlastnosti látek. Úplný obraz o tepelných vlastnostech látek podává statistická fyzika ve spojení s metodami experimentálními.

KLASICKÁ EXPERIMENTÁLNÍ TERMKA

Do této oblasti patří zejména problémy generace tepla, problémy šíření tepla, účinky tepla a tepelné vlastnosti látek, jakož i problematika měrných metod a přístrojů k měření tepelných vlastností látek.

Pokud jde o procesy generace a o zdroje tepla, bylo jasné, že k nim patří jednak chemické reakce s kladným tepelným zabarvením, jednak to, že vzniká přeměnou vnitřní energie soustavy nebo „mařením“ tzv. zobecněné práce. Jak velké teplo vzniká při „zmaření“ mechanické práce či při práci elektrického proudu, zjistil Joule, a jak je tomu při kontrakci např. Slunce, vypočítali Mayer a Helmholtz. Ukázalo se, že i nepozorovatelně malá kontrakce Slunce by stačila krýt jeho energetické výdaje na tisíciletí. Přesto však zdroj zemského tepla i tepla hvězd zůstal pro klasickou fyziku záhadou.

Pokud jde o šíření tepla, klasická fyzika poznala zákony vedení a proudění tepla a zčásti i zákony sálání. Čistě tepelný je ovšem jen jev vedení tepla; proudění je jev termomechanický a sálání je záležitost z oblasti fyziky záření.

Vedení tepla v různých prostředích prozkoumala řada badatelů. Skutečnost, že vakuum teplo nevede, byla známa dávno; obratně ji využil až JAMES DEWAR (1872); zhotovil nádobu s dvojitými postříbřenými stěnami, mezi nimiž je vakuum. Teplo tedy nemůže přecházet mezi nádobou a okolím ani vedením, a díky postříbření jen minimálně sáláním. Jsou-li stěny Dewarovy nádoby blízko sebe, nemusí být ani vakuum absolutní; podle statistické fyziky představuje tento meziprostor vakuum, jestliže vzdálenost stěn je menší než střední volná dráha molekul přítomných v tomto prostoru.

Vodivost plynů zkoumal berlínský profesor HEINRICH GUSTAV MAGNUS. Známé skutečnosti, že vodivost plynů je malá, se ovšem využívá odedávna (kožešiny, dvojitá okna). Tímto faktem je také podmíněn zajímavý Leidenfrostův jev (1743): malé kapky vody na rozžhavené plotně se okamžitě nevypaří, neboť jsou chráněny vrstvou vlastní páry.

Vodivost kapalin prozkoumali ve Francii C. Despretz

(1838), v Německu H. Weber a v USA P. Bridgman. Vodivost pevných látek začal studovat za svého pražského pobytu již J. Ingenhousz z Holandska a J. Biot (1816) ve Francii, který zjistil, že teplota mezi dvěma místy tyče udržovanými na konstantních teplotách tvoří v ekvidistantních vzdálenostech geometrickou posloupnost. Důkladnou teorii vedení tepla vypracoval francouzský matematik J. Fourier a stejně důkladná měření provedli němečtí fyzikové G. Wiedemann a R. Franz, kteří také zjistili přímou úměrnost mezi vodivostí tepelnou a elektrickou. Problematiky vedení tepla sáláním si všimneme v kapitole o optice.

Velmi rozsáhlá je problematika tepelných vlastností látek a fázových (skupenských) přechodů. Dílčí zákony pro plyny (Boyleův, Gay-Lussacův, Daltonův) shrnul v jedinou stavovou rovnici francouzský inženýr působící v Petrohradě a v Paříži B. Clapeyron. Šlo o rovnici pro ideální plyny, vyplývající z experimentu. Obecnější rovnici pro reálné plyny a kapaliny odvodil ve své disertační práci van der Waals. Že je třeba u plynů rozlišovat dvojí měrné teplo (při dějích izobarických i izochorických) zjistil francouzský matematik S. D. Poisson (1822) a experimentálně je určili jeho krajané Ch. Desormes a jeho zeť N. Clément-Desormes.

S termikou souvisí klasická statická fyzika kapalin a plynů. První kroky k vypracování statistické teorie kapalin učinili v souvislosti s teorií Brownova pohybu polský fyzik M. Smoluchowski a A. Einstein a soustavně ji zpracoval německý fyzik G. Jäger. Na tomto základě pak Francouz JEAN BAPTISTE PERRIN určil měřením suspenzí v kapalinách hmotnost a velikost molekul, čímž definitivně dokázal nespojitou strukturu hmoty. Vnitřní tření kapalin prozkoumal sir G. G. Stokes, využívaje svého vzorce pro rychlost malých padajících kuliček v kapalinách.

Tepelnou roztažnost kapalin zkoumali četní badatelé: u rtuti Dulong a Petit, později Regnault; voda a její anomálie zajímaly Despretze, Ramsaye, V. Marka, působícího v 19. stol. v Paříži a Vídni, Mendělejeva a další; jiné kapaliny podrobně prozkoumal H. Kopp, známý také jako historik chemie. Difúzí kapalin se zabývali C. Lud-

wig a Ch. Soret. Stavovou rovnici kapalin hledali Eyring, světoznámý autor učebnic fyziky Tait a Kirkwood. Četné jsou práce o závislosti povrchového napětí kapalin na teplotě, stejně jako studie týkající se stlačitelnosti; její existenci u kapalin dokázal Oersted (1822).

Také pro pevné látky se pokusili odvodit stavovou rovnici četní badatelé; s úspěchem se však setkali až ve 20. stol. K. F. Herzfeld (1925) a sovětský fyzik J. I. Frenkel. Další příbuzné problémy se již zpravidla řadí do fyziky pevných látek.

Velký význam mají výsledky výzkumů fázových přechodů, zejména fázových přechodů prvního druhu; jde o tání a tuhnutí, var a zkapalnění a sublimaci (což je přechod pevných látek v plyn a naopak). Později byla věnována pozornost také fázovým přechodům druhého druhu, tj. přechodům, jež nejsou provázeny pohlčováním či uvolňováním tepla; jde např. o přechody mezi alotropickými modifikacemi téže látky. Dnes jsou známy také další přechody, dokonce přechody dvouapůltého druhu v kapalném He^3 , které však lze popsat jen současnou kvantovou teorií a měřit za supernízkých teplot, takže nepatří již do tohoto historického období.

Z oblasti fázových přechodů měl zásadní význam objev kritického tlaku a kritické teploty (Cagniard de la Tour, Mendělejev) a objev trojného bodu (Andrews). Metody zkapalňování plynů rozvinuli Faraday a Davy, dále jmenovaný již irský fyzik T. Andrews a vídeňský lékař K. Natterer. Ten však používal jen metody vysokých tlaků, a když zjistil, že některé plyny tímto způsobem zkapalnit nelze, nazval je permanentní plyny. Mylnost tohoto názoru objasnil Andrews, když ukázal, že teplota plynů bývá za obvyklých podmínek vyšší než teplota kritická a že je tedy třeba vedle zvyšování tlaku také snižovat teplotu. Když to skutečně r. 1877 provedli Švýcar R. Pictet a Francouz L. Cailletet, ukázalo se, že permanentní plyny neexistují a že lze zkapalnit všechny. Tím se ovšem zvýšil zájem o fyziku nízkých teplot a vysokých tlaků.

Dalšího pokroku v metodách zkapalňování dosáhli polští vědci SZYGMUNT FLORENTY WRÓBLEWSKI a KAROL STANISLAV OLSZEWSKI poté, když se první z nich

vrátil ze Sibiře, kam se dostal za účast na polském povstání; v r. 1895 zkapalnil vodík a argon. Posléze r. 1898 získal pevný vodík skotský chemik J. Dewar, který zjistil také tehdy nevysvětlitelnou skutečnost, že měrné teplo pevných látek klesá s teplotou (1872). Musel ovšem přitom vypracovat novou metodiku měření velmi nízkých teplot; k uchování látek za těchto teplot vynalezl již vzpomínané izolační nádoby, jež nesou jeho jméno a jejichž principu využíváme v termoskách. Pro průmyslovou výrobu kapalného vzduchu sestrojil r. 1895 výkonné aparatury v Německu K. Linde, v Anglii Hampson a ve Francii Claude. Soustavně a na vědecké bázi vybudoval fyziku velmi nízkých teplot holandský fyzik HEIKE KAMERLINGH-ONNES ve své kryogenní laboratoři, první toho druhu na světě. V r. 1908 zkapalnil hélium, které odolávalo nejdéle, poté objevil supravodivost a v r. 1913 zjistil, že tato vlastnost mizí vlivem magnetického pole, vlivem silných elektrických proudů a ovšem i při vyšší teplotě, než je teplota přechodu do supravodivého stavu. Za své výzkumy v oblasti nízkých teplot dostal Nobelovu cenu stejně jako objevitel supratekutého stavu za velmi nízkých teplot, P. L. Kapica, který pracoval v Cavendishově laboratoři v Cambridge a od r. 1935 v Moskvě.

Termika musela ovšem prozkoumat nejen čisté látky o jediné chemické složce, ale také soustavy látek o více složkách, např. roztoky, dále soustavy o více fázích, směsi látek a disperzní soustavy, tj. soustavy, u nichž je v základním materiálu rozptýlena látka různých skupenství; příkladem disperzních soustav jsou suspenze, pěny, dýmy a emulze. V této oblasti se stýká termika s chemií. K rozvoji obou oborů přispěli hlavně chemici: základní zákony pro roztoky formuloval profesor chemie v Grenoblu FRANCOIS MARIE RAOULT, dále jeden ze zakladatelů moderní fyzikální chemie JACOBUS HENRICUS VAN'T HOFF a Gibbs.

Přístrojová výzbroj termiky je v tomto období co do počtu typů přístrojů stále ještě nejchudší ze všech oborů fyziky. Ke kalorimetrům a teploměrům z minulého období přistupují nyní vlhkoměry. Vlasový vlhkoměr Koppého zdokonalil mechanik v Göttingenu W. Lambrecht

a tak vznikl hygrometr Lambrechtův. Spolehlivým laboratorním přístrojem je vlhkoměr anglického fyzika J. F. Daniella, vlhkoměr Regnaultův a tzv. psychrometr Augustův. ERNST FERDINAND AUGUST byl profesorem gymnázia v Jáchymově a později v Berlíně. Formuloval empirický vztah mezi napětím par v ovzduší a tzv. psychrometrickým teplotním rozdílem. Na principech fyziky tepla jsou ovšem založena také zařízení tepelných motorů, chladicích soustav apod., jejichž vývoj ovšem zájímá spíše historiky techniky.

VÝVOJ KLASICKÉ FYZIKY K RELATIVISTICKÉMU NEKVANTOVÉMU OBRAZU PŘÍRODY

Zatímco výsledky klasické mechaniky, akustiky a termiky potvrzovaly koncepcie mechanistické fyziky a newtonovské mechaniky, k pádu této mechaniky vedly výsledky klasické elektrodynamiky a optiky. Zdálo se tedy, že stačí nahradit newtonovskou mechaniku teorií relativity a záhy bude hotova i nová konceptuální soustava a nový fyzikální obraz světa. Destrukce staré fyziky byla tedy provedena úplně, konstrukce nové fyziky však uvázla v půli cesty. Ani v matematicky a filozoficky dokonalé formě, kterou jí dal Einstein, nestačila totiž relativistická nekvantová teorie polí (tj. teorie pole elektromagnetického a gravitačního) na víc, než na popis makrosvěta; v oblasti mikrosvěta atomů, fotonů a elektronů byla nová teorie bezmocná. Musela tedy v oblasti mikrosvěta záhy ustoupit nové, současně relativistické, kvantové a statistické fyzice. Výsledky předchozích stadií vědy se však nikdy neztrácejí úplně, ale jejich hlavní principy přecházejí do teorií nových. Proto také zůstává současná fyzika fyzikou relativistickou a obsahuje Maxwellovu teorii elektromagnetického pole. Vyskytli se ovšem jedinci, kteří se snažili dokončit po všech stránkách relativistickou nekvantovou konceptuální soustavu a vybudovat na jejím základě ucelený obraz přírody; patřil k nim sám Einstein se svou unitární, nekvantovou teorií polí. Jeho teorie byla relativistická, nekvantová a nestatistická, čili „přísně deterministická“. Ač tato cesta nevede k cíli, přesto staletá cesta k němu je grandiózní a výsledky během ní nalezené mají trvalou, ničím nezastupitelnou hodnotu. Je to cesta klasické elektrodynamiky, optiky a teorie relativity, po níž se nyní vydáme.

VZNIK A VÝVOJ KLASICKÉ ELEKTRODYNAMIKY

Elektrodynamika je věda novověká, neboť až do r. 1600 jí téměř nebyla věnována pozornost ani ze strany přírodovědců, ani techniků či praktiků, takže vědomosti v této oblasti nebyly téměř žádné. Jen o málo lepší byla situace v nauce o magnetismu; nikdo však netušil, že jevy elektrické a magnetické spolu nějak souvisejí. Právem tedy můžeme mluvit o období před r. 1600 jako o prehistorii elektrodynamiky. Naproti tomu optika, jež nakonec splynula s elektrodynamikou, znala již ve starověku nejjednodušší zákony šíření světla i několik přístrojů na nich založených, přičemž přesvědčení o její důležitosti bylo mezi vzdělanci od dob antických téměř všeobecné.

V předklasickém období elektrodynamiky, vymezeném na počátku Gilbertovými objevy v r. 1600 a na konci Maxwellovou teorií elektromagnetického pole z r. 1873, byly sice elektromagnetické i optické jevy interpretovány mechanicky, čili nesprávně, přesto však byla objevena řada experimentálních faktů, jež patří do zlatého fondu klasické fyziky.

První závažné podněty k rozvoji elektrodynamiky nepřišly z praxe, ale pramenily spíše ze snah 17. stol. objasnit tajuplné jevy elektrické a magnetické, slibující nejedno překvapení a snad i užitek, podobný tomu, jenž se stále ještě očekával od alchymie. Po r. 1600 díky Gilbertovu spisu se stává elektřina takřka módní záležitostí; experimentuje se na panovnických dvorech a šlechtických zámcích, v kláštorech i na farách, méně však na univerzitách.

V letech 1600 až 1790, která vymezují prvou etapu předklasické elektrodynamiky, se buduje hlavně elektrostatika a magnetostatika; v optice převládá Newtonova emanační teorie světla. V nauce o elektřině je to romantická doba prvních experimentálních výzkumů neznámých jevů, jež nepostrádaly nádech čehosi magického. Kouzlo do značné míry mizí po objevu Coulombova zákona v elektrostatice a magnetostatice (1785), kdy se obou věd zmocňují matematikové.

Druhá epocha předklasické elektrodynamiky začíná

objevem zdrojů ustáleného stejnosměrného elektrického proudu, který učinil Galvani v r. 1790. Od té doby se rozvíjí také elektrodynamika ustálených stejnosměrných proudů. V optice se zanedlouho poté začíná důrazně hlásit o své právo na život vlnová teorie světla, jež jediná byla schopna v příštích desetiletích vysvětlit jevy interference, ohybu a polarizace světla. Další významné mezníky této druhé epochy jsou tvořeny těmi objevy, jež měly za následek slévání dosud samostatných vědních disciplín. V r. 1820 objevil Oersted vzájemnou souvislost jevů elektrických a magnetických, čímž se slila nauka o elektřině s naukou o magnetismu v elektrodynamiku. Toto poznání prohloubil Faraday v r. 1831 objevem elektromagnetické indukce; tím dokázal, že nejen elektrický proud vyvolává magnetické pole, ale že také změny magnetického pole vyvolávají elektrický proud. Konečně v r. 1846 objev tzv. Faradayova jevu ukazuje vzájemnou souvislost jevů magnetických a optických.

V této epoše elektrodynamiky vznikají také celé nové teorie respektující vzájemnou souvislost elektřiny a magnetismu, neboť na výklad těchto souvislostí již nestačí staré fluidové teorie z doby nadvlády elektrostatiky. Nejzávažnější z těchto teorií předklasické, předmaxwellovské epochy byly dvě teorie: na počátku epochy teorie Ampèrova, na konci teorie Weberova.

Obě však byly čistě mechanistické. Prvá považovala za základní jev interakci mezi vodiči, jimiž protéká elektrický proud, druhá se opírala o zobecněný Coulombův zákon a za základní považovala vzorec vyjadřující vzájemné působení elektrických nábojů v pohybu. Obě mlčky předpokládaly okamžité působení do dálky podobně jako Newtonova teorie gravitace a nepředpokládaly ještě vzájemné vztahy mezi jevy elektromagnetickými a optickými. S novou, nemechanickou koncepcí elektrických a magnetických jevů (ne však ještě elektromagnetických jevů) přichází v r. 1832 Faraday. Podle jeho čistě kvalitativních a názorných představ potřebuje elektrické a magnetické pole čas ke svému šíření a má charakter reálné, hmotné entity. Jeho ideje však matematicky zpracoval a dovršil teprve Maxwell v letech 1864 až 1873.

Dílem Maxwellovým, které přináší novou teorii elektromagnetického pole, začíná klasické období elektrodynamiky i optiky. Nauka o elektřině, magnetismu a optika se po teoretické stránce slévají vjedno, po stránce experimentální si ovšem optika i elektrodynamika zachovávají svoji specifickou metodiku a tím i „právo na život“ a relativní samostatnost. Avšak i elektrodynamika se po Maxwellovi dále vyvíjela. Samotná teorie Maxwellova se podrobně zabývala jen elektromagnetickým polem chápaným jako kontinuum. Elektrický náboj nebyl v rámci této teorie ničím jiným než pouhým zdrojem pole. Navíc Maxwell předpokládal, že vedle kondukčního proudu v kovech existuje konvekční proud (tj. pohyb nositelů elektrického náboje) a konečně i jim oběma ekvivalentní posuvný proud v dielektriku; to umožnilo formulovat rovnice obecného elektromagnetického pole. Na těchto rovnicích založená Maxwellova elektrodynamika umožňuje přesně určit vlastnosti elektromagnetického pole při známém rozložení elektrických nábojů, magnetů a proudů. Rehabilitaci pojmu elektrického náboje a respektování nespojitého, atomárního charakteru látky si dala na svůj štít Lorentzova elektronová teorie, dokončená kolem r. 1900. Maxwellovy rovnice elektromagnetického pole ponechává v platnosti, šíření pole v látkách však chápe nově, podrobněji a přesněji. Navíc Lorentz našel vzorec pro sílu, která charakterizuje působení daného pole na náboje a proudy. Těmito dvěma teoriemi byl úspěšně dovršen vývoj celé klasické elektrodynamiky — avšak s výjimkou jediného problému. Tímto problémem byla elektrodynamika pohybujících se prostředí. Ač sám Lorentz a někteří další teoretičtí fyzikové dospěli ke správným matematickým vztahům v této oblasti problémů, filozoficky zcela nově a správně je interpretoval teprve Einstein r. 1905. Jeho elektrodynamika pohybujícího se prostředí je korunou a závěrem klasické elektrodynamiky a zároveň dílem, jež ukázalo nutnost vytvoření speciální teorie relativity, včetně nové mechaniky.

Současná, kvantová epocha elektrodynamiky začala již v r. 1900 objevem nespojitého, diskrétního charakteru elektromagnetického pole, pro jehož „atomy“ zavedl

r. 1905 Einstein pojem i termín foton. Až do počátku třicátých let měla však tato teorie provizorní, matematicky nehotovou podobu. Současné podoby nabývá v pracích Diracových; dodnes se buduje tato nová kvantová elektrodynamika, jež patří k nejpropracovanějším fyzikálním teoriím vůbec a ke vzorům fyzikální teorie. Není znám jediný pokus, který by jí odporoval, a je známa řada jevů, jejichž existenci předpověděla, a to do nejjemnějších kvantitativních podrobností. Dosah současné elektrodynamiky daleko překračuje oblast jevů elektromagnetických a optických, z nichž se zrodila; uplatňuje se jak při popisu interakcí elementárních částic, tak při popisu některých procesů v atomových jádrech, i v kosmickém měřítku. V následujících odstavcích se však omezíme na vylíčení historie klasické elektrodynamiky, a to ve shodě s naznačenými epochami vývoje této vědy. Neodpustíme si však několik poznámek z prehistorie elektrodynamiky (tj. z dob před r. 1600), jež mají vztah ke klasické elektrodynamice.

PREHISTORIE NAUKY O ELEKTRINĚ A MAGNETISMU

O elektrických úkazech měl starověk i středověk vědomosti zcela nepatrné a názory téměř žádné. A přesto název pochází od Řeků. Řecké přadleny prý pozorovaly přitahování drobných tělísek při tření vlákna a jantaru čili „elektronu“; starověcí autoři také znali některé mořské ryby, např. elektrického úhoře, který při doteku způsobuje zvláštní ránu. V dílech Scribonia Larga a Plinia Staršího se tento jev na jedné straně doporučuje k léčení, na druhé straně se však vyslovuje názor, že snad je způsoben jakousi otravnou látkou, kterou ryba z těla vystřeluje. Souvislost jevů při tření jantaru s elektrickými ranami ryb a s bleskem však zůstala záhadou až do dob Divišových a Franklinových, tj. do 18. stol. Ještě v očích mnoha současníků těchto badatelů byl blesk a hrom nejpádnejším „důkazem“ přítomnosti mocného trestajícího boha nad hlavami hříšného lidstva. Tento názor pravděpodobně mlčky sdíleli také filozofové, kteří se ani ve starověku, ani později vůbec ne-

pokusili o racionální výklad těchto jevů způsobem obvyklým v jiných oblastech přírodních jevů.

A jen o málo větší byly vědomosti starých učenců o magnetismu. Magnetická přitažlivost železné rudy, magnetovce, byla však známa již ve starověku. Zmínku o tom činí Seneca a Lucretius Carus. Název magnetismus prý pochází buď od maloasijského města Magnesia, v jehož okolí se ona ruda nacházela, nebo podle Plinia od pastýře Magnesa, který si jako první všiml přitažlivých sil mezi magnetovcem a železnými hřebíky ve svých botách.

Druhá základní vlastnost magnetismu, tj. určitý směr zemského magnetismu a snaha magnetů orientovat se ve shodě s tímto směrem, byla známa Číňanům asi ve 2. stol. n. l. Odtud pravděpodobně přes Indii, Persii a Arábii se dostala tato znalost koncem 12. stol. do Evropy, kde sloužila zprvu neapolským námořníkům; ti patrně převzali od Arabů primitivní kompas jako důležitý nástroj nautický.

Nové poznatky o magnetismu přináší teprve traktát Francouze P. Peregrina de Marecourt z r. 1296. O autorovi není spolehlivě známo celkem nic, o díle se však ví to, že jde o první práci z oblasti magnetismu a elektřiny a o jednu z prvních experimentálních prací ve fyzice vůbec. Správně Peregrinus říká, že každá část magnetu zůstává i po jeho rozdělení celým magnetem s oběma póly (čili že nemohou existovat magnetické monopóly). Dále podává návod na zhotovení kompasu s magnetkou, nikoli tedy jen s kusem magnetovce, přivázaným ke dřevěnému kříži plovoucím na vodě, jak tomu bylo dosud.

Další objevy v této oblasti se týkají převážně geomagnetismu a jsou pro praxi vesměs nepříznivé. K. Kolumbus na své objevné cestě do Ameriky r. 1492 se nejen znovu přesvědčil o již známé magnetické deklinaci, ale objevil i její změny s místem, což ovšem svým námořníkům zprvu tajil, aby nepodlehli panice. Později (1635) objevil Gellibrand také změny deklinace s časem. Inklinační, tj. sklon geomagnetického pole vůči vodorovné rovině, objevili a inkliční magnetku sestrojili nezávisle na sobě norimberský vikář G. Hartmann (1544) a

zkušený anglický mořeplavec a výrobce kompasů R. Norman (1576); ten sestrojil také inkliniční buzolu.

Názory na příčiny geomagnetismu byly v těchto dobách velmi fantastické; až do pokusů Gilbertových (1600) se předpokládalo, že buď jsou na magnetických pólech ohromné „magnetické hory“, nebo že „magnetická síla“ vychází přímo z Polárky. Za příčinu magnetismu těles se pokládaly zvláštní výpary vycházející z magnetů (magnetická efluvia); vystupují prý z nich v podobě neviditelných paprsků. Magnetické jevy vůbec byly zařazovány někde na hranici mezi jevy fyzickými a spirituálními. Je tedy zřejmé, že cesta k vědeckému poznání podstaty magnetismu nebyla ani jednoduchá, ani krátká; první kroky k ní učinil W. Gilbert, Galilei nauky o elektřině a magnetismu. Jím také začíná dlouhé období předklasické elektrodynamiky.

PŘEDKLASICKÁ ELEKTRODYNAMIKA

Všimněme si nyní prvních experimentálních výzkumů v oblasti elektřiny a magnetismu a cest, jež vedly k založení elektrostatiky a magnetostatiky.

Experimentální základy magnetostatiky zcela prosté filozofických spekulací — ale i jakýchkoli kvantitativních vztahů — položil WILLIAM GILBERT (1544—1603) svým dílem *Nová fyzika o magnetech a zmagnetovaných tělesech a o velkém magnetu Zemi*, které bylo vydáno r. 1600 v Londýně. Tezi, že Země je velkým magnetem, učený dvořan a lékař královny Alžběty dokázal více než 600 pokusy, při nichž zjistil (jako kdysi Peregrinus) pomocí malých magnetek v okolí velké zmagnetizované železné koule úplnou obdobu s působením Země na kompas. Tím zároveň vyvrátil dříve uvedené fantastické domněnky o původu zemského magnetismu. Zemi přisoudil dva póly, o nichž se domníval, že splývají s póly zeměpisnými. Jako první rovněž výslovně zdůraznil rozdíl mezi jevy elektrickými (jimž dal jméno) a jevy magnetickými. Pokusně dokázal, že řada látek, mezi nimi pryskyřice a sklo, jsou-li třeny, přitahují lehké předměty; a to je vlastnost, kterou právě magnety nikdy

nemají. Shledal rovněž, že magnet je možno ze železa nejen vyrobit (působením jiného magnetu nebo u železných tyčí položením na delší dobu do poledníkového směru), ale také odstranit (červeným žárem). Poznal význam magnetických pólů a jejich neoddělitelnost a objevil magnetickou indukci, tj. zmagnetizování předmětu z magneticky měkkého železa po dobu jeho dotyku s permanentním magnetem. Tušil rovněž význam magnetického pole v okolí magnetů a zavedl pro ně název magnetická efluvia (magnetické výrony), jež však považoval za projev „duše těles“. Tento názor odstranil teprve Descartes ve své teorii vírů; efluvia označil za víry, jež jsou nositeli rotačních vlastností magnetismu a procházejí jako šroubky prostorem i látkami.

Gilbert položil rovněž základy elektrostatiky, do níž zavedl elektroskop (*Gilbertovo versorium*); zjistil, že jen některé látky se třením zelektrizují. Ze všech se však elektřina odvádí plamenem a vlhkem; elektrická efluvia považuje za materiální, avšak nezjistitelné hmotnosti. Gilbertova kniha se stala jednou z nejznámějších knih století a inspirovala mnoho pokračovatelů; k nejvýznamnějším z nich v tomto romantickém, kvalitativním období elektrostatiky patří v Německu O. von Guericke, v Anglii Gray, ve Francii Du Fay, v Americe Franklin, v Rusku Richmann a v Čechách Diviš.

Otto von Guericke si našel i v krutých podmínkách třicetileté války čas na experimentování s vakuem a s elektřinou. Sestrojil první rotující třecí elektriku — byla to sírová koule třená suchou rukou — jež se stala prototypem elektrických strojů 17. a 18. stol. Objevil elektrické odpuzování těles nabitých stejnojmenným nábojem, zatímco Gilbert měl zato, že elektrické síly jsou jediné přitažlivé. Leibnizovi se připisuje zásluha o objev elektrické jiskry při pokusech s třecí elektrikou; odtud již nebylo daleko k ideji o totožnosti blesku s onou jiskrou. Experimentální důkaz byl ovšem obtížnější a byl proveden Divišem, Franklinem a Richmannem, kterého stál život.

Další pokrok se pojí s dílem STEPHENA GRAYE, který žil v anglickém Charterhousu a až jako důchodce se bavil pokusy s elektřinou. Poznal zejména, že látky je

třeba dělit na vodiče a nevodiče elektřiny, a vynalezl izolační stoličku, která se ukázala při pokusech s elektřinou jako velmi důležitá. Jeho atraktivními pokusy byl inspirován francouzský chemik a ředitel pařížské botanické zahrady CHARLES FRANCOIS DE CISTERNAI DU FAY, který zjistil, že Gilbertovo třídění látek na elektrické a neelektrické je chybné, neboť třením lze zelektrizovat látky všechny; látky zdánlivě neelektrické jsou vodiče, jež „odevzdávají“ svůj náboj okamžitě do země. Dále zjistil dva druhy elektřiny, jež nazval sklová a pryskyřicová, přičemž nesouhlasné se přitahují, souhlasné odpuzují.

Skutečnost, že i v nezelektrovaném vodiči vzniká při jeho pouhém přiblížení k zelektrovanému tělesu elektrický náboj, a to na přivrácené straně nesouhlasný a na odvrácené souhlasný, objevil fyzik, profesor v Berlíně a poté akademik v Petrohradě, FRANZ ULRICH MARIA THEODOR AEPINUS. V r. 1759 nazval zmíněný jev elektrostatická indukce. Objevil také pyroelektrický jev u turmalínu [1756] a v traktátu z r. 1759 se pokusil dokonce o prvou matematickou teorii elektrických a magnetických jevů opírající se o představu elektrických a magnetických fluid — v prvním případě pohyblivých, ve druhém vázaných na těleso. V témže traktátu vyslovil předpoklad, že velikost elektrických a magnetických sil ubývá se čtvercem vzdálenosti. Totéž r. 1767 vyslovil Priestley a později to dokázal měřením Cavendish; ten však své výsledky neuveřejnil, takže Coulombův zákon vyjadřující tuto skutečnost bývá datován až k r. 1785.

Výzkum kvantitativních zákonitostí v oblasti elektřiny tedy začal na sklonku 18. stol., kdy Coulombův zákon vešel fyzikům do krve a kdy také technika elektrických pokusů již značně pokročila: byly zejména zdokonaleny zdroje elektrických nábojů („elektriky“), byl sestaven kondenzátor a pro měřicí účely byl zdokonalen elektroskop. Objev kondenzátoru byl inspirován fluidovou teorií: je-li elektřina skutečně fluidum čili „nevážitelná“ kapalina, bude jistě možné shromáždit ji ve větším množství ve vhodné nádobě. S úspěchem se o to pokusil kanovník E. G. von Kleist z Kaminnu v Pomořanech a vzápětí také holandský fyzik v Leidenu P. van

Musschenbrock [1745], který se snažil shromáždit elektrický náboj ve vodě, uzavřené v láhvi. V jedné ruce držel láhev, a když se pokusil druhou rukou odtáhnout drát, který spojoval vodu v láhvi se zdrojem elektřiny, dostal nečekaně silnou ránu, o níž později řekl Réaumur, „že by ji nechtěl podruhé obdržeti ani za království francouzské“. Električka ve spojení s kondenzátorem a dále zdokonalená J. Cuthbertsonem z Haarlemu dávala v r. 1785 za sekundu pět jisker na vzdálenost 60 cm. Pokusy s elektřinou skýtal nejruznější atrakce a staly se předmětem zájmu v měšťanských i feudálních kruzích. Ve fyzikálních laboratořích byl navíc nezbytnou pomůckou elektroskop, někdejší *Gilbertovo versorium*, zdokonalené Richmannem, A. Bennetem (1787) a Voltou.

Elektrostatické jevy byly po dlouhou dobu předmětem jen laboratorních výzkumů. V polovině 18. stol. však začíná také výzkum atmosférické elektřiny, a to muži, kteří obohatili elektrostatiku a ukázali cestu k četným aplikacím elektřiny. Na nestejnou hustotu elektrického náboje na povrchu vodičů upozornil Aepinus a na možnost využít této skutečnosti připadl dvojnásobný doktor PROKOP DIVIŠ (1698—1765), premonstrátský mnich v Louce u Znojma a později farář v Příměticích (Prokop je jeho jméno řádové). Uvědomil si, že největší hustota náboje musí být na místech s největším zakřivením, čili na hrotech, menší na rovných plochách a nejmenší, prakticky nulová v dutinách jakkoli silně nabitého vodiče. Tohoto posledního faktu je využito v tzv. Faradayově kleci. Jestliže se k nabitému vodiči přiblíží uzemněný kovový hrot, indukuje se v něm nesouhlasný náboj, který má velkou hustotu, a přejde vzduchem na prvé těleso a neutralizuje jeho původní náboj. Tohoto „sání hrotů“ Diviš mnohokrát využil v situacích komických i vážných. Například při pokusech jeho rivala před císařovnou Marií Terezií ukryl do své paruky 20 jehel — a pokusy povýšeného dvorního odborníka se najednou nedařily. Diviš pak jev vysvětlil a prohlásil, že by tohoto principu mělo být použito ke konstrukci bleskosvodu, kterou také realizoval později v Příměticích (1754). Profesor GEORG WILHELM RICHMANN (1711 až 1753) sestrojil podobné zařízení, jež mělo fungovat jako

„*gnonom electricitatis*“; šlo v podstatě o neuzemněnýbleskosvod spojený s elektroskopem. Za bouře v Petrohradě vyletěl prý z aparátu kulový blesk a badatele zabil. Diviš vysvětlil, že bylo třeba uzemnění, a sám svůj bleskosvod s četnými hroty uzemnil řetězem. V Rusku se zabýval atmosférickou elektřinou teoreticky také MICHAIL VASILJEVIČ LOMONOSOV, který v zemi jako první postavil na svém domě Franklinův bleskosvod.

V zaostalém Rakousku se neuplatnil ani Divišův vynález, ani jeho metody léčení elektřinou. Světového rozšíření došel jednodušší bleskosvod amerického badatele BENJAMINA FRANKLINA; jen anglický král nedovolil, aby na jeho hradě byly zašpičatělé bleskosvody „toho amerického rebela“, proto měly na konci zlaté kuličky. Franklin, nejmladší ze sedmnácti dětí chudého mydláře, se stal postupně tiskařem, kulturním pracovníkem, státníkem, významným veřejným činitelem a mluvčím USA, které se právě odtrhly od Anglie. Od svých čtyřiceti let se zaměřil na fyziku, ve které proslul tím, že na rozdíl od panující dualistické teorie elektřiny, učící, že existují fluida kladné a záporné elektřiny, tvrdil, že existuje jen jediný druh elektřiny. Její nedostatek, resp. nadbytek oproti elektrickému stavu Země se jeví jako elektřina záporná, resp. kladná. V rámci své unitární čili monistické teorie vyslovil důležitý princip zachování elektrického náboje.

Zásluhu o formulaci prvních kvantitativních zákonů elektrostatiky má francouzský důstojník CHARLES AUGUST DE COULOMB (1736—1806); k vědecké práci se dostal poprvé po dokončení opevňovacích prací na ostrově Martinique (1776) a podruhé po útěku před gilotinou z revoluční Paříže (1789) do Blois. Na jeho měření elektrických sil pomocí torzních vah je zajímavé to, že musel nejprve odvodit zákony torze vlákna, a dále to, že při měření nepoužíval metody statické (tj. nečekal, až se vahadélko zavěšené na kroucím se vlákně ustálí, neboť bylo nebezpečí, že náboj z kuliček na konci vahadla zatím zmizí), ale užil metody dynamické, při níž zjišťoval elektrické síly z periody kyvu vahadla. Konečně byl si vědom, že jeho zákon je vlastně totožný se zákonem gravitačním, který objevil Newton více než před

sto lety, a že tedy neslouží ani tak k výpočtu síly působící mezi náboji, jako spíše k definici elektrického náboje a jeho jednotky. Teprve však Faraday v letech 1835 až 1838 dokázal, že coulombovská interakce závisí také na vlastnostech prostředí mezi náboji charakterizovaného permitivitou prostředí, chápanou jako konstanta materiálu (dielektrická konstanta). Jde o vlastnost, jež nemá obdoby u gravitace; podivuhodné ovšem bylo také to, že existují nejen elektrické síly přitažlivé, ale také odpudivé, i to, že u magnetismu vystupují nositelé magnetických interakcí jen v podobě dipólů. O formulaci zobecněného zákona Coulomba na případ pohybujících se nábojů se pokusil teprve Weber v 19. stol. Vlivem Coulomba objevu převládli i jeho názor totožný s dualistickou fluidovou teorií elektřiny a magnetismu.

Po objevu galvanických článků a termočlánků, jako zdrojů ustáleného stejnosměrného proudu, se však obrací hlavní pozornost k elektrodynamice, aniž by se ovšem přestala rozvíjet elektrostatika. Naopak — tato věda se dále rozvíjí v dílech zakladatelů analytické mechaniky, kteří z ní učinili exaktní matematickou vědu — hlavně zásluhou Poissonovou a Gaussovou. Bylo však třeba nalézt souvislost elektrostatiky s elektrodynamikou. Hlavní zásluhy na tomto poli má Ampère a Faraday. Jejich pracím ovšem předcházely objevy nových zdrojů elektřiny.

VZNIK ELEKTRODYNAMIKY USTÁLENÝCH PROUDŮ

Až téměř do konce 18. stol. byly známy pouze jevy elektrostatické a některé účinky „elektrického konfliktu“, čímž se označoval krátkodobý proud neustáleného charakteru; šlo o účinky fyziologické, o elektrickou jiskru a o jevy atmosférické. Nová epocha začíná objevem zdrojů ustáleného proudu — galvanických článků.

První galvanický článek, tvořený navlhčeným olověným a stříbrným plíškem, sestrojil sice již r. 1751 Sulzer, ale kromě konstatování, že na olověném proužku pocítil kyselou chuť a na stříbrném žíravou, nebyla jevu věnována žádná pozornost. Novou epochu skutečně zaha-

jují teprve pokusy italského lékaře LUIGIHO GALVANIHO. Zabýval se anatomí živočichů i elektřinou; zcela náhodou zpozoroval kontrakce čerstvých preparátů žabích nožek ve dvou případech: v okamžiku, kdy přeskočí jiskra u třetí električky, a v okamžiku, kdy se dotkne navzájem železo a měď dotýkající se na druhém konci svalů, resp. nervů preparátu. Usoudil, že kontrakce je v obou případech elektrického původu a že příčinou je ve druhém případě „elektřina živočišná“; první případ podmíněný elektromagnetickou indukcí ovšem vysvětlit nemohl. Vystala tedy otázka, zda je příčinou druhého jevu rozdílnost živočišných tkání, nebo rozdílnost kovů. Různé odpovědi na čas zkomplikovaly další vývoj. Galvani se v práci *O elektrických silách* (1791) přiklonil k hypotéze o existenci živočišné elektřiny, v čemž ho utvrzovalo pozorování elektrických rejnoků. Nervstvo živočichů prý je zelektrováno kladně, svalstvo záporně a kontrakce je vyvolána elektrickým proudem při jejich spojení např. kovem. Svě názory však nevyslovil nijak kategoricky, ale spíše jako podnět k zamyšlení „učnějším následovníkům“.

Život Galvaniho byl spojen s Bolognou; odmítl však přísahu Cisalpinské republiky, nesouhlasil s francouzskou okupací, a tak zbaven profesury dožil z milosti u svého bratra; původně byl teologem, ale nevstoupil do kláštera, stal se nakonec lékařem a dosáhl v tomto oboru velkých úspěchů. Byl mimořádně skromný a štěstěna se k němu většinou obracela zády. Na podporu své koncepce o živočišné elektřině sestrojil dokonce obvod z živočišných tkání bez kovových prvků a svými pracemi se stal předchůdcem nauky o bioelektřině.

Jeho práce vzbudila všeobecnou pozornost. Na tuto práci navázal i profesor přírodní filozofie na gymnáziu v rodném Como, a poté na univerzitách v Pavii a v Padově, ALESSANDRO GUISEPPE ANTONIO ANASTASIO VOLTA (1745—1827). Záhy však Galvaniho interpretaci kategoricky odmítl a vytvořil ryze fyzikální „kontaktní teorii“ zmíněných jevů. Podle ní vzniká napětí mezi kovy již při jejich kontaktu a mnohonásobně se zvětší jednak vložením elektrolytu mezi ně, čímž vznikne galvanický článek, jednak sériovým spojením těchto galvanic-

kých článků. Voltova teorie triumfovala, když její autor skutečně sestrojil galvanickou baterii nazvanou Voltův sloup; její články jsou tvořeny zinkovými a měděnými kotoučky, oddělenými sukrem navlhčeným slanou nebo okyselenou vodou. Svůj epochální vynález tohoto prvního relativně trvalého zdroje proudu Volta publikoval ve formě dopisu prezidentovi *Královské společnosti* (1800). Je však třeba říci, že v Anglii nebyl tento objev zcela nový, neboť např. ve Fawlerových *Pokusech* z r. 1793 je Robinsonův dodatek, v němž se popisuje série zinkových kroužků a měděných šilinků, jež po navlhčení působí na jazyk velmi nepříjemně. Nicméně Volta jako první sestrojil vhodný článek, prokázal jeho teoretický i praktický význam a vyslovil pro něj první přijatelnou teorii; tím vyvolal pozornost nejen odborníků, které inspiroval k objevům dalším, ale i vládních míst, zejména Napoleona.

Osobně byl Volta po celý život na výsluní štěstí a slávy. Učinil ještě řadu dalších objevů, zejména objevil elektrofor, jímž bylo možno získat bez tření libovolně velký náboj, zkonstruoval nezávisle na Richmannovi stěblový elektroskop, seřadil správně kovy v posloupnost podle velikosti kontaktních potenciálů (Voltova řada) aj. K Francouzům, kteří obsadili jeho vlast, projevil plnou loajalitu; proto nic nevadilo, že svůj objev publikoval v nepřátelské Anglii, a když měl jít do penze, zakročil sám Napoleon prohlášením, že „generál neodchází z pole“, a ponechal ho na univerzitě bez povinnosti přednášet; Volta zemřel v 82 letech.

Později se ukázalo, že Voltův článek je pouze jedním z tzv. nevratných článků, neboť vodík vznikající při rozkladu vody obaluje v podobě bublinek měděnou katódu; zinková elektroda se zase rozpouští. Problém depolarizace vyřešil londýnský profesor chemie J. Daniell (1836). O stabilizaci článků pomocí depolarizátorů se dále postarali němečtí badatelé Bunsen a Meidinger (1859). Další úpravy se pojí se jménem Leclanchéovým, Groveovým, Wheatstoneovým aj.

Na rozdíl od této kategorie „primárních článků“ se polarizace naopak využívá v „sekundárních člancích“ čili v akumulátorech. Jejich název i úprava olověného akumulátoru pochází od G. Plantéa (1859) — ač první

pozorování tohoto principu pochází již od mnichovského fyzika Rittera (1803). C. Faurerovi se zase podařilo zdokonalit nabíjecí proces (1881) a další, alkalický akumulátor, sestrojil THOMAS ALVA EDISON (1847—1931). Jiný princip zdrojů stejnosměrného proudu objevil r. 1821 německý lékař a fyzik THOMAS JOHANN SEEBECK v termoelektrickém jevu; první článek skutečně fungující na tomto principu sestrojil GEORG SIMON OHM. Použil mědi a vizmutu, přičemž jeden spoj těchto kovů ponořil do vařící vody a druhý do tajícího sněhu, a získal tak slabý termoelektrický proud. Po třinácti letech se podařilo najít také reciproký jev k jevu termoelektrickému; Francouz Ch. Peltier zavedl z vnějška proud do termočlánku a mezi spoji zjistil teplotní rozdíl. V r. 1856 Kelvin dokonce zjistil, že proud může vznikat i v jediném vodiči při rozdílu teplot mezi jeho různými místy. Všechny zmíněné jevy (kromě Kelvinova) našly bezpočet aplikací v metrologii i v technické praxi; nicméně nejdůležitějším zdrojem proudu zůstaly galvanické články.

K dalšímu rozvoji elektrodynamiky a celé fyziky vedly objevy nejrůznějších účinků proudu, jež navíc umožnily nalézt zákony platící pro elektrický proud, což se obojí stalo základem nečekaného rozvoje elektrotechniky. Zprvu se zkoumaly účinky fyziologické; záhy se však ukázalo, že důležitější jsou účinky chemické, úzce související jak s galvanickými články, tak s účinky fyziologickými, a že nejdůležitější jsou účinky tepelné a magnetické.

Z chemických účinků proudu je nezákladnější elektrolýza. První zmínka o rozkladu látek elektrickým proudem je z r. 1789, kdy P. van Troostwyk a Deimann pozorovali rozklad vody mezi blízkými konci drátů do ní ponořených a připojených k nabitému kondenzátoru. Podobná pozorování učinil i proslulý přírodověc A. von Humboldt; studoval vznik bublinek plynu na stříbrné elektrodě, oddělené od zinkové elektrody vrstvou okyselené vody [1797]. Vylučování mědi na katodě objevili nezávisle na sobě r. 1801 Ritter a Wollaston; zdrojem proudu jim byl stále ještě kondenzátor, roztokem modrá skalice. Zásadní význam pozorovaných jevů si plně uvědomili v Anglii fyziolog Carlisle a inženýr Nicholson: zavedli do vody proud z galvanického článku platinovými elek-

trodami a rozložili ji ve vodík a kyslík (1810); bylo tedy zřejmé, že voda je látkou složenou. Základní význam této metody pro chemii jasně pochopil HUMPHRY DAVY. Pomocí mohutné baterie o 2000 galvanických článcích provedl nejen elektrolýzu řady látek, přičemž objevil draslík a sodík, ale také uskutečnil elektrický oblouk. Bývá považován za zakladatele elektrochemie, neboť zmíněné výzkumy prováděl dlouhodobě a soustavně; již jako 25letý byl členem londýnské *Královské společnosti* a patřil k nejlepším popularizátorům vědy v Anglii. Jeho obliba byla tak veliká, že když byl nemocen, šlechtičny sledovaly jeho teplotu pomocí velkého modelu teploměru umístěného na náměstí.

O výklad elektrolytických dějů se sice pokusil již Ch. von Grotthuss (1805), avšak vývoj elektrochemie v tomto období dovršil až r. 1833 geniální M. Faraday. Jeho dva zákony elektrolýzy se staly teoretickým základem elektrochemie a výchozím bodem pro hypotézu o diskrétním, atomárním charakteru elektrického náboje. Přitom Faradayovy zákony patří k nejpřesnějším fyzikálním zákonům vůbec a umožňují velmi přesně měřit elektrický náboj a proud. Starší definice jednotky proudu vycházela právě z Faradayova zákona. Od Faradaye také pochází terminologie (zejména termíny elektroda, katoda, anoda, elektrolyt, vodiče první a druhé třídy atd.); dokud se ve fyzice jeho termíny nevžily, všechny úvahy v této oblasti tonuly v nejasnosti. Ještě větší význam však měly základní objevy v oblasti elektromagnetické interakce a elektřiny. V souvislosti s nimi si nyní všimneme také osobností objevitelů.

Sérii objevů o vzájemné souvislosti jevů elektrických a magnetických zahájil v r. 1820 dánský fyzik HANS CHRISTIAN OERSTED (1777—1851). Byl synem lékárníka v ostrovním městečku Rudkøbing; od dětství pomáhal v lékárně a oblíbil si chemii. Poté vystudoval medicínu a fyziku a proslavil se i ve filozofii a estetice. Několik let cestoval po evropských univerzitách a po návratu se stal profesorem fyziky a chemie v Kodani. Ač k jeho stěžejním zásadám vždy patřilo přesvědčení o vzájemné souvislosti všech přírodních jevů, přesto na svých přednáškách často demonstroval, že jevy elektric-

ké a magnetické spolu nesouvisí, a to tak, že nad magnetkou držel ve směru k ní kolmém vodič protékaný proudem; byl proto jednou překvapen, když shledal, že magnetka postavená rovnoběžně s vodičem se při průchodu vychyluje. Když zjistil, že jev není způsoben ve vodiči vyvinutým teplem, ale elektrickým proudem, který vodičem procházel, publikoval svůj objev (1820) v latinském spise, který rozeslal všem vědeckým autoritám. Na jeho práci přečtenou také ve Francouzské akademii okamžitě navázali Ampère, Biot a Savart, kteří objevili zákony interakce magnetů a proudů a matematicky je formulovali. Na základě účinků elektrického proudu na magnetku byly záhy sestrojeny také první ampérmetry Poggendorffem v Berlíně a Schweiggerem v Halle. Bez těchto přístrojů by asi Ohm neobjevil svůj zákon pro elektrické obvody. Konečně bylo také možno měřit intenzitu magnetického pole; její jednotka byla nazvána oersted. Oersted se neproslavil jen zmíněným nahodilým objevem. Objevil např. také piperidin, připravil kovový hliník a podal důkaz, že kyselost a zásaditost látek je podmíněna elektrickými náboji částic v roztocích, čímž se dokázalo, že chemické vlastnosti látek jsou podmíněny jejich elektrickými parametry. Oersted jako první také prozkoumal stlačitelnost kapalin pomocí svého piezometru; do té doby panovalo přesvědčení, že kapaliny jsou nestlačitelné. Vlast si ho vážila natolik, že od těch dob Dánsko dává vždy svému nejvýznamnějšímu muži do užívání celý zámek; komfortu se však již Oersted nedočkal, neboť zemřel těsně před nastěhováním.

Oerstedem objevené vztahy byly jen kvalitativní. Kvantitativní vztahy pro intenzitu magnetického pole v okolí vodiče protékaného elektrickým proudem našli Biot, Savart a Laplace. Takřka na počkání vypracoval však celou teorii interakce magnetů a proudů i interakce proudů navzájem geniální francouzský matematik a fyzik ADRIEN-MARIE AMPÈRE (1775—1836).

Na rozdíl od většiny fyziků považoval za primární jev nikoli interakci magnetu a elektrického proudu, ale interakci proudovodičů, přičemž magnetismus považoval jen za druhořadý efekt provázející pohyb elektřiny. Také

jeho pojetí elektrického proudu jako pohybujícího se náboje učinilo konečně jasno v základních pojmech elektrodynamiky. Jeho zákon o interakci vodičů protékaných elektrickým proudem se stal základem jak celé předmaxwellovské čili ampérovské elektrodynamiky, tak dnešní definice jednotky elektrického proudu. Odlišná pojetí různých fyziků ovšem vedla k polemikám, zejména s Aragem. Matematickou erudicí však Ampère předčil všechny své současníky i odpůrce. Bylo mu rovněž jasné, že skalární formule tehdejší fyziky, včetně jeho vlastního vzorce, vystihují jen velikost, nikoli však směr sil; proto také jako první formuloval kvalitativní pravidla pro směr příslušných sil, zejména tzv. pravidlo pravé ruky, jež později Maxwell nahradil pravidlem pravé ruky známým ze škol jako *Ampèrovo pravidlo pravé ruky*. V r. 1822 sestrojil Ampère také solenoid, tj. cívku protékanou proudem, a dokázal, že její magnetické pole je ekvivalentní poli tyčového magnetu. Vyslovil rovněž hypotézu o existenci molekulárních proudů podmiňujících magnetismus permanentních magnetů a hypotézu o existenci zemského elektrického proudu podmiňujícího zemský magnetismus.

Život Ampèrův nebyl šťastný. Měl mimořádné matematické a jazykové nadání (ve třinácti letech prý znal základy třinácti jazyků, ve čtrnácti přečetl francouzskou *Encyklopedii*). V r. 1793 však prožil hluboký otřes, když byl jeho otec v Lyonu gilotinován; více než rok pak sedával bez hnutí a rozdělával hromádku písku postupně na poloviny. Později se to promítlo do proslulé klasifikace věd, které třídil přísně dichotomicky, a neváhal označit prázdná místa své soustavy věd vlastními termíny; tak vznikl například i název *kybernetika*. Z duševního otřesu se vzpamatoval teprve studiem Rousseauových botanických prací. Poté se jeho zájem přesunul na matematiku; za výsledky v oblasti diferenciálních rovnic byl přijat do Francouzské akademie (1814) a posléze skvěle matematicky připraven přešel k problémům fyzikálním, jimž se věnoval dvacet let. V teorii elektrických jevů udával tón až do dob Maxwellových.

Před koncem této epochy se pokusil německý fyzik WILHELM WEBER založit elektrodynamiku na zobecně-

ném zákoně Coulombově. Zatímco Ampère považoval za základní jev interakci mezi proudovodiči, Weber hledal zákon interakce mezi elektrickými náboji v pohybu. Svůj vzorec aplikoval také na svůj planetární model atomu (1871), jenž je prvním pokusem tohoto druhu, předcházejícím Bohrovu teorii o 42 let.

Na problém vystihnout magnetické účinky proudu jednoduchými vzorci se zaměřili francouzští fyzikové Biot, Savart a Laplace a na obecnou teorii potenciálu anglický matematik Green. Otázku, jak zesílit magnetické účinky solenoidů, jednoduše vyřešili Arago a Gay-Lussac ve Francii a Sturgeon (1826) v Anglii; do dutiny solenoidu vložili železo, čímž nejen získali elektromagnet, ale i metodu, jak vyrábět permanentní magnety. Teprve po těchto objevech a zkušenostech byla plně pochopena stará pozorování námořníků — že po úderu blesku do lodi nebo do blízkosti lodi se železné předměty (přístroje) zmagnetizují, magnetky ztrácejí magnetismus apod., čili že jevy odkazované kdysi do říše bájí mají reálný fyzikální podklad.

Na nejzákladnější objev z oblasti vztahů mezi elektřinou a magnetismem však ještě museli evropští akademikové čekat do doby, než kovářův syn Faraday zanechá knihařského řemesla a stane se fyzikem. MICHAEL FARADAY (1791—1867) pocházel z chudé rodiny, která mu sice nemohla poskytnout ani celé elementární vzdělání, naučila ho však mimořádně svědomitému vztahu k práci a k životu. Od 13 let byl roznašečem novin a knih, poté knihařským učněm a tovaryšem, který v noci pilně čte to, co během dne svazuje a roznáší. V 19 letech se se starším bratrem složil na šilinkové vstupenky na přednášky profesora Tatuma a poté dostal od zákazníka darem vstupenky na přednášky Davyho. Vyjadřovat se o vědeckých otázkách se naučil při reprodukci látky svým kolegům, proletářským učňům. Knihařské umění uplatnil rozhodujícím způsobem jen jednou v životě — když obdivovanému Davymu dal krásně svázané přednášky, jež od něho slyšel. Je přijat do Královského institutu, z něhož udělali Young a Davy něco mnohem významnějšího než soukromý vzdělávací ústav pro veřejnost. V březnu 1813 přichází Faraday do ústavu, „aby čistil

láhve a zkumavky, případně dělal i něco lepšího“ — za 25 šilinků týdně. Poté provází jako sluha Davyho na jeho cestě po evropských univerzitách; jejich cestě věnuje pozornost i Napoleon. Po návratu do Anglie ve dne pracuje a v noci studuje vše, co se dosud v ústavě vytvořilo. Od r. 1820 má již také samostatné přednášky, proslavuje se svými objevy v chemii, je přijat do *Královské společnosti* (proti hlasuje jen Davy), skvěle přednáší, a když je konečně již členem 68 akademii věd, musí i Davy konstatovat, že jeho největším objevem byl právě Faraday. Mimo laboratoř žije Faraday prostým, až dětinským životem a jediným jeho majetkem je dům, který dostal od královny.

Faraday je velký originální myslitel, filozof experimentu, ale i samouk bez matematického vzdělání — díky čemuž je nezávislý na stávajících fyzikálních teoriích, které právě v elektrodynamice vedly vesměs na scestí. Faraday podstatně obohatil fyziku, chemii i techniku. Elektrodynamika mu děkuje za objev elektromagnetické indukce (1831), za zákony elektrolýzy, za objev diamagnetismu a magnetooptického Faradayova jevu, za zajištění závislosti kapacity kondenzátorů na dielektriku mezi deskami, za konstrukci Faradayovy klece i za princip transformátoru a elektromotoru. Ještě větší jsou jeho zásluhy v chemii a v metalurgii; pro dějiny vědy a psychologii vědecké práce jsou významné jeho zápisky o motivech, průběhu a výsledcích jeho četných výzkumů. Také v domácnostech našich předků dlouho sloužil při osvětlení petrolejovými lampami Faradayův skleněný cylindr.

Vedoucí úlohu ve Faradayově fyzikální tvorbě měly dvě ideje: idea o jednotě všech sil a jevů v přírodě a idea o existenci elektrického a magnetického pole jako reálné entity šířící se konečnou rychlostí v prostoru. První idea přinesla v r. 1833 pokusné důkazy, že účinky chemické, tepelné, mechanické, magnetické, světelné i fyziologické jsou stejné u elektřiny třecí, statické, galvanické, ..., čili že elektřina je jen jednoho druhu a že pozorované rozdíly jsou jen kvantitativními rozdíly zdrojů v napětí, proudu a trvání výbojů. Druhá idea (o existenci pole) vedla Faradaye k přesvědčení, že může-li elektrický

proud vyvolat magnetické účinky, pak také magnetickým polem by se měl nějak vyvolat elektrický proud. Provedení důkazu trvalo sice několik let, naplněných marným hledáním, ale nakonec r. 1831 při experimentování s protypem dnešního transformátoru zpozoroval Faraday proud v sekundární cívce při zapínání a vypínání proudu v primární cívce. Vzápětí Faraday a Henry studovali také vlastní indukci vodičů, až posléze r. 1833 v Rusku působící H. F. E. Lenz shrnul všechny případy elektromagnetické indukce do jediného obecného pravidla. Metoda generace proudu změnou magnetického toku procházejícího vodičem se stala základem jak generátorů elektrického proudu, tak transformátorů, ale i celé bezdrátové sdělovací techniky. Poté na několik let Faraday vážně onemocněl a v r. 1845 ještě objevil jev stáčení roviny lineárně polarizovaného světla v látkách umístěných v podélném magnetickém poli; tím poprvé v historii dokázal souvislost jevů světelných a magnetických. Tento tzv. Faradayův jev však došel uplatnění až v době mnohem pozdější a obdobně i jeho objev diamagnetismu zatím zapadl jako „předčasný“.

Je však třeba říci, že Faradayovy objevy byly chápány většinou badatelů jen jako objevy experimentální — a proto také vývoj teorie elektřiny šel v tomto období ještě stále vyšlapanou cestou, přičemž byla ignorována nebo přímo popírána Faradayova idea reálného, tj. materiálního elektrického a magnetického pole. Za základní problém pokládala tehdejší mechanistická fyzika formulaci co nejobecnějších zákonů interakce nábojů v matematické formě, a to zákonů opírajících se o koncepci okamžitého působení na dálku, pro niž ovšem mezilehlý prostor mezi interagujícími tělesy, čili Faradayovo pole, nehrálo žádnou roli. Na „Faradayovu víru“ se z velkých teoretiků obrátil teprve Maxwell. Předtím však byly ještě prozkoumány další účinky elektrického proudu.

Skutečnost, že elektrický proud má také účinky ponderomotorické (pohybové), čili že způsobuje pohyb proudovodičů a magnetů, dávala tušit, že bude možno sestavit elektromotor. Šlo „jen“ o nalezení jeho vhodné konstrukce a o vynález výkonného zdroje proudu; druhou podmínku splnily generátory na principu elektromagne-

tické indukce. Jakýmsi jednoduchým předchůdcem elektromotoru bylo Barlowovo kolečko (1820). Další vývoj elektromotorů a generátorů patří však spíše do dějin techniky.

Poměrně pozdě byly prozkoumány nejnápadnější a nejdéle známé účinky elektrického proudu, tj. účinky tepelné a s nimi související účinky světelné. Joule (1841) a nezávisle na něm petrohradský akademik Lenz (1842) odvodili zákon pro množství tepla vyvinuté při průchodu proudu vodičem. Přesnou formulaci zákona umožnily teprve znalosti zákonů elektrického proudu, objevené Ohmem (1826) a Kirchhoffem (1841). První podmínkou, bez níž by nebyla formulace těchto zákonů vůbec možná, byla jasná definice proudu (Ampère), napětí (Volta) a odporu (Ohm), stejně jako vybavení laboratoří základními přístroji (ampérmetry a voltmetry). Historie Ohmova zákona není však nijak jednoduchá: k řešení problému vztahu mezi napětím a elektrickým proudem ve vodiči inspirovala Ohma Fourierova teorie vedení tepla. Ohm sám vyšel z mylné mechanické analogie proudu, což se naštěstí na výsledku neprojeвило. Zastáncům fluidové teorie elektřiny se však ani tento výsledek nezdál přijatelný. Například náš profesor Petřina zeširoka vyvracel „omyly Němce Ohma“ a v Anglii ještě po Maxwellovi je zřízena r. 1876 zvláštní vědecká komise, aby posoudila Ohmovu formuli. Závislost odporu vodiče na délce a průřezu však zjistil již před Ohmem Davy; shrnout tyto Ohmovy výsledky i starší poznatky do jediné formule umožnilo teprve zavedení vhodných pojmů a jejich přiléhavé pojmenování. Je málo oblastí vědy, kde nevhodná starší terminologie způsobila tak velkou retardaci.

Všemi uvedenými objevy byly vyměřeny pouze obrysy budovy elektrodynamiky, v níž předmaxwellovská elektrodynamika představuje rozsáhlé přízemí, které postupně do posledního místa zaplnili svými objevy teoretikové (Neumann, Kelvin, Weber), objevitelé nových jevů a měrných metod (Kohlrausch, Wheatstone, Henry, Foucault aj.), konstruktéři elektrických měřicích přístrojů (Nobili, Deprez, Kohlrausch aj.) a vynálezci různých technických zařízení. Do poslední skupiny patří vynálezy telegrafu,

dále osvětlovací technika (žárovky a obloukovky), zdroje proudu (zejména alternátory, dynama a nové galvanické články), motory a transformátory, stejně jako různá zařízení pro potřeby elektrochemie. Bylo však zřejmé, že elektrodynamika není záležitostí jen ustálených proudů. Popis složitějších jevů však činil fyzikům zásadní potíže; ty úspěšně překonal a stavbu dalšího patra elektrodynamiky zahájil Maxwell, zakladatel klasické elektrodynamiky.

ROZVOJ KLASICKÉ ELEKTRODYNAMIKY

V první polovině 19. stol. zůstal Faraday-teoretik zcela nepochopen; teprve ve druhé polovině století dochází k dalšímu rozvoji jeho idejí a formálně matematického dovršení v pracích Maxwella, Hertze a Lorentze.

JAMES CLERK MAXWELL (1831—1879) pocházel ze staré šlechtické rodiny Clerků. Otec John, statkář, umělec, cestovatel — a podivín, přijal jméno Maxwell. Záhy ovdověl a staral se o chlapce sám: sjednal mu soukromé učitele, kterých se však James bál; nechával ho mezi nejchudšími dětmi, ale přitom ho výstředně oblékal, takže chlapec se jako terč vtipů dostal do izolace a zůstal i později samotářem; otec mu však také daroval dalekohled, který probudil Maxwellův zájem o exaktní vědy. Již na střední škole vynikal zejména ve starých jazycích a v historii. Osobně však byl tento revolucionář vědy velmi konzervativní. Zájem o historii ho vedl ke studiu nepublikovaných prací Cavendishových i rozsáhlých prací Faradayových. Odtud načerpal podněty ke své elektrodynamice. Byl postupně profesorem na několika anglických univerzitách; přednášoval zdarma o vědě i v dělnických kroužcích a pochvaloval si, že prostý lid má větší zájem o vědu než vysokoškolští studenti. Na druhé straně však Maxwell bojoval proti Darwinovi a nebyl dalek náboženského fanatismu; nicméně ve vědeckých otázkách stál pevně na pozicích materialismu. Na jeho kariéře je zajímavé to, že učitelská činnost byla pro něj něčím druhotným; nepřijal místo rektora na univerzitě v Saint-Andrews, ochotně však působil v Cambridge jako

profesor a zároveň jako ředitel Cavendishovy laboratoře. Tam byl přijat jako čtyřicetiletý poté, kdy tuto funkci odmítli W. Thomson a Helmholtz. Záhy vybudoval v Cambridge špičkové fyzikální pracoviště, první toho druhu, vydal práce Cavendishovy a v r. 1873 byla také hotova konečná podoba jeho dvojdílného traktátu o elektřině a magnetismu, který změnil elektrodynamiku.

Maxwell zobecnil Faradayovy ideje a ve formě čtyř rovnic ukázal neoddelitelnost a vzájemnou podmíněnost jevů elektrických a magnetických; postuloval existenci nového typu elektrického proudu (existuje nejen vodivý proud v kovech, ale také posuvný proud v dielektriku) a ze svých rovnic odvodil, že i v prázdném prostoru mohou existovat a šířit se elektromagnetické vlny. Jeho teorie umožnila vypočítat všechny podrobnosti tohoto šíření, včetně rychlosti, jež k údivu jeho i jiných fyziků je rovna rychlosti světla. Teoreticky předpovězené elektromagnetické vlny jsou příčné ke směru šíření; v okamžiku, kdy je ztotožnil se světlem, zmizela teoretická hranice mezi elektrodynamikou a optikou, přičemž optické jevy dostávají poprvé smysluplný a bezesporný teoretický podklad. Navíc oproti dosavadní optice jeho teorie dokonce ukazuje, že elektromagnetické vlnění přenáší energii, hybnost a moment hybnosti, podobně jako hmotné částice. To již naznačuje, že propast mezi fyzikou hmoty a fyzikou pole (éteru) není tak absolutní, jak se vždy myslelo. Od dob Newtonových a Galileiových nebylo většího převratu v dějinách fyzikální vědy.

Ani sám Maxwell si nevěděl rady s důsledky své teorie. Marně vymýšlel mechanické modely procesu šíření svých zatím hypotetických vln, neboť ve shodě s Helmholtzovým a Kelvinovým názorem věřil, že „cílem vědy je rozplynout se v mechanice“. Nakonec poznal, že fyzika se musí vzdát mechanických modelů a principu mechanické, konkrétní názornosti. Samozřejmě, že většina autorit přijala jeho výsledky negativně — už proto, že neměl čas podat jejich experimentální důkazy; zemřel totiž v 48 letech, a to právě v roce, kdy se narodil jeho kongeniální pokračovatel Einstein; podobnou následnost nacházíme např. i mezi Galileim a Newtonem.

I když anglické autority neuznaly výsledky tohoto skot-

ského badatele, na kontinentě se jevíly Maxwellovy závěry jako natolik znepokojující, že Německá akademie věd vypsalala r. 1879 cenu za experimentální ověření Maxwellovy teorie. Zvítězil mladý Helmholtzův asistent na berlínské univerzitě, hamburský rodák HEINRICH RUDOLF HERTZ; ač zemřel jako 37letý, stačil za osm let své vědecké dráhy dokázat, že šíření elektromagnetických vln vyhovuje zákonům optiky a Maxwellovy teorie, již dal dokonce matematicky vhodnější podobu. Předtím ovšem sám musel vynalézt zdroje a přijímače těchto vln i příslušnou měřicí techniku. Dokázal, že každý elektrický výboj je provázen těmito vlnami a demonstroval dokonce stojaté elektromagnetické vlny o délce zhruba 60 cm. Je zajímavé, že elektromagnetickým vlnám Hertz žádný praktický význam nepřipisoval. Opak však dokázali vzápětí objevitelé bezdrátové telegrafie Popov, Tesla a Marconi. Při četných opakováních a variantách Hertzových pokusů se rozšířila škála vlnových délek těchto vln a získaly se nové poznatky fyzikální, jež vyústily v aplikace nesmírného praktického významu. Tímto okamžikem také začínají dějiny radiotechniky a jejích četných odvětví.

Maxwellova teorie sice dokonale popisovala vlastnosti elektromagnetického pole, nikoli však elektromagnetické vlastnosti látek. Pojem elektrického náboje odsunula do pozadí a neskýtala ani možnost popsat vztahy mezi polem a strukturou látky. A právě v tomto směru doplnil Maxwellovu teorii velký holandský fyzik Lorentz ve své elektronové teorii, kterou vrcholí celá klasická elektrodynamika.

Na rozdíl od kontinuální teorie Maxwellovy respektuje Lorentz atomismus látky; mluvila pro něj Loschmidtova měření počtu molekul v látce, koncepce atomismu elektrického náboje, jejímž autorem je irský fyzik G. Stoney (1874), (ten také zavedl název elektron pro elementární elektrický náboj) a Helmholtzův názor, že elektrina je univerzální vlastnost každé látky. Toto pojetí potvrzovaly všechny zkušenosti chemické i zkušenosti s výboji v plynech. Formulovat matematickou teorii, která by respektovala všechny tyto skutečnosti, včetně statistických vlastností souborů molekul v látkách, nebylo však

jednoduché. Když se to Lorentzovi podařilo, zdálo se, že vývoj fyziky je dovršen a uzavřen, že fyzika je vědou, která již nemá před sebou principiálních problémů, a že vlastně nestojí za to se jí vůbec věnovat. Teorie disperze světla, teorie Zeemanova jevu (tj. rozštěpení spektrálních čar látek umístěných v silném magnetickém poli), odhalení vztahů mezi indexem lomu a polarizovatelností molekul látky a výklad Faradayova jevu, který vzdoroval teoretikům půl století, to jsou příklady úspěchů této geniální teorie; k dalším patřila teorie elektrické vodivosti látek.

Zakladatel elektronové teorie HENDRIK ANTOON LORENTZ (1853—1928) studoval na univerzitě v Leidenu, kde ve 22 letech obhájil disertační práci s takovým úspěchem, že již za tři roky na to byla pro něj zřízena nová katedra teoretické fyziky. Šlo o práci týkající se odrazu a lomu světla z hlediska Maxwellovy teorie, jež předznamenala jeho celoživotní zaměření. Na rozdíl od Maxwella však záhy dospěl k názoru, že k popisu elektrických, magnetických a optických jevů samotná koncepce pole nestačí, ale že je třeba přihlížet i k elektrickým vlastnostem látky, tvořené „atomy kladné a záporné elektřiny“ — tj. k elektronům. Triumfy nové koncepce, o nichž byla zmínka, nedaly na sebe dlouho čekat. V práci z r. 1892 je dán nový obsah Maxwellovým rovnicím, přičemž vektory elektrického posunutí a magnetické indukce mají mikroskopický, statistický význam. A k těmto Maxwellovým-Lorentzovým rovnicím přistupuje nový fundamentální vztah pro tzv. Lorentzovu sílu, které podléhá elektrický náboj v elektromagnetickém poli. Samotný tento vztah má četné významné aplikace — např. při výkladu Hallova jevu i při výpočtu pohybu částic, např. v urychlovačích. Lorentz však také odvodil vztahy, jež se staly základem speciální teorie relativity. Tento muž však dokončil velké práce i z oblasti hydrodynamiky, které přispěly k řešení životního problému jeho vlasti — vysušování pobřežních oblastí. Všiml si rovněž sociálních aspektů vědy a patřil k zakladatelům *Ligy národů pro mezinárodní spolupráci* a dalších společností majících ve štítu mírové poslání vědy. Byl rovněž předsedou solvayských konferencí vědců. Jeho cha-

rakter ilustruje např. i to, že se vzdal katedry fyziky ve prospěch P. Ehrenfesta, který po příchodu z Petrohradu (1912) nenašel nikde jinde v Evropě místo.

Lorentzovou elektronovou teorií a statistickou interpretací makroskopických veličin vrcholí klasická elektrodynamika; Lorentzovy transformace spojující navzájem vztažné soustavy, vůči nimž se nemění tvar Maxwellových-Lorentzových rovnic, jsou již předzvěstí speciální teorie relativity. Také optickým konstantám látek dává Lorentzova teorie hlubší význam, takže elektrodynamika a optika se stávají jedinou, neoddělitelnou vědou. V této době však již má optika za sebou tisíciletý zajímavý vývoj, během něhož se nahromadila řada poznatků, na nichž nemusela nová teorie nic měnit; přešly proto i do klasické, tj. předkvantové optiky.

VZNIK A VÝVOJ KLASICKÉ OPTIKY

I když světlo patří k nejběžnějším jevům v přírodě, přesto se o jeho vlastnostech vědělo až do začátku 17. stol. jen málo a o jeho podstatě se před Maxwellem nevědělo vůbec nic. Klasické období teoretické optiky můžeme datovat až od r. 1873, kdy je známa Maxwellova elektromagnetická teorie světla, avšak klasické období experimentální optiky již od zveřejnění zákona lomu světla r. 1637. Kolem tohoto data se kupí další významné objevy a vynálezy: Snell podává experimentální důkaz zákona lomu světla, dále byly vynalezeny mikroskopy a několik typů dalekohledů a konečně vešly ve známost optické objevy Keplerovy.

Přitom však již před r. 1637 existovaly poznatky, které pocházejí z dob mnohem starších a které mají trvalý význam a patří proto také do zlatého fondu klasické experimentální optiky. Jsou to zejména zákony geometrické optiky týkající se zrcadel, tvořící základ katoptriky, a zákon přímočarého šíření světla i s důsledky z těchto zákonů vyplývající. V této kapitole si proto musíme všimnout krátce i těchto starších neměnných poznatků z „předklasického období“ a dotknout se různých provizorních teorií s nimi souvisejících.

Členění vývoje optiky je tedy vcelku jednoduché.

1. Od dob alexandrijského *Múseionu* do počátku 17. stol. existovala z celé optiky téměř jen katoptrika, tj. nauka o zobrazení zrcadly, a jen málo se vědělo z dioptriky, tj. z nauky o zobrazení čočkami. Ostatně nauka o čočkách ani nemohla být vědecky zpracována, neboť dosud nebyl znám zákon lomu světla. Mohli bychom tedy o této epoše mluvit jako o „staré optice“.

2. Epoque „předklasická“ začíná kolem r. 1600, kdy se začíná rozvíjet dioptrika a kdy se objevují dvě mechanické teorie procesu šíření světla — teorie emanační a konkurenční teorie undulační. Do prvních desetiletí 19. stol. převládá teorie prvá (Newtonova), poté se zásluhou Youngovou a Fresnelovou situace obrací.

3. Klasická optika se rozvíjí od dob Maxwellových dodnes.

4. Kvantová optika začíná Planckovým objevem světelného kvanta (1900); po vynálezu laseru (1960) se rozvíjí obzvláště intenzivně po stránce experimentální i teoretické.

STARÁ OPTIKA

Od nepaměti je známo, že se světlo šíří přímočaře. Alexandrijští matematici dokonce ztotožnili pojem přímky s paprskem, což ostatně v terminologii přežívá dodnes, když mluvíme v geometrii o „paprscích“, o svazcích „paprsků“ apod. Optika kdysi nebyla částí fyziky, ale geometrie! Tato okolnost však sehrála určitou pozitivní roli, neboť geometrie vždy zůstala složkou *kvadrivia* a byla tedy předmětem studia jak ve starověku, tak ve středověku na artistických fakultách. Každý bakalář tedy slyšel také něco z optiky.

Eukleidés ve 3. stol. př. n. l. formuloval zákon odrazu světla a poznal rovněž, že úhel odrazu nezávisí na barvě, čili že při odrazu nedochází k disperzi světla.

Katoptrika Heróna z Alexandrie z r. 125 př. n. l. je zase pozoruhodná tím, že shrnuje oba zákony (tj. zákon přímočarého šíření světla a zákon odrazu) v princip nejkratší dráhy paprsku.

Lom světla byl pozorován rovněž velmi dávno. Platón v *Ústavě* např. uvádí, že nestejná délka hole ve vodě a ve vzduchu je příkladem dokazujícím klamnost smyslového poznání. Ze spisů Platónových vůbec čišší pohrdání empirií, spojené s nelibostí nad snahami „snižovat matematiku z výše čistých idejí“ na problémy empirické povahy. Tato teze byla pro vědu téměř osudná; řídili se jí Platonovi četní stoupcí, kteří tak zbavili fyziku i optiku dvou nejdůležitějších metod — metody matematické i experimentální.

K čestným výjimkám, které tento názor nesdílely, patří Klaudios Ptolemaios; kolem r. 140 sestrojil dokonce přístroj na měření úhlů dopadu a lomu na rozhraní skla, vody a vzduchu. Mnohem důležitější než jeho výsledky byla však jeho metoda. Právě v tomto směru předešel Galileiho o 1500 let a byl tedy jedním z prvních „skutečných fyziků“ v dějinách. Ač dobře znal z astronomie trigonometrii, přece jeho výsledky v optice byly nevalné. Naměřené hodnoty úhlů dopadu a lomu tabeloval — a je tedy z prvních badatelů ve fyzice, kteří vyjádřili funkční vztah v tabelární formě. Tím ovšem kumulace superlativů končí: refrakční tabulky poněkud upravil, aby se úhly lépe pamatovaly, a to podle kvadratické interpolační formule. Pouze pro malé úhly platí odtud vyčtená přímá uměrnost mezi úhlem dopadu a úhlem lomu, zvaná Ptolemaiův zákon. Je zarážející, že tyto výsledky byly tradovány půldruhého tisíciletí, tj. až do doby Keplerovy, který se ještě kolem r. 1610 marně snažil odvodit z nich zákon lomu světla. Přes usilovnou píli se jeho výsledky musely minout cíle, neboť převzal údaje Ptolemaiovy a sám potřebná měření neprovedl. Sama tato skutečnost charakterizuje celkovou atmosféru v tehdejší vědeckém světě, jež zůstala tolik věků téměř bez pohybu. Galileiho program experimentálně matematického výzkumu fyzických jevů tedy skutečně znamená i v optice zlom. Na odhalení zákona lomu však ani Galilei nestačil — neznal prý dobře trigonometrii.

Pojem zobrazení vytvořil Eukleidés a zkoumal je na případu zrcadel. Rovinná zrcadla byla známa odedávna; Římané měli zrcadla skleněná i kovová, Archimédes snad měl i dutá zrcadla kulová a znal jejich zápalný

účinek. Plinius věděl, že skleněná koule naplněná vodou vytváří zvětšený obraz předmětu, a Seneca napsal, že paprsky se po odraze na dutém zrcadle sbíhají v ohnisku. Z různých teoretických názorů na podstatu světla, většinou dosti fantastických, nemohla převzít klasická fyzika nic ani z antiky, ani ze středověku.

Ve středověku se však zvýšil zájem vzdělanců o optické problémy; vzniklo několik velkých traktátů s touto tematikou a rozšířily se zkušenosti z optiky. Na rozhraní 1. a 2. tisíciletí dosáhli pozoruhodných úspěchů Arabové. Mezi nimi vynikl Alhazen; ten jako první překonal Řeky v optice. Odmítl představu zrakových paprsků, která přežívala až do jeho věku, stejně jako učení Aristotelovo, a napsal samostatně pojatou nauku o světle. Říká v ní, že z každého bodu viděného tělesa vycházejí světelné paprsky, které vnikají zornicí do oka a v oční čočce vyvolávají obraz. V souvislosti s problematikou vidění však také jako první popsal elementárně anatomii oka, vysvětlil funkci temné komory a objasnil míchání barev. Znásobil geometrické vědomosti z kaptotriky a objasnil některé jevy z atmosférické optiky; správně např. vysvětlil, proč se jeví Slunce a Měsíc u obzoru větší než u zenitu, vyvrátil Ptolemaiův zákon lomu (aniž však jej sám přesně formuloval) a vyslovil předpoklad o konečné rychlosti šíření světla.

V západní Evropě se objevují koncem 13. stol. brýle, k jejichž vynálezům se někdy počítá vedle Florentana S. Armantiho také R. Bacon, který jako první správně pochopil funkci oční čočky. Zdá se, že znal i dalekohled; alespoň o jeho možnosti píše velmi zřetelně. Vědomosti z optiky i s celým traktátem Alhazenovým a s refrakčními tabulkami Ptolemaiovými shrnuje Vitelliiova desetidílná *Optika* (1270) — o tom jsme se již zmínili.

Po delší stagnaci se nositeli pokroku stali tři renesanční badatelé: Leonardo da Vinci podal teorii vidění na základě analogie s temnou komorou, jakož i výklad prostorového vidění. Maurolycus studoval otvorovou (sférickou) vadu při lomu paprsku na skleněné kouli, rovnoběžné posunutí paprsků při jejich průchodu skleněnou planparalelní deskou a správně vyložil funkci oční čočky a brýlí. Připustit, že se na sítnici vytváří převrá-

cený obraz, se mu však zdálo příliš smělé. Konečně GIAMBATTISTA DELLA PORTA z Neapole vyložil správně význam ohnisek zrcadel i čoček, obrazů skutečných a zdánlivých, přímých i převrácených. Temnou komoru zdokonalil tím, že do jejího otvoru vložil čočku. Dovedl promítat na stínítko obrazy pomocí čoček a učinil několik dalších optických vynálezů. Dalekohled a drobnohled však ještě neznal. Tento vynález je již prvním signálem nové epochy, předklasické optiky.

PŘEDKLASICKÁ OPTIKA

Již v tomto období, a nikoli snad až po Maxwellových teoriích, byly položeny základy experimentální a technické optiky.

Je téměř jisté, že dalekohled i drobnohled sestrojili Holanďané — mikroskop Z. Jansen r. 1590 a dalekohled H. Lippershey kolem r. 1608. Ač se vládní místa snažila druhý vynález utajit, přesto se o něm dověděl již následujícího roku Galilei; dalekohled, a to dokonalejší, znovu sám sestrojil a použil jej poprvé také k pozorování astronomickým. Objev čtyř měsíců Jupiterových, fází Venušiných, skvrn na Slunci a hor na Měsíci v první polovině 17. stol. měl mimořádný význam a sehrál v poznání „megasvěta“ podobnou roli jako měly pro poznání mikrosvěta mikrobiologické objevy Leeuwenhoekovy ve druhé polovině 17. stol.

Po těchto objevech, jež znásobily lidské vědění a přispěly ke změně celého světového názoru, bylo jistě znepokojující, že nebyl dosud znám zákon lomu světla, čili zákon, který je základním fyzikálním faktem, na němž je založena celá dioptrika a teorie optických přístrojů. Na formulaci zákona lomu ztroskotal dokonce Kepler, který však obohatil optiku obecnou formulací zákona obrácení světelného paprsku (po kolmém dopadu na zrcadlo se světlo u jakékoli optické soustavy vrací po téže trajektorii zpět). Navíc Kepler pracoval teorií optických přístrojů, optiku vidění a našel podmínky pro totální odraz světla (1611); téhož roku také navrhl nový astronomický dalekohled se spojným ob-

jektivem. Dosavadní dalekohledy měly rozptylný okulár a velmi omezenou oblast použití. Keplerem navržený dalekohled však sestrojil až jeho rival Scheiner a pozoroval jím skvrny na Slunci, přičemž dokázal rotaci Slunce, kterou mohl pohodlně pozorovat poté, když dalekohled upravil k projekci na stěnu. Staré dalekohledy však měly velkou vadu: kontury obrazů byly zbarveny duhovými barvami a navíc byly neostré. Vystala tedy principiální otázka — jak odstranit, nebo alespoň snížit optické vady přístrojů; dodnes se zabývá řešením těchto problémů řada matematiků v optickém průmyslu.

Tehdejší badatelé se však rozdělili na ty, kteří chtěli barevnou vadu odstranit úplně, a na ty, kteří se spokojili kompromisem, tj. snížením vady. Že bude nějaké kompromisní řešení možné, naznačovala skutečnost, že s rostoucí ohniskovou vzdáleností objektivu se barevná vada snižuje. Začaly se proto stavět dalekohledy nesmírně velkých rozměrů. Příčinou potíží byla disperze světla, kterou odhalil profesor lékařství na Karlově univerzitě, M. Marci (1648). Ve svém spise *Thaumantias*, shrnujícím jeho názory a vědomosti o duze a příbuzných otázkách, formuluje také svůj objev disperze světla a říká, že úhel lomu světla závisí na barvě světla, přičemž červený paprsek se láme nejméně, fialový nejvíce. Jeho spisy došly jen malé publicity; dnes se však již ve světě uznává, že Marci jako první jasně vyslovil názor, že světlo je vlnění. Newton za dvacet let nato začal s disperzí znovu tam, kde Marci skončil. Protože při odrazu světla k disperzi nedochází, nebudou mít zrcadlové dalekohledy barevnou vadu; to pochopil J. Gregory v Anglii a navrhl r. 1663 konstrukci zrcadlového dalekohledu. Ještě předtím, než byl takový dalekohled postaven, došlo k dávno očekávanému objevu zákona lomu světla, kolem něhož se vzápětí rozpoutala bouře polemik v celé učené Evropě; podnět k ní dal Descartes.

R. Descartes po svých cestách světem se usadil v Leidenu, kde r. 1637 vydal spis *Dioptrice*, obsahující nejen přesnou formulaci, ale také teoretické zdůvodnění zákona lomu světla. Místo vděku se však dočkal od vědeckých kolegů pravého opaku: Huygens prý u předčasně zemřelého Snella viděl kolem r. 1621 zákon lomu

vyjádřen pomocí funkcí kosekans. Na zakladatele dioptriky (Descarta) se tedy začalo pohlížet jako na plagiátora. W. Snell ovšem již promluvit nemohl, neboť byl 11 let mrtev; zákon lomu pravděpodobně odvodil experimentálně.

Ještě větší nevoli vzbudila teoretická interpretace refrakčního zákona. Descartes totiž při svém odvození vyšel z analogie mezi pohybem částice a světlem: světelná částice při průchodu rozhraním je jakoby jakousi blankou zbrzděna v kolmém směru k rozhraní, takže se změní kolmá složka její hybnosti, nikoli však složka tečná. A odtud již plyne zákon lomu. K této ideji se v podstatě přiklonil později i Newton. Zákon se stal nepopíratelným experimentálním faktem. Ozvali se však odpůrci zavrhuující analogii mezi světlem a mechanickou částicí. Nevěděli sice dlouho, jak by sami odvodili Descartem jednoduše odvozený fakt, ale za nějaký čas se přece jen našlo řešení, a to dokonce dvojí: Huygens vyšel ze svého principu a z vlnového pojetí světla, Fermat zase zobecnil Herónův poznatek nejúspěšnější dráhy světelného paprsku v princip, který dnes nese jeho jméno, a pomocí svého variačního počtu odvodil odtud skutečnosti ještě daleko obecnější než Descartes. Od té doby až téměř do Maxwella se táhlo optikou trojí pojetí světla: geometrické, vlnové a korpuskulární. Tehdejšími myslitelům se zdálo, že platné může být jen jedno z nich (že tomu tak není, ukázala až kvantová teorie 20. stol.) a že za „definitivní“ teorii může být prohlášeno jen pojetí podepřené dalšími pokusy. Do celé záležitosti zasáhl také Newton, který měl ještě další důvody ke zkoumání otázky o podstatě světla.

Jako astronom dospěl k přesvědčení, že je nutné zdokonalit dalekohled. Descartes tvrdil, že nejasnost obrazu je zaviněna sférickým tvarem čoček a vypočetl tvar asférických ploch, při jejichž použití by měla být u čoček odstraněna „sférická vada“. Když Newton vybrousil čočky podle tohoto návodu, shledal, že vada odstraněna není; pojal proto podezření, že příčina tkví v samé podstatě světla, a začal r. 1666 s pokusy se světlem; ještě téhož roku objevil znovu disperzi světla. Rozklad bílého světla po průchodu hranolem ukázal, že bílé světlo je složené.

Newton rovněž provedl syntézu spektrálních barev — jednak pomocí rotující výseče, jejíž sektory jsou zbarveny sedmi spektrálními barvami, které ve spektru rozlišoval, jednak čočkou, která znovu spojila spektrální barvy-světla do jednoho bodu. Opět dostal barvu bílou. Tím ovšem byla vyvrácena aristotelská představa, podle níž je bílé světlo jednoduché a barevné světlo je směsí světla a tmy. Je zajímavé, že ještě Goethe proti tomuto Newtonovu názoru usilovně bojoval. Na rozdíl od Descarta, uznávajícího tři základní barvy, Newton rozlišuje sedm základních barev — ač mohl vidět, že barvy přecházejí spojitě jedna v druhou a že jejich počet je v podstatě nekonečný. Těžko je dnes rozhodnout, zda byl Newton barvoslepý, jak se někdy uvádí. Jisté je, že dospěl k závěru, že u čočkových dalekohledů je barevná vada neodstranitelná. Sestrojil proto dva exempláře dalekohledu zrcadlového; šlo o přístroj vlastní konstrukce, podobný návrhu Gregoryho. Nejobtížnější přitom bylo zhotovení vhodné slitiny pro zrcadlo objektivu; po mnoha pokusech, při nichž využil svých znalostí alchymických, byl nakonec úspěšný. Oba stroje daroval *Královské společnosti*, do níž byl za to přijat.

Za jeho života byly učiněny ještě další objevy v optice. O. Römer změřil rychlost světla pomocí periodických zatmění Jupiterova měsíce Io (1675), F. M. Grimaldi objevil ohyb čili difrakci světla na úzkém otvoru a na břítu, stejně jako interferenci světla při průchodu dvěma otvory ve stínítku i dvěma štěrbinami, a tím prokázal, že intenzita světla vycházejícího ze dvou zdrojů se nejen zesiluje, ale někdy také zeslabuje. Jevy si vysvětlil tím, že světlo je vlnění, ale propracovanější teorii nepodal. V r. 1665 sice vyšlo jeho dílo *Fyzika světla, barev a duhy*, to však již byl dva roky mrtev. Uvádí se někdy, že měl dokonce první optickou mřížku; na kovovou desku opatřenou jemnými vrypy, kterou náhodou dostal, nechal dopadat sluneční světlo a na stěně pozoroval ohybový obrazec. Nezávisle na něm pozoroval ohyb světla v r. 1674 italský matematik francouzského původu C. Deschales. Velké překvapení způsobil další objev — zjištění, že v krystalech, zejména v islandském vápenci, se světlo láme nejen podle zákona lomu, ale že se

paprsek rozděluje, přičemž jeden z paprsků se tímto zákonem neřídí (tzv. paprsek mimořádný). Objev učinil dánský fyzik E. Bartholinus r. 1657. Galileiho žák B. Cavalieri zase formuloval čočkovou zobrazovací rovnici (1647) a Newton další rovnici, platnou pro čočky i zrcadla. Ch. Scheiner studiem očí zabitých telat zjistil, že na sítnici se vytváří převrácený, skutečný a zmenšený obraz předmětů. Nahromadilo se tedy dosti faktů, pro jejichž popis sice byly formulovány různé vzorce a pravidla ad hoc, ale celkový obraz optiky byl nejednotný, a proto neuspokojivý.

Podívejme se tedy, jak vypadala situace na této „teoretické frontě“. První boje nastaly již kolem výkladu zákona lomu světla. Descartova *Dioptrika* ještě nebyla vytištěna a již se proti ní ozvaly námitky. Descartes totiž půjčil některé její části Mersennovi a ten dalším zájemcům. Lékař francouzského krále C. de la Chambre tehdy napsal knihu *Světlo*, stal se členem Akademie věd a zakládal si na tom, že odhalil příštím generacím tajemství světla. Ač sám nedovedl odvodit zákon lomu, Descartův postup zamítl a prohlásil, že světlo je „substancí s přemírou bytnosti“, stojící mezi hmotou a duchem, tj. substancí, na níž je mechanická analogie nepřipustná, neboť pro ni neplatí ani tak základní mechanický postulát jako je zákon neprostupnosti hmot. Herónovu větu o minimu optických trajektorií povýšil na univerzálně platný „ekonomický princip“ a sám také vymyslel jeho teleologickou interpretaci. Světlo prý se při šíření řídí nikoli podle řádu, který váže příčiny a důsledky, a to naprosto nutně, bez jakékoli možnosti volby s ohledem na možné výsledky a konec, ale tak, jakoby příroda mohla váhat, jakou má volit pro paprsek trajektorii — a teprve nakonec, jako by po uvážení všech možností a konce, volí trajektorii časově nejekonomičtější, tj. časově nejkratší. De la Chambreovo stanovisko je tedy finalistické (příroda dbá o to, jak vše nakonec dopadne) a teleologické (neboť tak postupuje za jistým účelem, a to takovým, aby trajektorie byla časově nejúspornější). Stanovisko opačné je kauzálně deterministické, neboť nikoli konec, ale pouze příčiny (causae) určují čili determinují pohyb i šíření světla. Teleologický názor je ovšem ve

fyzice nepřipustný; není ničím jiným, než jakýmsi antropomorfismem přeneseným do anorganické přírody.

Mnohým se však toto pojetí líbilo, zejména francouzskému právníku Fermatovi. Descartova jednoduchost odvození na něho neučinila žádný dojem; zato nadšeně uvítal nemechanickou, teleologickou koncepci Descartova odpůrce. Fermat se tehdy ze záliby zabýval matematikou; pomocí variačního počtu se mu nakonec podařilo odvodit Fermatův princip, o němž se zdálo, že je matematickým vyjádřením onoho teleologického pojetí. Fermat triumfoval. Na jeho straně stál Leibniz a další učenci, např. i Komenský. Skutečně tento jediný princip stačí po stránce matematické k výkladu celé geometrické optiky, zejména stačí i k vysvětlení šíření světla v prostředích se spojitou změnou indexu lomu; jeho filozofická interpretace však přesto byla chybná.

Descartes si uvědomil řadu dalších možných námitek proti svému postupu; netrval proto na svém modelu a prohlásil, že světlo nepovažuje za skutečné přemísťování korpuskulí a že svůj původní postup považuje za oprávněný jen proto, že se empiricky osvědčil. Prohlásil dále, že světlo považuje za náraz, tlak, který se šíří od jedné kulové éterové částice ke druhé. Směr šíření tohoto tlaku na rozhraní dvou prostředí je dán zákonem lomu. Na rozdíl třeba od Galileiho věřil, že rychlost světla je nekonečně velká. Fermatův princip se sice skvěle uplatňuje v oblasti geometrické optiky, avšak k jiným jevům, např. k interferenci a ohybu světla, k polarizaci světla a barvám, nemá co říci. Postavení univerzálního principu optiky tedy stejně nemohl dosáhnout; a tak po Descartově smrti začalo převládat Descartovo mínění o tom, že světlo je tlak (zejména v Anglii).

A v této situaci se objevil Newton. Protože charakteristickou vlastností světla je přímočaré šíření, kdežto pro zvuk je charakteristický ohyb (slyšíme, ale nevidíme, co se děje za rohem), odmítl Newton analogii světla a zvuku; nepřiklonil se však ke spekulacím Fermatovým, ale ke koncepci korpuskulární. Učinil to navzdory tomu, že uznával, že empiricky zjištěné nejjednodušší vlastnosti procesu šíření světla neumožňují jednoznačně řešit problém podstaty světla. Proto také po-

nechával ve své teorii prostor pro nejúznější další hlediska — na rozdíl od svých úzkoprsých následovníků. Z hlediska korpuskulární čili emanační teorie světla je přímočaré šíření světla pouhým důsledkem principu setrvačnosti; odraz lze chápat úplně stejně jako v mechanice, lom je důsledkem změny přitažlivosti druhým prostředím a rozmanitost barev je dána nestejnou hmotností světelných korpuskulí. Pro korpuskulární teorii byla v 18. stol. příznivá také ta okolnost, že v jejím rámci bylo možno objasnit polarizaci světla tím, že světelný paprsek je tvořen proudem částic v prostoru pevně orientovaných. Jsou-li tyto částice podlouhlé, pak musí mít světlo odlišné vlastnosti ve směru největšího a nejmenšího rozměru částic. Druhá příznivá okolnost byla ta, že Newton tuto teorii propracoval daleko podrobněji než Huygens teorii vlnovou. Věnoval dokonce pozornost i těm jevům, jež považoval za důkaz periodicity světla a vypočítal jejich periodu. Huygens naproti tomu pojem vlnové délky, nejvlastnější vlnové teorii, vůbec nezavádí. Pomocí pojmu „nálady světelné částice“ (dnes bychom řekli pravděpodobnosti) a pojmu zhušťování éteru působícího částečný odraz a částečný průchod světla na rozhraní, vysvětlil Newton dokonce interferenci světla. Opakoval pokusy Grimaldiho s ohybem světla, ale žádné další závěry z nich nevyvodil. Newtonova teorie byla tedy propracovanější než Huygensova a hodila se na většinu jevů tehdy známých; proto vládla v optice až do doby, než se našly jevy, k jejichž výkladu nestačila. Záhadné bylo ovšem to, že to byly právě ty jevy, které hravě vyložila zdánlivě poražená teorie vlnová.

Od dob Newtonových vládla po celé 18. stol. v optice teorie korpuskulární. Ale ani teorie vlnová nebyla nikdy umlčena úplně. Po Huygensovi byl jejím nejpřednějším hlasatelem Euler v 18. stol. a Young s Fresnelem v 19. stol.

Existovaly však také oblasti optiky, kterých se boje mezi oběma teoriemi vůbec nedotkly. Patřila k nim především geometrická optika, která prostě postulovala Fermatův princip a zajímala se jen o trajektorii světelných paprsků a o zobrazení soustavami čoček a zrcadel, nikoli o tzv. fyzikální optiku, tj. o ty oblasti optiky, u

nichž je třeba přihlížet k podstatě světla. Mimo teoretické boje zůstávala také fotometrie založená JOHANNEM HEINRICHEM LAMBERTEM a problematika rychlosti šíření světla. Zásahu o rozvoj geometrické optiky a o dokončení zobrazovacích optických přístrojů má Euler, který ve své třísvazkové *Dioptrice* z let 1769 až 1771 vypočítal parametry dalekohledů a drobnohledů téměř achromatických. Dollond podnítil snahy hledat takové kombinace čoček, aby se optické vady vyloučily jejich vzájemnou kompenzací. Nebylo tedy napříště třeba stavět monstrózní dalekohledy. Další pokrok optiky však již těsně souvisí s teorií undulační.

Zásadní boj korpuskulární teorii světla vypověděl T. Young na přednášce v Londýně 12. listopadu 1801. Citoval nejprve řadu Newtonových výroků příznivých vlnové teorii, navázal na ohybové jevy Grimaldiho a na místě převedl několik interferenčních pokusů. Poukázal rovněž na jevy, které se nepodařilo vysvětlit Huygensovi při dvojlomu v krystalech, i na Eulerův názor, že světlo je vlnění éteru a že éter sám je totožný s elektřinou. Aby objasnil polarizaci světla, která se zdála být hlavním argumentem ve prospěch teorie Newtonovy a v neprospěch teorie vlnové, vyslovil předpoklad, že světlo je vlnění příčné, což ostatně tušil a ve své *Mikrografii* r. 1665 vyslovil již Hooke. Bylo zřejmé, že korpuskulární teorie na problém interference nestačí, zatímco pro Younga, opírajícího se o princip superpozice jím nalezený, je problémem triviálním. Newtonova teorie byla ohrožena, ale její zdánlivou oporou byly jevy polarizace světla. Tento jev se markantně projevuje při dvojlomu světla v krystalech. Bylo však znepokojující, že ještě na počátku 19. stol. nepokročily znalosti o dvojlomu a polarizaci dále, než kam je přivedl Huygens v 17. stol. Proto pařížská Akademie vypsala r. 1808 cenu za vyřešení tohoto problému. Tím byl podněcen ke studiu dvojlomu na islandském vápenci také penzionovaný napoleonský důstojník LOUIS ETIENN MALUS. Přitom objevil náhodou i polarizaci světla odrazem, kterou popsal Brewster. Vzápětí objevil ještě s J. Biotem polarizaci světla lomem.

Biot vykládal všechny polarizační jevy Newtonovou teorií emanační, Malus je rovněž považoval za důsledek

korpuskulárně chápané polarizace světla. S novými jevy však měli záhy potíže stoupenci obou teorií. Stoupencům emanační teorie se nehodilo, že paprsky polarizované ve stejných rovinách interferují — a stoupence teorie vlnové nutila sama existence polarizace k absurdnímu předpokladu, že světlo je vlnění příčné. Příčné vlny jsou totiž možné jen v pevných látkách, tzn., že nad veškeré pomyšlení řídký éter by měl být zároveň látkou pevnou. Předpoklad o příčnosti světelného vlnění sděluje Young v r. 1817 dopisem Aragovi i novému představiteli vlnové teorie AUGUSTINOVÍ JEANU FRESNELOVI.

Tento mladý génus — vzděláním a povoláním silniční inženýr, rázem úspěšně vyřešil všechny optické problémy tehdejší doby z hlediska vlnové teorie. Teorie vlnění byla před ním ještě na nízké úrovni a musel ji proto sám vypracovat. Dále bojoval proti největším vědeckým autoritám své doby; přitom pracoval mimo významná centra vědy, bez pramenů literárních a bez pomůcek experimentálních. A přesto jeho práce z let 1816 až 1819 vedly k závěrům platným dodnes. Mylná byla sice jeho představa o elastickém světelném éteru, avšak ve výsledných vzorcích se nikde neprojevila. Newtonova optika tím byla překonána a čekalo se jen na rozhodující pokus, který by přinesl definitivní rozhodnutí.

Ještě než se tak stalo, přichází JOSEPH VON FRAUNHOFER r. 1821 s difrakční mřížkou, pro niž vytvořil F. M. Schwerd [1835] teorii na základě vlnové hypotézy. Je zajímavé, že J. Babinet již tehdy [1829] navrhoval, aby byla jednotka délky definována násobkem vlnové délky světla určité barvy. Rozhodující pokus mezi oběma teoriemi provedl r. 1850 Foucault; zjistil, že rychlost světla ve vodě je menší než ve vzduchu, což je ve shodě s teorií vlnovou, která říká, že světlo se šíří rychleji v prostředích opticky řidších. Od toho okamžiku již nenašla emanační teorie jediného zastávce. Vlnová teorie podnítila optické výzkumy, urychlila rozvoj optiky a dokonce i mechaniky vlnění, teorie pružnosti a akustiky, kde platí mnohé vztahy analogické Fresnelově teorii světla.

Na základě vlnové teorie optického zobrazení byly zdokonaleny optické přístroje, sestaveny nové přístroje

využívající interference, ohybu a polarizace světla a Gehrcke získal dokonce stojaté světelné vlny. Byl rovněž proveden důkaz, že celá geometrická optika je jen zvláštním případem vlnové optiky. Také zdánlivá teleologie procesu šíření světla byla poměrně jednoduše vysvětlena: světlo by se šířilo ve všech směrech podle Huygensova principu; to, že se tak neděje, není dáno teleologií v přírodě, ale tím, že se světelné vlnění ve všech směrech ruší — vyjma směru daného Fermatovým principem.

Vlnová teorie světla se stala jedinečným nástrojem teoretické i technické optiky; měla však tu vadu, že předpokládala existenci éteru nadaného mechanickými vlastnostmi. Po ní následující teorie Maxwellova odstranila atribut mechanických vlastností a teorie relativity odstranila samotný éter.

OPTIKA SPLÝVÁ S ELEKTRODYNAMIKOU

Jedním z hlavních výsledků Maxwellovy teorie elektromagnetického pole však bylo poznání, že světlo není nic jiného než elektromagnetické vlnění v rozsahu jediné oktávy, tj. záření o vlnových délkách 0,4 až 0,8 mikrometru. Toto poznání elektromagnetické podstaty světla čili teoretické sjednocení popisu a výkladu optických procesů s elektromagnetickými a přiřazení světla k elektromagnetickému poli na začátku sedmdesátých let 19. stol. patří k největším objevům ve fyzice vůbec; jím začíná nové období optiky. Optika v tomto období se však vyvíjí nejen ve znamení tohoto poznání; k dalším dvěma nosným problémům optiky patří spektrální analýza a problém éteru a konečně se řeší i řada problémů, jež se jevily v té době jako problémy dílčí.

Maxwellovo poznání elektromagnetické podstaty světla se zprvu opíralo jen o to, že rychlost šíření jeho hypotetických vln byla právě rovna rychlosti světla. Záhy však z teorie vyplynuly také ostatní vlnové vlastnosti světla, zejména to, že je vlněním příčným ke směru šíření a že „nese“ energii, hybnost a moment hybnosti. Teorii dále propracoval H. Hertz, který rovněž experimentálně dokázal, že elektromagnetické vlny jsou reálné a

šíří se podle stejných zákonů jako světlo. Hlubší zpracování teorie je spojeno se jmény fyziků anglických (J. Poyntinga), ruských (A. G. Stoletova, N. A. Umova, P. N. Lebeděva), německých (Boltzmann, P. Drudeho) a francouzských (matematik H. Poincaré). Pozoruhodné jsou také práce badatelů českých: mezi prvními fyziky, kteří přijali Maxwellovu teorii světla, byl i první profesor teoretické fyziky a astronomie na české univerzitě v Praze AUGUST SEYDLER a mezi první práce o elektromagnetické teorii disperze patří práce jeho nástupce FRANTIŠKA KOLÁČKA. Na profesora pražské techniky VÁCLAVA KARLA ZENGERA učinila elektromagnetická teorie dojem tak hluboký, že se pokusil dokonce i gravitaci redukovat na interakci elektromagnetickou a vytvořit „elektromagnetickou soustavu světovou“; šlo ovšem o omyl tohoto fyzika, který si získal trvalé zásluhy v experimentální elektrodynamice. Maxwellova teorie udává také vztahy mezi optickými a elektromagnetickými parametry látek, např. mezi rychlostí světla, indexem lomu, permeabilitou a permitivitou, jakož i závislost uvedených veličin na frekvenci záření; příslušnou teorii rozvinuli Lorentz, Larmor, Koláček a další. Teoretická optika splývá s elektrodynamikou a sdílí její další osudy.

Osudným problémem obou byla ve druhé polovině 19. stol. problematika světelného, resp. elektromagnetického éteru. Šlo vlastně o velký pseudoprobém zbývající klasické fyzice jako pochybné dědictví po mechanickém obrazu světa; jeho řešení vedlo ke vzniku speciální teorie relativity.

Do historie kvantové fyziky přesuneme problematiku spektroskopie 19. stol., a to proto, že právě spektroskopie atomů vedla ke vzniku této teorie.

Z řady dílčích problémů a úspěchů optiky je třeba se zmínit alespoň o tom, že ERNST KARL ABBE vypracoval teorii optického zobrazení na základě vlnové teorie a zdokonalil pomocí ní mikroskopy a další optické přístroje; švédský fyzik ANDERS JONAS ÅNGSTRÖM zdokonalil metodiku měření spektrálních čar, Francouz ALFRED CORNU vynikl objevy ve fyzikální a meteorologické optice. Konečně byla podstatně zvýšena přesnost optických

měrných metod. Byla znovu přesněji změřena rychlost světla (A. Michelson), došlo ke zdokonalení fotometrie, v níž také byly uzavřeny první mezinárodní konvence. Zásluhy v této oblasti mají francouzští fyzikové J. Violle, E. Jolly a z německých fyziků E. Brodhun a O. Lummer. Základy interferometrie položil Ch. Fabry.

Z oblasti na pomezí fyzikální a technické optiky jsou významné objevy a vynálezy z oblasti fotografie (G. Lippmann objevil metodu barevné fotografie); dalšího zdokonalení se jí dostalo v pracích Neuhausenových, Jollyových, Hesekeiových a dalších. Metodě posledního z nich je obdobná metoda trojbarevného tisku našeho J. Husníka. Zdokonalení výroby jemných optických mřížek je výsledkem konstrukce automatu na rytí mřížek pocházejícího od baltimorského profesora fyziky HENRYHO A. ROWLANDA. Významných pokroků bylo také dosaženo v atmosférické optice, ve fyziologické optice (A. Gullstrand) a v technických aplikacích optiky. Nedořešené problémy optiky z tohoto období vedly na začátku 20. stol. ke vzniku teorie relativity a kvantové fyziky; dalšího rozvoje optiky si budeme všimnout již jen v rámci těchto věd.

VZNIK A VÝVOJ TEORIE RELATIVITY

Teorie relativity je věda na rozhraní klasické a současné fyziky. Dověřila vývoj makroskopické elektrodynamiky tím, že vytvořila elektrodynamiku pohybujících se prostředí; změnila od základu názor na prostor, čas a tíži. Tento názor a jeho fyzikální důsledky je nutno respektovat v celé fyzice, tedy i v kvantové teorii a ve fyzice mikrosvěta, proto je teorie relativity základem současné fyziky. Ač je teorie relativity v logickém smyslu poměrně jednoduchá, přesto historická cesta k ní byla velmi složitá. Předcházely jí problémy mechaniky relativního pohybu a problémy optiky a elektrodynamiky pohybujících se prostředí. Odtud vyrostla speciální teorie relativity; jejím zobecněním respektujícím gravitaci a pohyb vůči neinerciálním vztažným soustavám vznikla obecná teorie relativity.

Skutečnost, že pohyb je jev relativní, byla známa již Galileimu. Nemá smysl pohyb jako takový, pohyb absolutní, ale jen pohyb vůči určité vztažné soustavě. Newton si uvědomil, že mezi těmito vztažnými soustavami mají mimořádný význam soustavy inerciální, tj. soustavy, vůči nimž se pohybuje volné těleso (čili těleso, na něž nepůsobí síly) podle jeho zákona setrvačnosti, to jest s nulovým zrychlením. Byla tu ovšem zásadní otázka, jak se těleso pohybuje vůči jiné soustavě než vůči oné privilegované inerciální soustavě. Je-li tato druhá soustava také inerciální, pak přechod od jedné ke druhé soustavě je velmi prostý a je zprostředkován Galileiho transformací. Je-li však ona druhá soustava neinerciální, např. je-li jí rotující kotouč či Země, je popis pohybu tělesa vůči ní mnohem složitější. Tuto otázku již Newton nedořešil; řešení podali Euler a Coriolis. Newton však zatemnil problémy pohybu svými dalšími mylnými předpoklady: (1) existuje absolutní a relativní čili běžný čas, (2) existuje absolutní prostor jako aréna pro události; je to ovšem prostor, v němž platí Eukleidova geometrie. Místo, jež zaujímá dané těleso v absolutním prostoru, lze posuzovat ve fyzice jen relativně, ale bůh zná jeho lokalizaci absolutní. (3) Pohyb je přemístování z jednoho absolutního místa na druhé; my ovšem pozorujeme jen relativní pohyb. A tak zavedl Newton řadu pojmů a představ nesouvisejících přímo s pokusem, jež byly nejen nadbytečné, ale přímo škodlivé. Jako trvalá deviza přešlo však do dalších staletí také poznání principu relativity a Galileiho transformace. Teprve na přelomu 19. a 20. stol. Lorentz dokázal z Maxwellových rovnic, že popisujeme-li elektromagnetické děje ve dvou různých inerciálních soustavách, pak přechod od jedné ke druhé zprostředkovává nikoli Galileiho, ale Lorentzova transformace. Tyto tři principy — Galileiho transformace, Lorentzova transformace a princip relativity se však na půdě fyziky vedle sebe nesnesou a jeden musí padnout. To si uvědomil a o výsledku rozhodl teprve Einstein r. 1905.

Až do té doby fyziky celkem nijak nevzrušovalo ani

zjištění Gaussovo (kolem r. 1820), že eukleidovská geometrie není jediná možná, ani práce Lobačevského (1826), Bolyaie (1832) a Reimanna (1854), jimiž byla založena neeukleidovská metrická geometrie, tj. geometrie, v níž je vzdálenost bodů dána složitějším výrazem než Pythagorovou větou.

PROBLÉMY OPTIKY POHYBUJÍCÍCH SE PROSTŘEDÍ

Bludiště těchto problémů se před fyziky otevřelo již při objevu aberace světla JAMESEM BRADLEYEM (1728). Všechny těžkosti souvisely s rychlostí světla a s její chybnou interpretací pomocí světelného éteru. Bradley se pokusil najít paralaxu hvězd, tj. změnu úhlu, pod kterým je vidět hvězda za půl roku, kdy se Země vzdálí od původní polohy o 300 miliónů kilometrů; paralaxa by měla být tím větší, čím je hvězda bližší. Změnu Bradley skutečně zjistil — byla však stejná pro všechny hvězdy, jako by byly umístěny na jediné ptolemaiovské sféře. Výsledek se zdál tak paradoxní, že jej sám objevitel považoval za chybu čili aberaci samotného světla. Bradley také podal přijatelný výklad aberace světla z hlediska korpuskulární teorie světla.

Když však v první polovině 19. stol. nastoupila vítěznou cestu vlnová teorie světla díky Fresnelově interpretaci jevů interference, ohybu a polarizace světla, a když r. 1850 Foucault naměřil větší rychlost světla v prostředcích opticky řidších, korpuskulární teorie padla. Bylo ovšem třeba podat nový vlnový výklad aberace. Žádný ze stoupenců vlnové teorie se však nedovedl vzdát představy, že světlo je příčné, postupné vlnění ve vše prostupujícím světovém éteru; o něm se předpokládalo, že je absolutně klidný a že je realizací Newtonova absolutního prostoru. Země při svém pohybu se tímto éterem prodírá rychlostí 30 km.s^{-1} — a musí tedy na ní být zjistitelný silný éterový vítr; ten je sice naštěstí mechanicky nezjistitelný, opticky by však měl být měřitelný. Nalezením rychlosti pohybu Země vůči éteru by byla určena rychlost naší planety vůči absolutnímu pohybu prostoru — a mohli bychom tedy mluvit o jejím absolutním po-

hybu. A tak vyrostl do velkých rozměrů velký vědecký pseudoproblém 19. stol. Samozřejmě, že i při jeho řešení ještě naposled zkřížili zbraně stoupenci korpuskulární a vlnové teorie.

Podle emanační teorie (korpuskulární) hájené Aragem by měla rychlost světla záviset jak na pohybu zdroje světla, tak na pohybu pozorovatele a prostředí, jímž světlo prochází. Již Wilson (1782) dospěl k závěru, že po naplnění dalekohledu vodou se aberace světla změní; Bošković došel k závěru opačnému. Shodovali se však v tom, že index lomu čočky a tedy její ohnisková vzdálenost se liší podle původu světla — pochází-li z nepohyblivých zdrojů na Zemi, nebo z pohybujících se hvězd. Profesor na pražské technice J. Ch. Doppler (1842) však ukázal, že se pohybem mění frekvence světla; při té příležitosti podrobně analyzoval všechna stanoviska, setkal se však většinou s nezájmem nebo odporem. Jedině B. Boizano hájil jeho princip. Je zajímavé, že výchozí idea Dopplerova byla mylná, výsledek však správný. Různými rychlostmi pohybu hvězd se Doppler snažil vysvětlit různé barvy hvězd. Když r. 1810 Arago marně hledal předpokládané změny indexu lomu, vymyslel krkolomnou hypotézu — že totiž zdroje světla vysílají částice nejrůznějších rychlostí, že však oko vnímá jen ty z nich, které mají právě naměřenou rychlost. Nakonec se však i „největší autorita“ (Arago) obrací s žádostí na mladého Fresnela, aby vypracoval vlnovou teorii aberace.

A skutečně již r. 1818 přichází Fresnel s obecnou teorií šíření éterových vln v různých optických prostředích. Index lomu prý sice závisí na rychlosti tělesa, výsledný efekt je však v prvním řádu eliminován částečným strháváním éteru pohybujícím se tělesem. V pokusech se tedy mohou projevit jen daleko jemnější efekty druhého řádu. Experimentální výsledky však chyběly; nebylo známo víc než Aragovy závěry z r. 1810 a Babinetovo zjištění z r. 1839, že interferenční obrazec mezi paprsky postupujícími jednou ve směru a podruhé proti směru pohybu Země se neobjevil. Teprve r. 1851 k tomu přistoupily výsledky Fizeauovy o změně indexu lomu v pohybující se vodě. Protože žádné očekávané změny optických jevů vlivem pohybu pozorovány nebyly, vyslovil Stokes ná-

zor (1845), že éter je Zemí plně strháván. Do problematiky zasáhli dále Maxwell, Ångström, Mach, Rowland, Airy aj. Konečné slovo měly pokusy Michelsonovy a Morleyovy, jež i při mnohonásobném opakování byly vždy negativní, čili žádný absolutní pohyb Země pomocí interference světla nedokázaly. Einstein proto pojal tuto skutečnost do své teorie jako výchozí, empirický fakt, o němž nelze diskutovat: rychlost světla je konstantní a nezávisí na pohybu zdroje, ani pozorovatele. Samozřejmě, že k problému měla co říci také elektrodynamika — vždyť bylo předem vyloučeno, že by snad v jiné než světelné oblasti spektra mohla být situace jiná.

PROBLÉMY ELEKTRODYNAMIKY POHYBUJÍCÍCH SE PROSTŘEDÍ

Maxwellova odkazu se ujal H. Hertz; víme již, že dokázal existenci elektromagnetických vln a zdokonalil tvar Maxwellových rovnic. Koncepti éteru — tentokrát jako nositele elektromagnetických vln však — podržel, stejně jako předpoklad, že je unášen pohybujícími se tělesy. Z toho ovšem plyne, že elektromagnetické jevy v pohybujících se prostředích vůbec neumožňují zjistit, zda je éter v mezihvězdném prostoru v klidu nebo v pohybu. Protože zároveň předpokládal, že Galileiho transformace platí i v elektrodynamice, dospěl k závěru, že pro rychlost světla platí tradiční zákon skládání rychlostí. Důsledky tohoto předpokladu však byly v rozporu s experimenty, včetně Michelsonových. Stokes dokázal, že všechny hypotézy od Fresnelovy až po Hertzovu jsou buď vnitřně rozporné, nebo nepopisují celý soubor faktů.

Do této situace přichází H. A. Lorentz s elektronovou teorií a s koncepcí nehybného éteru. V r. 1889 Fitzgerald a za tři roky poté také Lorentz vysvětlili, že záporný výsledek Michelsonova pokusu lze objasnit, předpokládá-li se, že při pohybu těles vzhledem k éteru se podélné rozměry těles zkrátí určitým způsobem. Tuto Fitzgeraldovu-Lorentzovu kontrakci délek Lorentz objasňuje změnou elektromagnetických sil působících uvnitř těles

při jejich pohybu. V r. 1895 prozkoumal Lorentz vztah mezi pohybujícími se tělesy a éterem a dospěl ke svým transformačním vztahům nahrazujícím transformace Galileiho. Jeho pojetí kritizoval Poincaré a vyjádřil přesvědčení, že pohyb těles vůči éteru je nepozorovatelný. V r. 1900 začal užívat termínu princip relativity a jeho obsah vyjádřil jako tvrzení právě uvedené. Hertz, Lorentz, Poincaré a Röntgen došli k přesvědčení, že jasno do celé otázky může vnést jedině rozbor Maxwellových rovnic.

V r. 1888 provádí Röntgen pokus týkající se magnetického pole pohybujícího se náboje a r. 1890 se Hertz jako první pokouší formulovat Maxwellovy rovnice pro pohybující se prostředí. Po neúspěchu způsobeném tím, že v nich nerespektoval závěry pokusů Röntgenových ani svých vlastních, týkajících se účinků konvekčního proudu, dospěl k úspěšným závěrům až Lorentz a Poincaré v letech 1904 až 1905. Je zajímavé, že nejvýznamnější závěr těchto prací, Lorentzovy transformace, odvodil nezávisle J. Larmor již r. 1900; termín sám zavedl Poincaré. Dnes se nazývají obecnější lineární transformace než Lorentzovy transformacemi Poincaréovými. Poincaré byl také prvním fyzikem, který vyslovil požadavek, že všechny fyzikální rovnice, mají-li být správné — musí být invariantní vůči Lorentzově transformaci; pochopil rovněž fyzikální důsledky Lorentzovy transformace, formuloval obecně princip relativity — představy éteru se však nevzdal. Jeho pojetí principu relativity zůstává v platnosti dodnes: „Přírodní zákony musí být stejné jak pro nepohyblivé pozorovatele, tak pro pozorovatele nacházejícího se v rovnoměrném přímočarém pohybu, takže neexistuje způsob, jímž by se na základě pozorování dalo rozlišit, zda se pozorovatel nachází v tomto pohybovém stavu či nikoliv.“

Teorie relativity tedy byla připravena po stránce matematické, známa byla četná fakta fyzikální, nadále se však držely při životě matoucí filozofické koncepce (éter), takže celková situace byla nejasná: nevědělo se, které principy a předpoklady je nutno ve vědě ponechat a které vyloučit. Jasno v této oblasti učinil Einstein.

SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

ALBERT EINSTEIN (1879—1955) byl jediným synem spoludávatele malé elektrotechnické továrny. Jevy a věci jiným samozřejmě ho již v mládí udivovaly, škola se svým formalismem a samoučelnou disciplínou se mu protivila. Kompas jako dítěti, Eukleidova geometrie jako školákovi a poznatky čerpané z populárně vědecké literatury, kterou měl raději než školní knihy, mu připadaly jako zjevení. Po pobytech v Německu, Švýcarsku a Itálii nakonec zakotvil v Curychu, kde vystudoval matematiku a fyziku na polytechnice (1901). Následovala několikaletá skromná kariéra soukromého učitele, patentového úředníka v Bernu a zároveň badatele „pro vlastní potěchu“. Vědět se ovšem mohl věnovat jen ve volných chvílích a v neděli, a přesto jeho myšlenky z těchto let se staly základem fyziky 20. stol. K prvním jeho zájmům patřila problematika Brownova pohybu a statistická fyzika; z této oblasti je také jeho disertace, kterou obhájil na univerzitě v Curychu. Poté aplikoval statistiku na rozptyl světla na nahodilých shlucích částic, vypracoval statistiku bosonů a s úspěchem jí použil k výpočtu měrného tepla. Jeho životním osudem se však stala teorie relativity, ač největšího vnějšího ocenění se mu dostalo za teorii fotoefektu (1905), za něž dostal Nobelovu cenu (nikoli za teorii relativity); je zajímavé, že tato oblast fyziky je v tomto směru ignorována dodnes.

K většině svých objevů byl Einstein přiveden zkoumáním základních vlastností světla. Po několika nepublikovaných pracích z této oblasti analyzuje v r. 1904 Planckův zákon z hlediska statistické fyziky a klade si za cíl vyřešit rozpory elektrodynamiky pohybujících se prostředí. Záhy zobecnil Maxwellovy rovnice pro případ šíření elektromagnetických vln v pohybujícím se prostředí (1905), přičemž zároveň odhalil jejich rozpor s idejemi Newtonovy mechaniky. Do čela elektrodynamiky a speciální teorie relativity postavil princip stálé rychlosti světla, princip relativity, Maxwellovy rovnice a Lorentzovy transformace. Vybudoval také novou mechaniku kompatibilní s elektrodynamikou, přičemž její kinematiku založil na transformacích Lorentzových. Z jeho teo-

rie automaticky mizí pojem éteru. Jeho teorie nemá logických nedostatků a vede čistě matematickou cestou k řadě překvapujících vztahů, představ a závěrů ověřitelných pokusem. Odezva na jeho objevy byla v řadách fyziků a filozofů nesmírná. Rázem se Einstein stává hvězdou první velikosti; od r. 1909 je mimořádným profesorem v Curychu a r. 1910 rozhoduje profesorský sbor německé univerzity v Praze o zřízení katedry teoretické fyziky pro Einsteina s připomínkou, aby požádal o rakouské občanství. V dubnu 1911 skutečně do Prahy nastupuje, avšak r. 1912 se vrací na přání rodiny do Curychu. V r. 1914 přechází do Pruské akademie věd v Berlíně a stává se ředitelem Fyzikálního ústavu císaře Viléma.

Od r. 1909 se však již upíná Einsteinův zájem k obecné teorii relativity, jež je v r. 1915 v podstatě hotova. Další své snahy zaměřil na unitární teorii polí, jež měla dále zobecnit obecnou teorii relativity na veškerá pole, zejména na pole gravitační a zároveň elektromagnetické. Nešlo však o teorii kvantovou a nedošla proto výsledků přiměřených jeho investované duševní energii. Einstein však nebyl snad jen vědcem, ale byl člověkem se širokými kulturními zájmy, s vyhraněným profilem morálním a politickým. Pro celou jeho tvorbu je příznačné hluboké chápání souvislosti obecných a dílčích problémů, takže bývá charakterizován jako velký filozof základních fyzikálních problémů. Byl rovněž znalcem umění, houslistou, ale i člověkem skromným, který oficiální povy nejednou pohoršlivě ignoroval. U lidí si vážil více hodnot mravních než vědění a postavení. Neváhal proto na vrcholu slávy odejít z Německa na protest proti anti-humánní nacistické ideologii a brutalitě. Nebyl však jen bezmocným pacifistou a chápal, že násilí nelze přemoci jinak než bojem. Proto také se L. Szilárdem a E. Tellerem dal podnět k zahájení nukleárního bádání v USA; v r. 1945 však stál v první řadě bojovníků proti zneužití jeho výsledků a v řadě bojovníků za mír. Za svůj život napsal přes tři sta prací. Patří k velikánům, kteří se rodí za tisíciletí. Zemřel v Princetonu v USA, kde po odchodu z Německa působil.

V r. 1905 tedy položil Einstein základy elektrodyna-

miky pohybujících se prostředí a odvodil základní vztahy teorie relativity, včetně vztahu mezi hmotností a energií částice. Po dvou letech H. Minkowski zavedl pojem čtyřrozměrného prostoročasového kontinua a novou formu zápisu veličin a zákonů fyziky v čtyřsložkovém tvaru. V r. 1906 Planck odvodil vztah mezi hmotností, energií a hybností částice a prosadil pro celou disciplínu název teorie relativity. V r. 1906 se Poincaré a následujícího roku Minkowski pokusili vytvořit také relativisticky invariantní teorii gravitace. V dalším roce zavedl Planck relativitu do termodynamiky. Od r. 1909 se stává speciální teorie relativity disciplínou zasahující do všech oborů teoretické fyziky; Einstein v té době však již klade základy obecné teorie relativity.

OBEČNÁ TEORIE RELATIVITY

Přes veškeré úspěchy speciální teorie relativity připadalo Einsteinovi jako zbytek antropomorfismu ve fyzice to, že tato teorie preferuje inerciální vztažné soustavy, vůči nimž je náš popis pohybu nejjednodušší; přírodu však toto naše stanovisko asi nezajímá. Musíme tedy vytvořit takovou teorii, v níž by byl popis přírodních zákonů stejný vůči jakékoli, i neinerciální vztažné soustavě. Protože gravitační působení je vždy možno nahradit účinkem pohybu — např. tíhu lze simulovat někde v mimozemském prostoru zrychleným pohybem celé laboratoře a také naopak tíži lze odstranit pro pozorovatele v laboratoři tím, že ji celou necháme volně padat —, proto musí nová teorie pohybu zahrnovat i teorii tíže. Taková úvaha vedla Einsteina k formulaci jejího prvního principu, principu ekvivalence; snaha vymýtit subjektivismus z fyzikální teorie zase vedla k požadavku invariance teorie vůči volbě vztažných soustav. Jasně také bylo to, že aproximací nové Einsteinovy teorie musí být Newtonova teorie gravitace a speciální teorie relativity. Teorie musela také brát v úvahu úměrnost mezi tíhovou a setrvačnou hmotností daného tělesa. Experimentálně ji dokázal maďarský fyzik L. Eötvös (1890); pochyboval o ní sice J. J. Thomson (1907), jeho výsledky

však kriticky analyzoval jeho žák Sourthense [1910], takže Planck mohl nakonec prohlásit, že obě veličiny jsou při vhodné volbě soustavy jednotek totožné.

V r. 1911 Einstein tyto otázky podrobně analyzoval, dospěl k prvním fyzikálním závěrům, ne však ještě k úplné teorii. Ukázal přitom omezenou platnost speciální teorie relativity. Einsteinův odpůrce M. Abraham si neodpustil poznámku, že „to je podobné autorovi, který nejednou medovým hlasem Sirény lákal svojí teorií relativity, až se nyní sám přesvědčil o její neplatnosti“. Když však Einstein přibral do své matematické výzbroje teorii tenzorů a Riemannovu geometrii vypracovanou předtím matematiky, dokončil v r. 1916 obecnou teorii relativity ve tvaru, který se v podstatě nezměnil dodnes. Vedle jeho teorie upadly v zapomenutí všechny práce, jež směřovaly také ke spojení teorie gravitace a teorií relativity, zejména práce Abrahamovy, Nordströmovy, Mieovy a Hilbertovy [1915]. Je zajímavé, že Einsteinova teorie byla vytvořena „u stolu“, bez přímé opory experimentální.

Proto tím více udivuje, že se našly záhy jevy, které ji potvrdily. Patří k nim anomálie stáčení Merkurova perihelia, jež bylo dlouhou dobu záhadou v astronomii. V r. 1922 je důsledky obecné teorie relativity překvapen sám Einstein, když sovětský fyzik A. A. Fridman dokazuje, že vedle stacionárního řešení Einsteinových rovnic existuje řešení nestacionární, jež aplikováno na vesmír znamená, že vesmír se rozpíná. Americký astronom E. P. Hubble r. 1929 dokázal dopplerovský posuv ve spektrech extragalaktických mlhovin svědčící o jejich expansi, čili o rozpínání vesmíru. Později byl pozorován tzv. Einsteinův rudý posuv u Slunce Saint-Johnem (1923) a u Siriova průvodce, bílého trpaslíka, W. S. Adamsem [1925]; tato pozorování však ještě nebyla zcela přesvědčivá.

Obě Einsteinovy teorie vzbudily mezi vědci a filozofy nemenší odezvu než v minulosti teorie Kopernikova a Darwinova. Bylo tomu tak zejména proto, že Einsteinovo zpracování teorie relativity přineslo základní pojmový obrát, tj. nový pohled na prostor a čas a na jejich vzájemný vztah; dále Einstein dospěl matematickou cestou k dosud netušeným relacím mezi klidovou hmotností

a energií daného tělesa, čímž mj. vysvětlil, odkud se bere nesmírné množství energie v nitru hvězd i v atomových jádrech. Jeho teorie relativity se stala základní složkou současné fyziky; každá fyzikální teorie musí být relativistická. Není-li tomu tak, je a priori nesprávná, nebo v nejlepším případě pouze přibližná.

VÝVOJ FYZIKY KE KVANTOVÉMU OBRAZU PŘÍRODY

Teorie relativity poučila vědce, že ve fyzice není tolik věčných pravd, jak se kdysi domnívali; mnohé z někdejších zdánlivě absolutních pravd se staly jen pravdami přibližnými, mnohé filozofické představy bylo nutno opustit úplně.

Úplnou destrukci staré fyziky, ale také úplnou výstavbu nové fyziky, včetně nového fyzikálního obrazu světa, provedla kvantová teorie. Za prvních padesát let 20. stol. byla postavena budova stejně důkladná, jako byla fyzika budovaná od Galileiho do Einsteina.

Kvantová fyzika však není snad jen novou teorií, ale je vědou, která prohlédla a pochopila mikrosvět atomových jader, atomů, molekul i složitých makromolekul a látek. Kvantová fyzika však podala také přesný návod, jak využít objevených zákonitostí v technické praxi a v ostatních vědách. Bez kvantové fyziky se neobejde jaderná technika, ale ani elektronika, astrofyzika, chemie, biofyzika aj.

Kvantová fyzika by nemohla vůbec vzniknout bez nové matematiky (např. bez teorie operátorů v Hilbertových prostorech), bez nových metod experimentálních a bez nových koncepcí filozofických; v tomto smyslu byla situace při jejím zrodu obdobná jako v dobách Galileiho a Newtona.

Podívejme se nyní, jak vypadaly první kroky této nové vědy.

VZNIK A VÝVOJ STARÉ KVANTOVÉ FYZIKY

Když na konci 19. stol. vrcholila celá klasická fyzika, oslňující svou dokonalostí a matematickou krásou, nikdo

netušil, že její pád je již velmi blízko. Několik jevů, které nedovedla „zatím“ vysvětlit, neznamenovalo dosud nic víc, než nepatrné obláčky na nezkaleném nebi klasické teorie. Patřil k nim např. Michelsonův pokus, který s principem relativity nakonec vedl k teorii relativity a k pádu newtonovské mechaniky. Nová relativistická mechanika spolu s klasickou elektrodynamikou fungovala sice obdivuhodně dokonale, avšak jen při popisu procesů v makrosvětě.

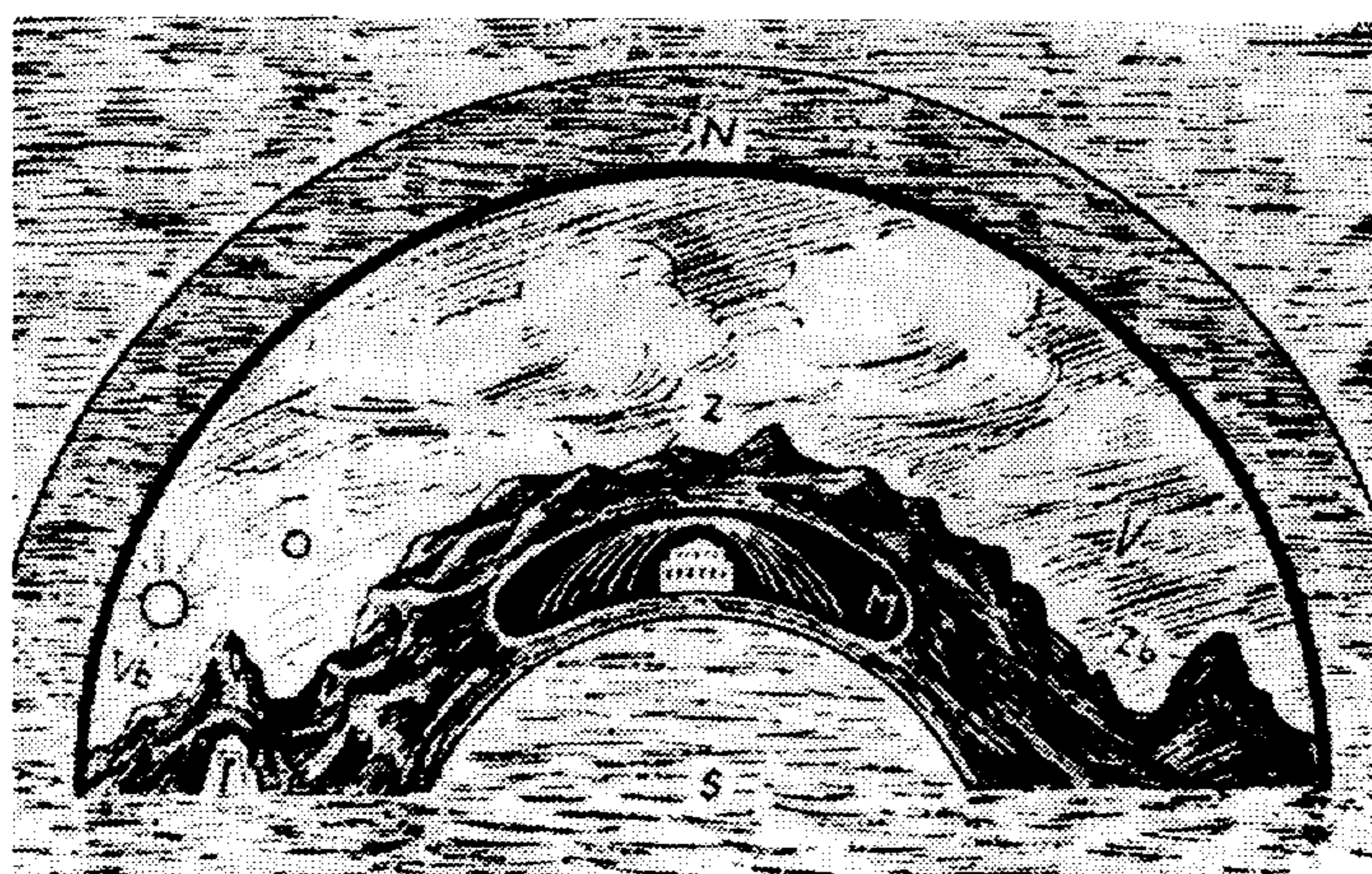
Katastrofální stav klasické fyziky pochopil jako první jeden z jejích největších hlasatelů — M. Planck, a to v okamžiku, kdy se mu konečně podařilo po pětiletém vlastním úsilí a po 41 letech práce fyziků od dob Kirchhoffových odvodit zákon záření černého tělesa. A tak se stal tento vcelku konzervativní muž zakladatelem nejrevolučnější teorie v celé historii fyziky.

Experimentální základy nové fyziky však sahají mnohem dále do minulosti; byla to vlastně náhoda, že kvantování energie bylo objeveno právě v souvislosti s teorií spektra černého tělesa. Patřila totiž k problémům poměrně jednoduchým.

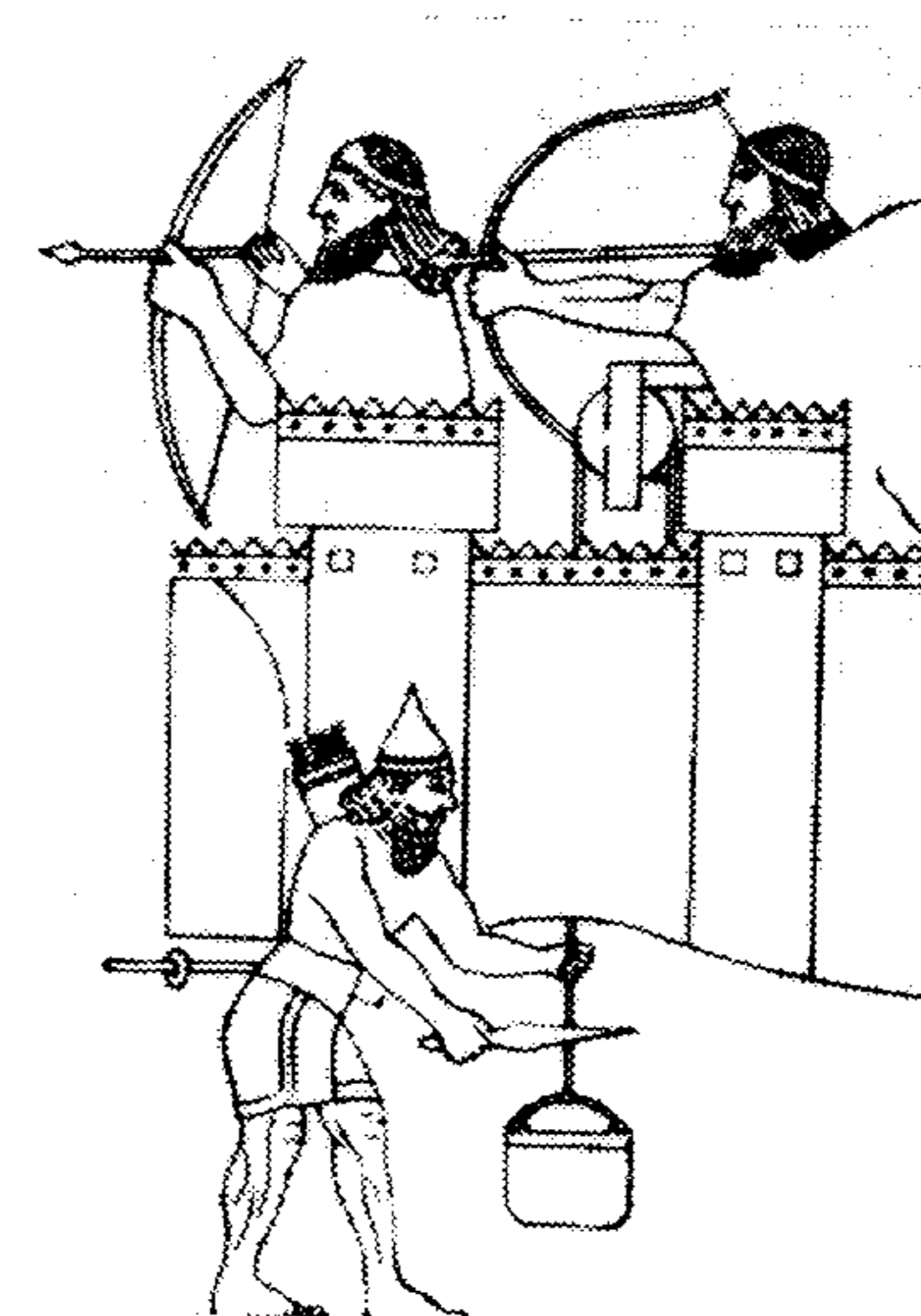
Cesty, jež vedly až k samému prahu kvantové fyziky, byly dvě: chemický atomismus, čímž označujeme soubor problémů a tezí týkajících se struktury hmoty z období klasické fyziky a chemie, a problémy záření před objevem Planckova zákona (1900). Po tomto objevu následuje čtvrt století trvající období provizorní kvantové teorie a konečně v letech 1925 až 1930 nabývá kvantová teorie hlavních rysů své dnešní podoby. V rámci této nové teorie se dodnes rozvíjí celá fyzika, zejména fyzika interakcí a fyzika hmotných struktur.

CHEMICKÝ ATOMISMUS

Démokritovu ideu o možném složení hmoty z atomů oživil v Evropě P. Gassendi; avšak teprve J. Dalton ukázal, že zákony chemického slučování lze pochopit jen na základě představy, že látka je složena z atomů a molekul. A. Avogadro zase objevil, jakou roli hraje u plynů počet molekul, a J. Loschmidt tento počet změřil. D. I.



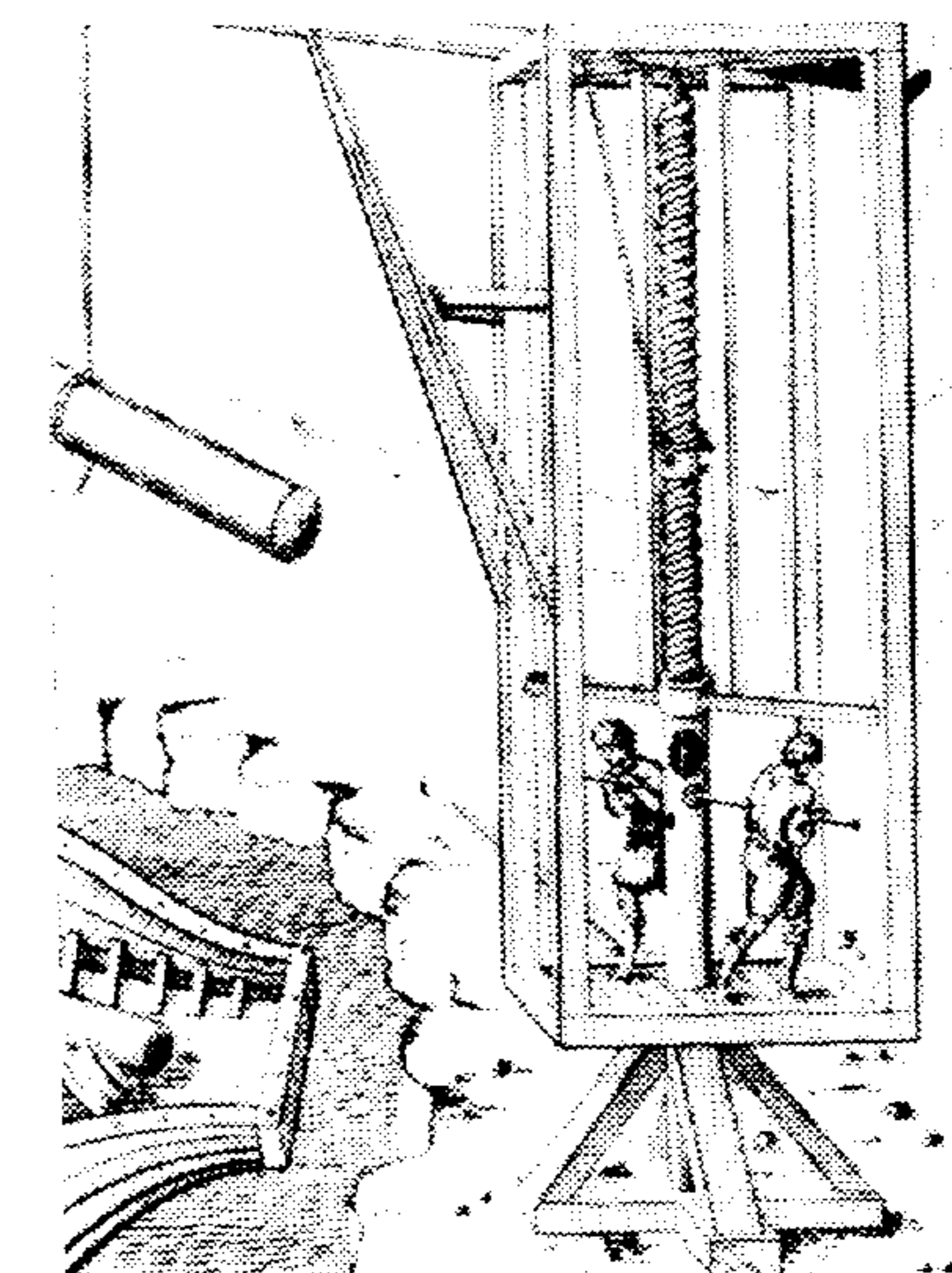
Babylónsko-biblický obraz světa



První zobrazení kladky pocházející z Babylónu dokazuje, že jednoduché mechanismy byly známy dříve než v Řecku



První zobrazení řeckých vah



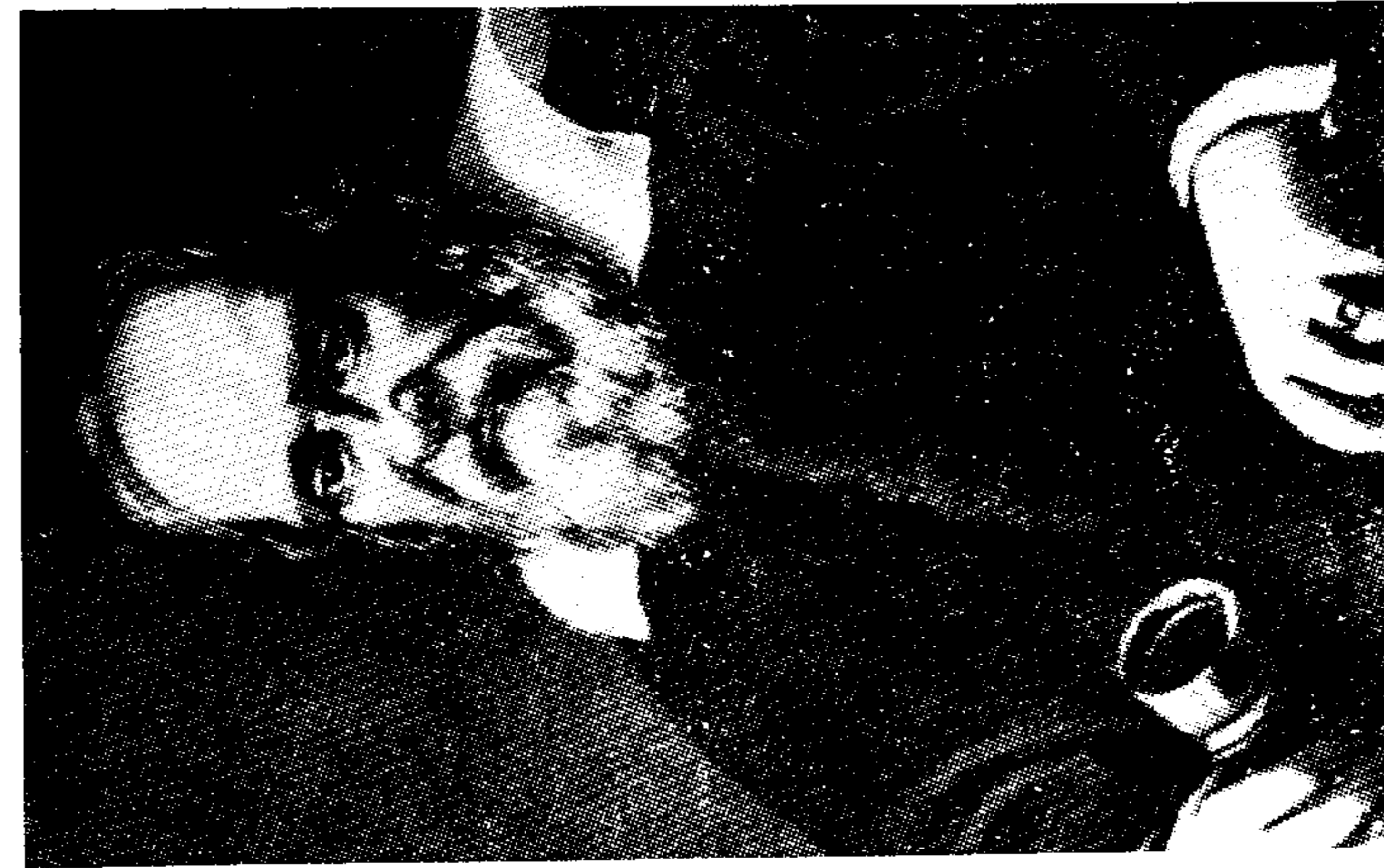
Přístavní jeřáb z počátku novověku ukazuje, že technika oproti starověku příliš nepokročila



Archimédes ze Syrakus

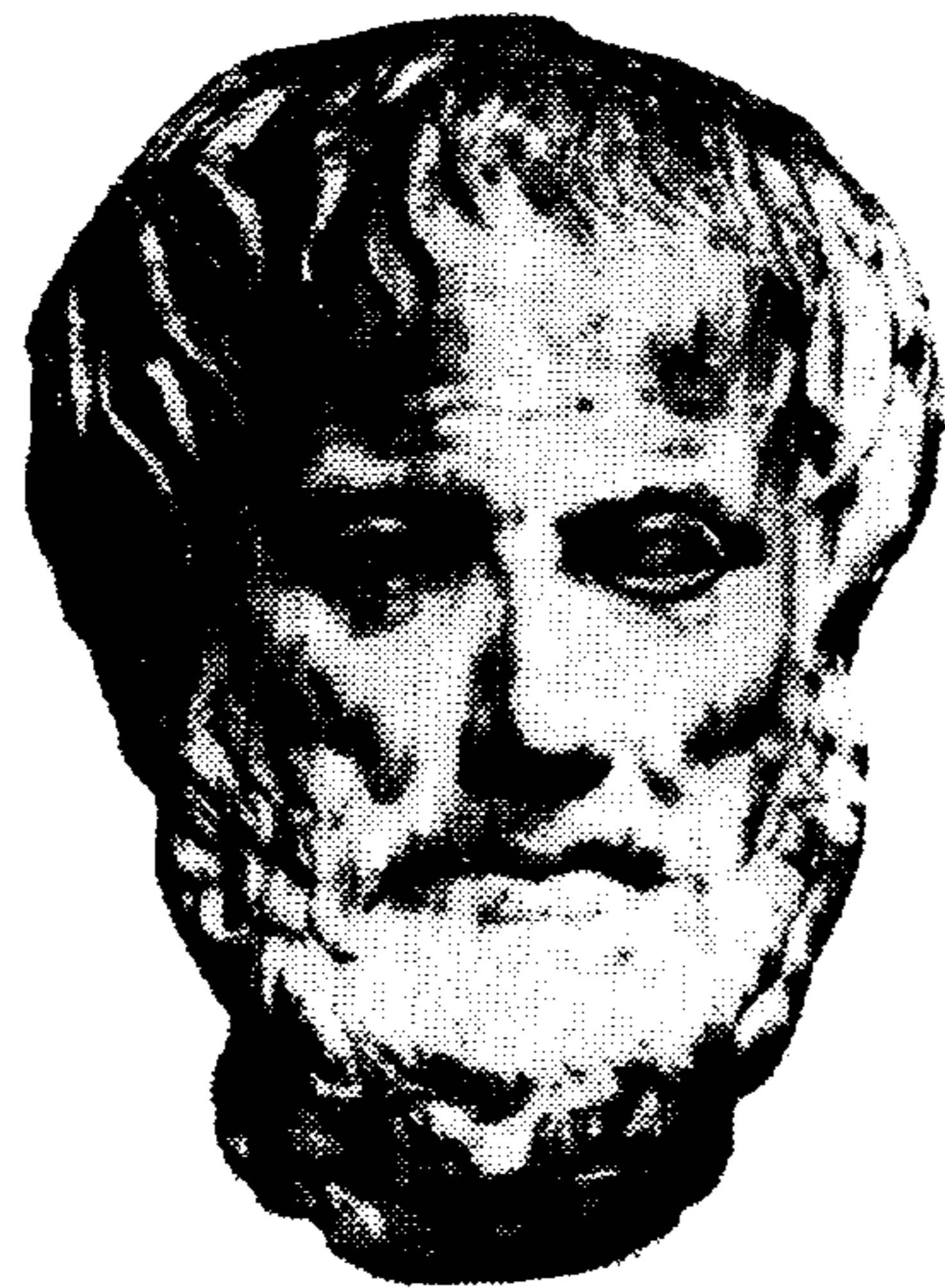


Roger Bacon



*Mikuláš
Kopernik*

*Galileo
Galilei*



Aristoteles ze Stageiry



Nikolaus Copernik

IOANNIS KEPLERI
SE. C. M. MATH. MATHEMATICI
DIOPTRICE

SEV

Demonstratio eorum quæ visui & visibilibus pro-
pter Conspicillan non ita pridem inventa
accidunt.



*Premissa Epistola Galilæi de vs. quæ post editionem Nuncij fidei
ope Perspicilli, nova & admiranda in caelo
deprebensa sunt.*

Item

*Examen præfationis Ioannæ Pene Galli in Optica Euclido, de
usu Optices in philosophia.*



AVGVSTAE VINDELICORVM.
typis Davidis Franci.

Cum privilegio Cæsaris ad annos XV.

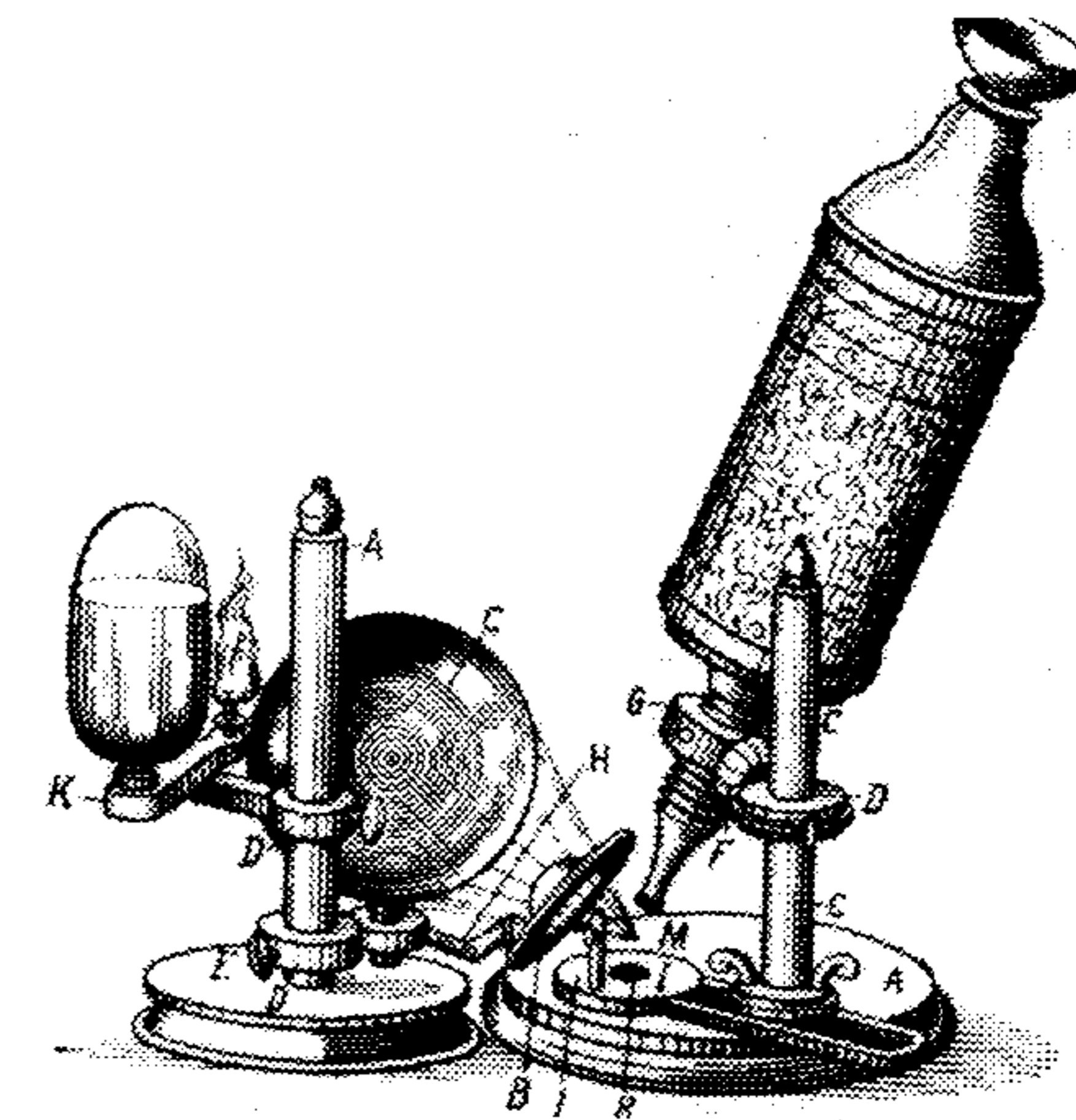
M. DCXI.

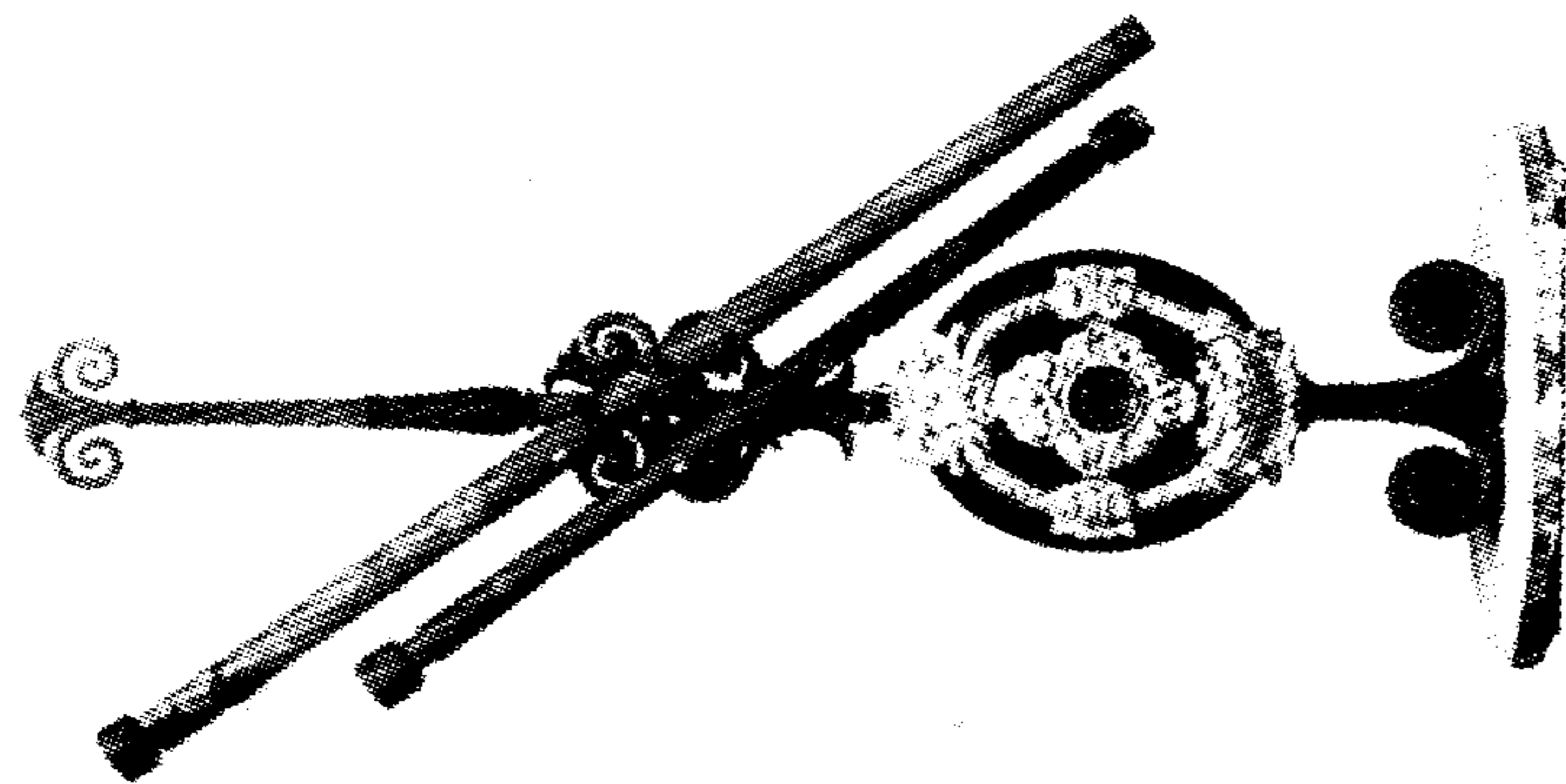
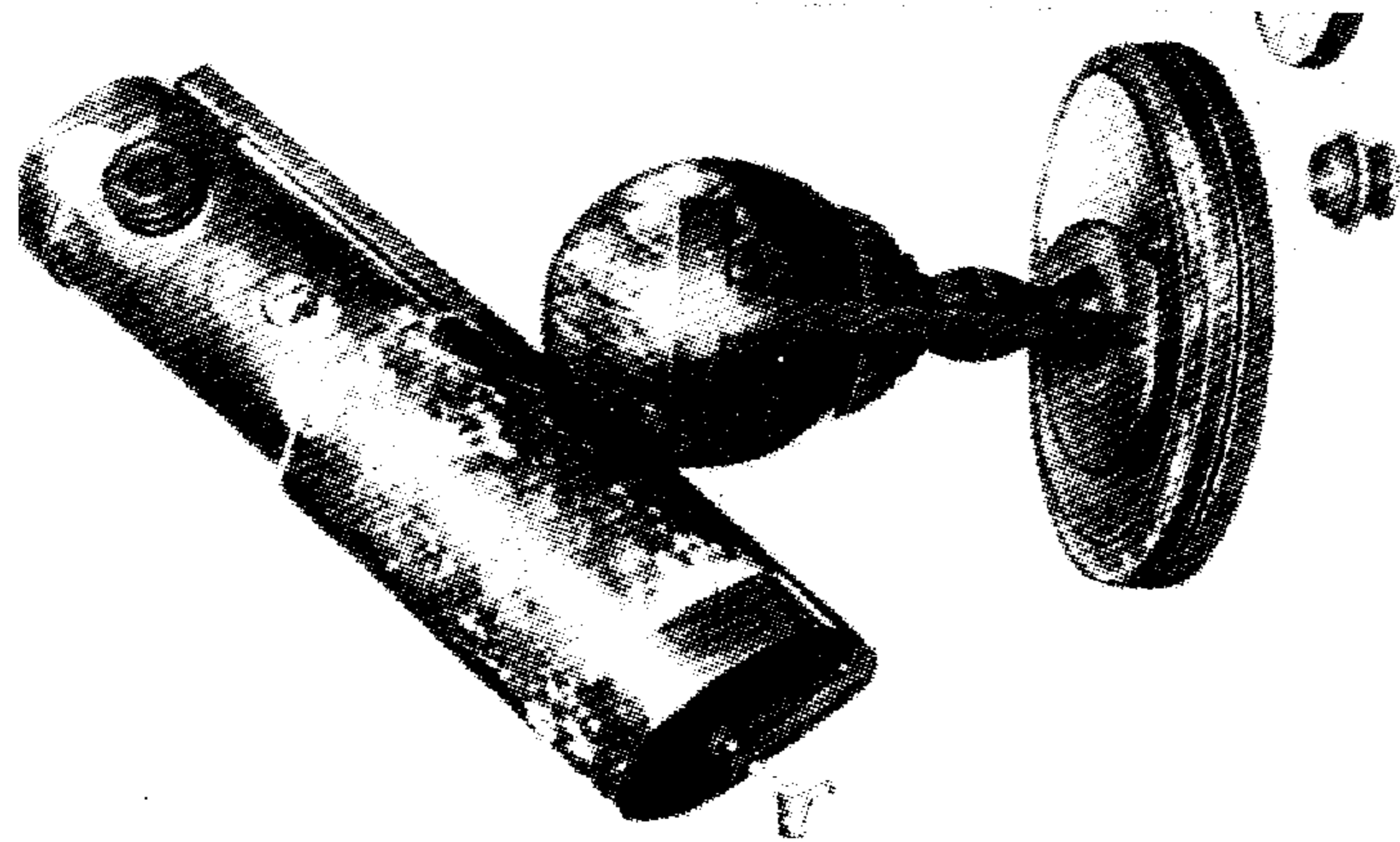
*Keplerova Dioptrika dokládá znalosti z optiky před objevem
zákona lomu*



*První velký
český fyzik
Johannes Mar-
cus Marci
z Kronlandu*

*Hookeův
mikroskop*





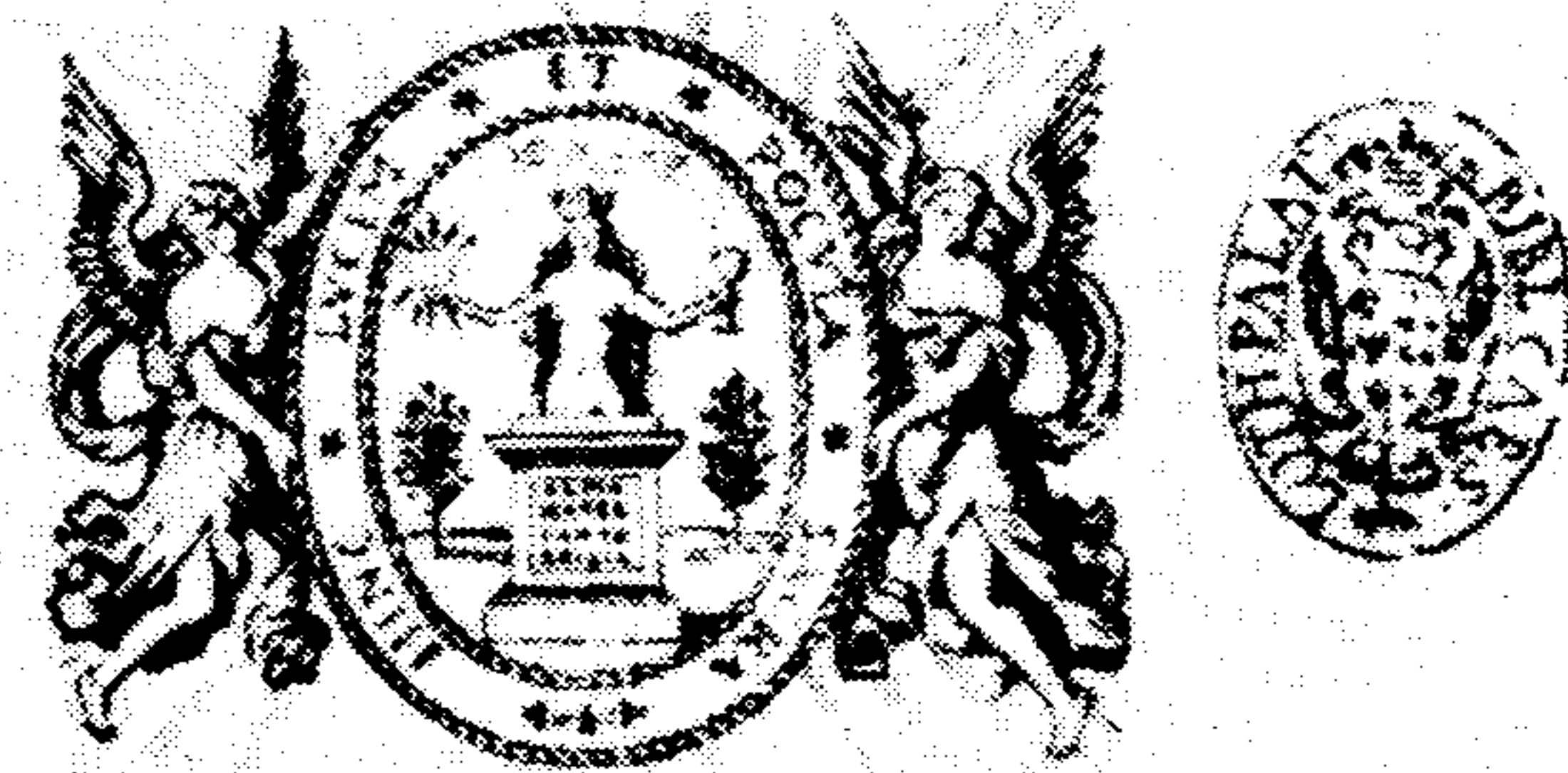
Galileiho
dalekohled

Newtonův
zrcadlový
dalekohled
(vpravo)

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

AUCTORE
ISAACO NEWTONO,
EQUITE AURATO.

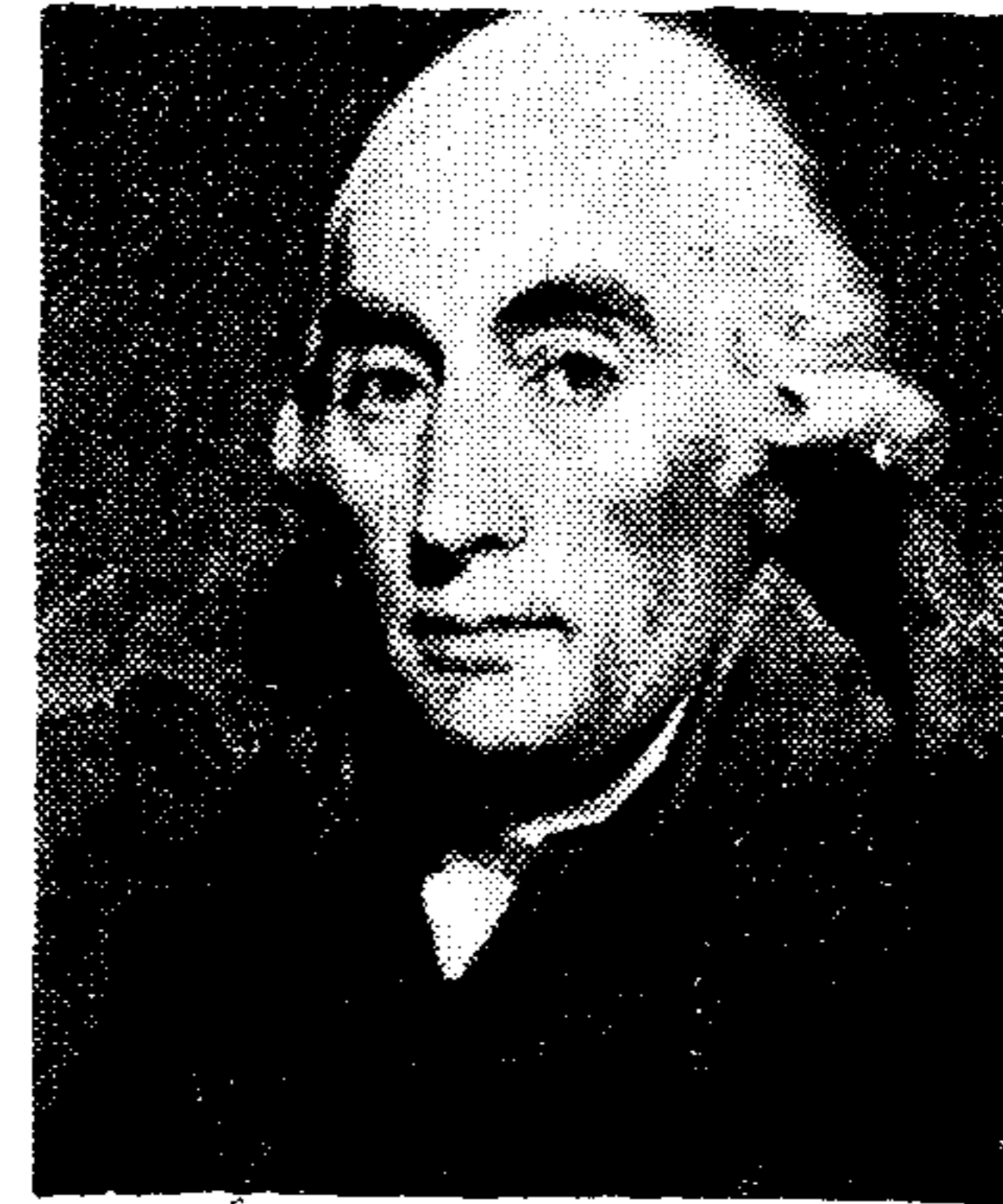
EDITIO SECUNDA AUCTIOR ET EMENDATIO.



CANTABRIGIÆ, MDCCXIII.

Newtonovo základní dílo o fyzice

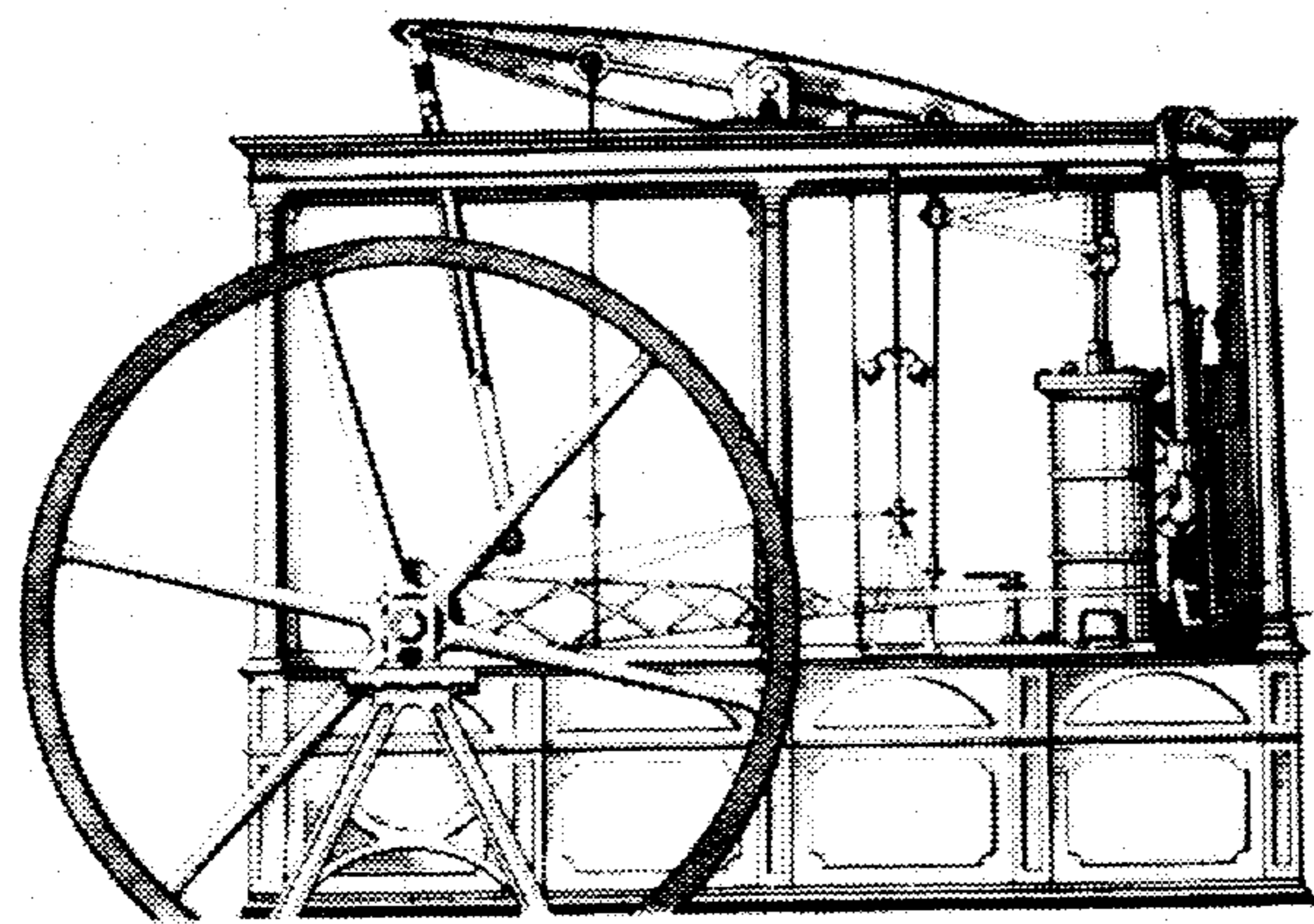
Issac Newton



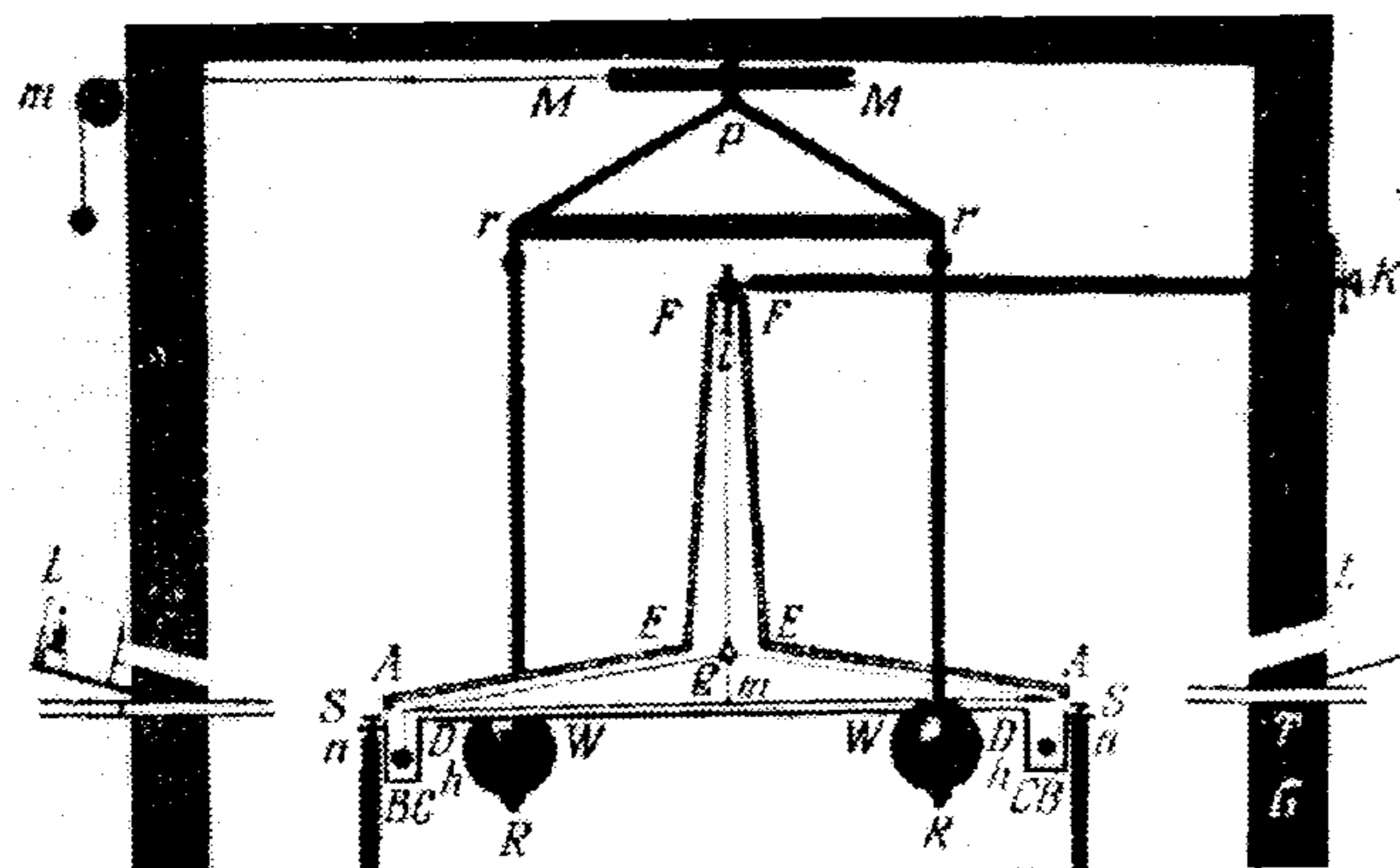
Augustin Jean Fresnel



Zakladatelé termiky: Joseph Black, Sadi Carnot, Julius Robert Mayer, Rudolf Clausius.



Wattův parní stroj



Torzní váhy, jimiž H. Cavendish zvážil Zemi i hvězdy



*Zakladatelé klasi-
cké elektrodyna-
miky: Michael
Faraday, James
Clerk Maxwell
(vpravo)*





Albert Einstein



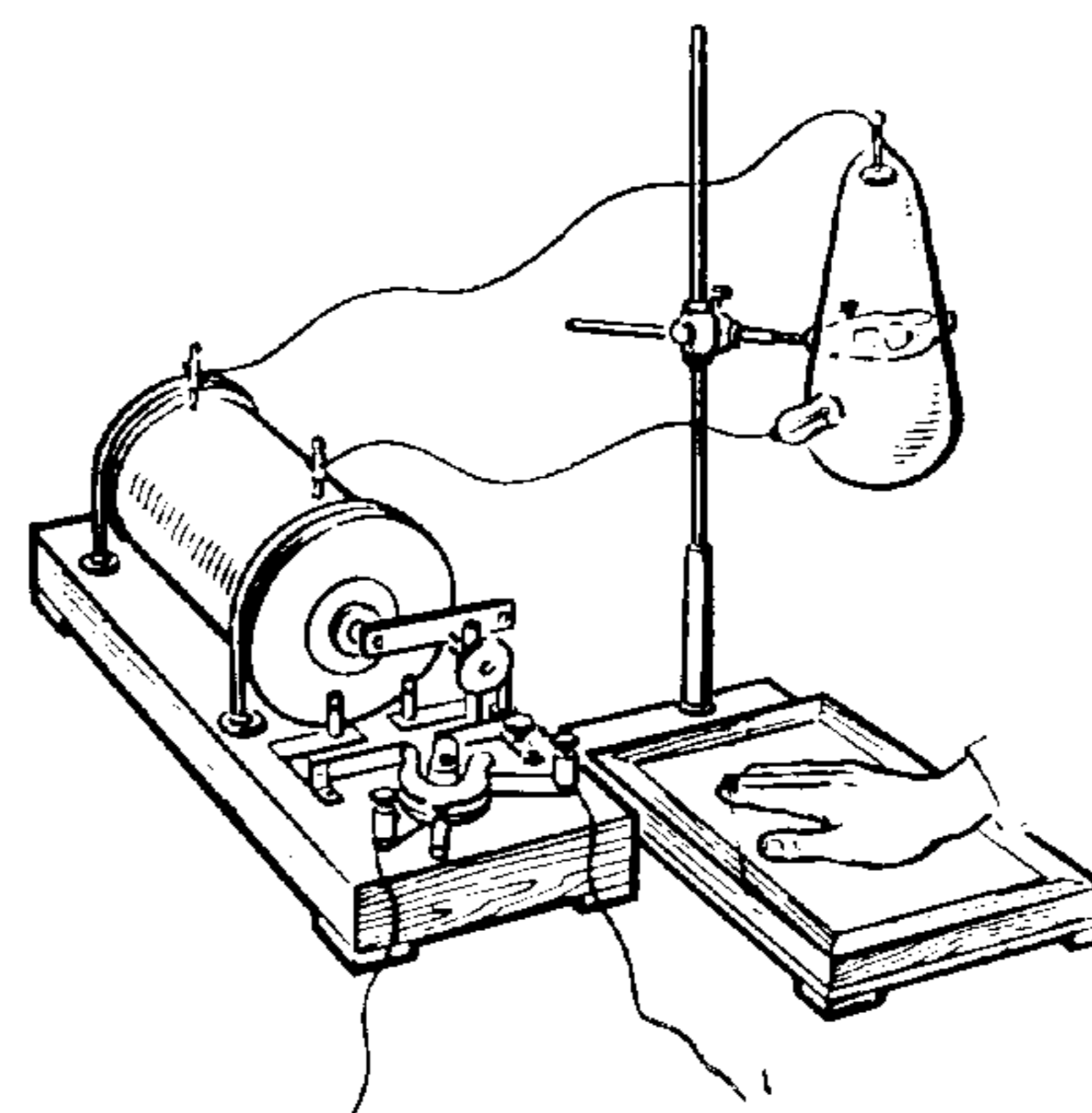
Wilhelm Conrad Röntgen

Albert Einstein

Wilhelm Conrad Röntgen



Zakladatelé kvantové teorie: zleva shora W. K. Heisenberg, P. A. M. Dirac, M. Born, E. Schrödinger, N. H. D. Bohr, L. de Broglie



Röntgenův přístroj

*První
profesoři
fyziky
na české
univerzitě:
Čeněk
Strouhal
a August
Seydler*



P. L. Kapica



L. D. Landau



Mendělejev dokázal, že chemické vlastnosti prvků a jejich atomů jsou zákonité. Na základě pozorovaných spekter bylo zřejmé, že každá látka, molekula a atom má své specifické spektrum; musely se tedy atomu připsat vlastnosti optické — a když Maxwell objevil vztahy mezi vlastnostmi optickými a elektromagnetickými (1873), musely být atomu připsány i vlastnosti elektrické a magnetické. A tak vyvstal před očima fyziků a chemiků atom jako individuum nadané všemi vlastnostmi reálných objektů. Toto poznání bylo sice nepřímé, zprostředkované (atom nelze vnímat smysly), ale pro všechny rozumné badatele zcela přesvědčivé. Našli se ovšem filozofující fyzikové, hlasatelé empiriokriticizmu, které svedl pád mechanistické fyziky k subjektivnímu idealismu a popírání atomu (Mach, Ostwald); jejich námitky však neměly z hlediska fyziky trvalejší význam.

Zajímavější situace nastala, když se poznalo, že existují hmotné částice menší než atom, a zejména, když bylo nutno přiznat, že atom sám není jednoduchý, „nedělitelný“, ale složený právě z těchto subatomárních částic. Jak došlo k tomuto poznání subatomární struktury hmoty?

Z Faradayových poznatků o elektrolýze z r. 1834 plynulo, že existuje jakýsi minimální elektrický náboj, čili že elektrina je „atomizována“. Toto přesvědčení také jasně zdůraznil Helmholtz. G. J. Stoney zavádí pro elektrickou částici název elektron (1900) a Lorentz na této koncepci buduje celou elektronovou teorii. Šlo však o to, jak se experimentálně „zmocnit“ těchto zatím hypotetických elektronů. J. Plücker v r. 1859 objevil zvláštní paprsky vyletující z katody výbojové trubice, o nichž J. W. Hittorf zjistil, že se odchyľují v magnetickém poli, a C. F. Varley — v poli elektrickém. W. Crookes r. 1879 o nich prorocky prohlásil, že představují zvláštní, nový stav hmoty, až konečně J. J. Thomson problémy uzavřel zjištěním, že jde o volné elektrony, jež hrají významnou roli také v jiné oblasti fyziky — v elektrolýze. Mnoho badatelů potom zjišťovalo vlastnosti elektronů a zejména jejich účinky; a právě to vedlo k dalekosáhlým důsledkům. Předtím ještě W. Hallwachs r. 1888 objevil fotoelektrický jev, z něhož bylo patrné, že elektrony se

uvolňují z kovů světlem — a že tedy nejsou jen čímsi vzácným, co se objevuje při výbojích, ale že jsou univerzálním stavebním prvkem hmoty.

K dalším pokrokům přispěly dvě náhody a trochu i národnostní řevnivost. Dne 28. prosince 1895 večer, pečlivě uzavřen před svými asistenty, zkoumal CONRAD WILHELM RÖNTGEN (1845—1923) ve své laboratoři problém, zda snad katodové paprsky nevyvolávají nevinný jev, luminiscenci látek, na něž dopadnou. Ukázalo se, že vyvolávají záření velmi podivuhodné, neznámé „záření X“: proniká látkami a poté ještě způsobuje fluorescenci na stínítku pokrytém kyanidem platnatobarnatým, takže je možno tímto způsobem prohlížet předměty ukryté v taškách, stejně jako kosti a orgány v těle.

Ještě neopadl údiv nad tímto triumfem německé vědy a už se k otázkám fluorescence — jako k tradičnímu problému řešenému v rodině po generace — vrací ve Francii HENRI BECQUEREL. H. Poincaré mu radí, aby některé minerály z rodinné sbírky vystavil Slunci, že mohou fluoreskovat také. Skutečně soli uranu září, působí na fotografickou desku, a to i přes silnější obaly a mnohem více než záření Röntgenovo; jde však o záření nejen Sluncem nevyvolané, ale dokonce o záření žádným vnějším zásahem neovlivnitelné. V lednu 1896 vychází článek Röntgenův a již 24. února svět ví o objevu Becquerelově. Iniciativa pak přechází do rukou manželů PIERRA (1859—1906) a MARIE (1867—1934) CURIEOVÝCH, kteří zjišťují, že radioaktivita všech známých prvků včetně uranu nestojí za řeč, ale že její hlavní příčinou jsou jimi objevené prvky separované z jáchymovského smolince. Nazvali je radium a na počest vlasti objevitelky — polonium. Radium zářilo nepochopitelně silně, polonium přímo vražedně. M. Curieová prvky separovala, pochopila podstatu radioaktivity jako radiaci atomových jader, jíž dala také jméno a r. 1899 vyslovila pět hypotéz o mechanismu radioaktivity a o jejích možných příčinách. V poslední z nich správně říká, že jde o emisi hmotných částic z atomu, provázenou transmutacemi těchto atomů vytvářejících nové prvky. Odvěký sen alchymistů se stává skutkem; padá základní koncepce dosavadní chemie o neměnnosti atomů. V Anglii

zkoumá poté radioaktivní záření sir ERNST RUTHERFORD (1871—1937) a zjišťuje, že radioaktivní prvky vyzařují trojí druh záření; označil je prvními třemi písmeny řecké abecedy, dále zjišťuje, že ve shodě s úhly rozptylu částic alfa, jimiž bombarduje atomy, musí existovat v každém atomu masivní, ale nesmírně malé kladně nabitě jádro, a že toto jádro je obklopeno elektrony, takže se navenek elektrický náboj každého atomu neutralizuje.

Všichni tito badatelé byli geniálními experimentátory, leč na aplikaci právě založené kvantové teorie v této oblasti nepřipadli. Rutherfordem zhruba končí linie chemického atomismu, jak bychom mohli označit směr experimentálních bádání a objevů, z nichž vyplynul elementární a názorný obraz o struktuře hmoty; končí pionýrské období, kdy bylo možno činit fundamentální objevy bez hluboké teorie.

Do Anglie tehdy odjel studovat tyto otázky také dánský fyzik NIELS HENRIK DAVID BOHR (1885—1962); a protože tam byly právě objeveny paprsky alfa, bylo mu řečeno, „aby také studoval ty kladné paprsky“. Práce se však nepovedla, a tak aby vůbec obhájil doktorát, pustil se do práce teoretické, při níž aplikoval dosud známá fakta o kvantování na problém atomu — a stal se tak otcem kvantové teorie atomu a jedním z velkých fyziků 20. stol. Výchozí ideje však čerpal nejen z představ chemického atomismu, ale i z výsledků, které shromáždili reprezentanti druhé linie — teoretici v oblasti záření, a ovšem i z vlastní hlavy.

OD TEORIE ZÁŘENÍ KE KVANTOVÉ HYPOTÉZE

Zatímco výše jmenovaní experimentátoři objevovali nové fyzikální skutečnosti, teoretici zkoumali do všech matematických podrobností dávno známé jevy z oblasti záření. Šlo jim zejména o to, vysvětlit spektrum černého tělesa a spektrum atomů — alespoň nejjednoduššího z nich — vodíku.

Výzkum záření těles je však starého data. Záření mimo světelnou oblast objevili F. W. Herschel (infračer-

vené záření v r. 1800) a W. H. Wollaston s Ritterem (ultrafialové záření v r. 1801). Ampère správně usoudil, že obojí je stejné podstaty jako světlo. J. v. Fraunhofer (1813) objevil, že je nesprávné Newtonovo tvrzení, že všechny látky emitují záření se stejným, spojitým spektrem. Až do Bohra, tedy přesně sto let, si však teorie s Fraunhoferovými čarami nevěděla rady. Je zajímavé, že ač totéž objevili Wollaston a Young, neodvážili se říci nic jiného, než že snad jde o rozhraní mezi barvami; promluvit proti Newtonovi mohl jen matematicky nevzdělaný člověk, jakým byl tehdy Fraunhofer. Ten zase nebyl schopen vytvořit teorii spekter.

Základy klasické teorie záření položil GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF (1824—1887), který v r. 1859 dokázal zákon o vztahu mezi emisí a absorpcí světla a který navíc s Bunsenem založil spektrální analýzu. Touto metodou se nejen poznalo složení hvězd a byly objeveny nové chemické prvky, ale byla také zasazena rána názoru některých filozofů (Hegela) o tom, že přírodověda není zásadně schopna poznat podstatu přírodních jevů a že k tomu je povolána přírodní filozofie. Jako příklad Hegel uváděl, že přírodověda nikdy nepozná chemické složení hvězd. Kirchhoff dále definoval pojem černého tělesa a ukázal principiální význam úlohy určit jeho spektrum. Tento program tížil fyziky až do Plancka (1900); předtím ještě našli dílčí zákony záření černého tělesa Stefan, Boltzmann a Wien, který dostal za své výsledky Nobelovu cenu, ač k úplnému řešení měl ještě daleko. Ani angličtí fyzici Rayleigh a Jeans nebyli schopni z klasické teorie odvodit víc než přibližnou formuli. Tato skutečnost zarážela Plancka o to víc, že jeho berlínští kolegové, experimentátoři Rubens a Curlbaum, mu objasnili, jak jednoduché je spektrum rozžhaveného tělesa. Konečně 14. prosince 1900 oznamuje Planck v Berlíně svůj objev radiačního zákona; tento den lze považovat za den zrodu kvantové fyziky. Objevený fakt však nejvíc překvapil samotného autora. Od této chvíle až do r. 1925 sílí ve fyzikální teorii váha jeho kvantové „hypotézy“ (ne ještě „teorie“). Všimněme si, jak se fyzika vyvíjela pod vlivem kvantové hypotézy.

KVANTOVÁ HYPOTÉZA A FYZIKA MIKROSVĚTA

Planckova interpretace zákona záření černého tělesa byla zprvu autorem samým chápána jen jako prostředek ad hoc, umožňující odvození radičního zákona. Trvalým výsledkem však bylo zjištění, že emise světla se neděje spojitě, ale v kvantech.

MAX KARL ERNST PLANCK (1858—1947) byl tedy mužem, který převrátil naruby starou filozofickou zásadu „natura non facit saltus“ (příroda nedělá skoků). Byl synem profesora práv v Kielu a po maturitě se rozhodoval mezi dráhou klavírního virtuóza a fyzika. Vzdor radám svého profesora fyziky, že tato věda je uzavřena a nestojí za to, aby se jí mladý člověk věnoval, přiklonil se k fyzice a postaral se o to, aby v ní bylo o čem bádát. Věnoval se činnosti pedagogické a jako profesor teoretické fyziky v Berlíně napsal velkou učebnici tohoto oboru; jeho oblíbeným předmětem byla termodynamika — a tak se dostal také k termodynamice záření. Zapsal se však i do dějin teorie relativity objevem vztahu mezi hybností, energií a hmotností.

Planckova teorie světelného kvanta vzbudila jen malou pozornost. První z těch, kdo ji dále rozvinuli, byl Einstein, který pomocí ní vysvětlil fotoefekt; přitom dospěl k názoru, že světlo je soubor fotonů, jež nesou energii, hybnost, spin aj. — stejně jako každá jiná částice. Tím byl objeven foton (1905), jemuž dal Einstein název a jímž obnovil na dialekticky vyšší úrovni korpuskulární teorii Newtonovu, sto let předtím zavrženou. Navíc bylo zřejmé, že kvantová hypotéza je použitelná nejen v teorii záření; teprve tím na sebe upoutala patřičnou pozornost.

Další důkazy kvantové povahy záření pocházejí od ARTHURA HOLLYHO COMPTONA, který r. 1922 objasnil rozptyl rentgenovských fotonů na elektronech. Obdobný jev, tj. rozptyl fotonu na molekulách, předpověděl rakouský fyzik A. G. Smekal a experimentálně jej dokázal sir CHANDRASEKHARA VENKATA RAMAN v Indii (1928) a v SSSR Mandelštam s Landsbergem. Nobelova cena však putovala do Indie. Sovětští fyzici existenci jevu předpokládali již před Ramanovým objevem, ale chtěli

ho prokázat na diamantu; jev pozorovali v témž roce jako Raman, vytisknutí článku se však v německém časopise zdrželo. Raman jev zpozoroval u benzenu hned na první pokus a poslal do Anglie obšírný telegram, který uveřejnil populární časopis *Nature* — a tak byla Ramanova priorita zajištěna. Od té doby se jmenuje tento jev v SSSR kombinovaný rozptyl světla, v německé oblasti Smekalův-Ramanův jev a jinde ve světě Ramanův rozptyl.

Po Einsteinovi další významné zobecnění provedl ve své disertační práci Francouz — vévoda LOUIS VICTOR DE BROGLIE: prohlásil, že všechny částice bez výjimky mají jak korpuskulární, tak vlnové vlastnosti (koncepte korpuskulárně-vlnového dualismu z r. 1924).

Působil jako profesor fyziky v Paříži a po celou první světovou válku byl u telegrafní služby na Eiffelově věži. Jeho objev z r. 1924 nejen že byl potvrzen r. 1927, když C. J. Davisson, L. H. Germer a G. P. Thomson pozorovali interferenci elektronových svazků na krystalové mřížce — ale, což je ještě významnější, jeho pojetí inspirovalo E. Schrödingera k formulaci nové vlnové mechaniky.

Ještě než se k ní obrátíme, poznamenejme, že pomocí kvantové hypotézy byly vypracovány další dvě významné teorie konkrétních fyzikálních jevů: Bohr v r. 1913 vypracoval teorii planetárního modelu atomu a Einstein v r. 1907 založil kvantovou teorii měrného tepla. Planetární model navrhl sice již dříve J. J. Thomson, avšak bez matematického doprovodu. Bohrovu matematickou teorii tohoto problému ještě dále rozvinul mnichovský profesor A. Sommerfeld. Když se však jednalo o udělení Nobelovy ceny za jeho životní dílo, dostala kvantová fyzika nový směr — Sommerfeldův nejmilejší žák, 24letý W. K. Heisenberg, vyslovil svůj princip neurčitosti. Tím se ovšem koncepte přesně určených drah elektronů v atomu stala anachronismem, padlo dosavadní pojetí kvantové fyziky, a do Stockholmu jel pro cenu místo učitele žák. Principem neurčitosti byl zároveň učiněn první krok k dnešnímu pojetí kvantové fyziky.

VZNIK A VÝVOJ SOUČASNÉ KVANTOVÉ FYZIKY

Zatímco Bohr prostě postuloval dovolené dráhy elektronů v atomu tak, aby výpočet byl ve shodě s měřením, de Broglie si položil otázku, proč tomu tak je. Zjistil, že dovolené dráhy jsou ty, na něž se vejde celistvý počet de Broglieových vln elektronu. Jde tedy o jakousi vlnovou interpretaci Bohrova modelu atomu. Z toho však ERWIN SCHRÖDINGER (1887—1961) usoudil, že vztah mezi novou mechanikou, kterou je třeba najít, a mezi newtonovskou mechanikou je analogický jako vztah mezi vlnovou optikou a geometrickou optikou. Ze zmíněných čtyř oborů*) tedy bylo jen jedno políčko prázdné („vlnová mechanika“), a to na základě zmíněné analogie Schrödinger vyplnil. Vyšel z Broglieho koncepce „materiálních vln“ a již na počátku r. 1926 se objevuje jeho práce *Kvantování jako problém vlastních hodnot*. Obsahuje proslulou Schrödingerovu rovnici i výpočty, které vedou ke stejným výsledkům jako teorie Bohrova — navíc však mizí všechna slabá místa Bohrova modelu atomu. Pragmatická cena nové teorie byla nesporná, leč ani sám Schrödinger nepoznal, jaký význam má vlnová funkce v jeho výpočtech; později, když se výklad našel, nikdy ho neuznal. Nepochopitelné bylo také to, že obdobná relativistická vlnová rovnice, čili rovnice obecnější než jeho proslulá nerelativistická rovnice — dává horší výsledky. Současně s novou vlnovou mechanikou Schrödingera se objevuje nová maticová mechanika německého profesora WERNERA KARLA HEISENBERGA (1901 až 1976); Schrödinger však vzápětí dokazuje, že obě mechaniky jsou ekvivalentní.

*)

| obor | optika | mechanika |
|-----------------|----------------------|-----------------------|
| nevlňová teorie | geometrická optika | newtonovská mechanika |
| vlnová teorie | vlnová teorie světla | vlnová mechanika |

Význam vlnové funkce objevili MAX BORN a PASCUAL JORDAN. Jejich interpretace byla tak překvapující, že ani Einstein, ani de Broglie, ani sám Schrödinger ji neuznali. Větou, že druhá mocnina absolutní hodnoty oné vlnové funkce představuje hustotu pravděpodobnosti, se zavádí do kvantové mechaniky pravděpodobnostní koncepce. Einsteinovi se nezdálo, že by se i pohyb jediné částice řídil statistickými zákony; prohlásil, že nevěří, že by bůh hrál v kostky. Někteří jeho následovníci se mylně domnívali, že existují nějaké nám dosud neznámé, hlubší skutečnosti, které tuto statističnost způsobují. Jde o tzv. koncepci skrytých parametrů (např. D. Bohm).

Potíž s relativistickou kvantovou rovnicí Schrödingerovou, kterou později formulovali také Klein, Gordon a sovětský fyzik Fok, se nakonec plně objasnila, a to v souvislosti s pojmem spinu částice. V době slávy planetárního modelu atomu se někteří myslitelé posmívali stoupencům Bohrovým a říkali, že zbývá ještě elektronům připsat rotaci — a pak budou Zemi tak podobny, že bude jen třeba s obyvateli na nich navázat styky. Američtí fyzici S. Goudsmit a G. E. Uhlenbeck skutečně tento rotační pohyb, spin, elektronům připsali (1925). Po odeslání článku do redakce si vypočítali, že periferní oblasti elektronu by musely mít nadsvětelné rychlosti, což striktně zakazuje teorie relativity. Jejich prosbu o vyřazení článku však jindy superkritický redaktor Ehrenfest odmítl s tím, že mají právo na omyl. Spin (ve smyslu vlastního momentu hybnosti částice, nikoliv již jako mechanická rotace částice kolem vlastní osy) ve fyzice zůstal a touto veličinou doplnil WOLFGANG PAULI Schrödingerovu rovnici. Přesto však, že Pauliho rovnice přinášela ještě lepší výsledky než Schrödingerova, zmíněná „kosmetická vada“ teorie, tj. vnesení spinu do teorie zvenčí, neobyčejně vadila anglickému fyzikovi PAULU ADRIENOVÍ MAURICOVI DIRACOVÍ (1902—1984). Jeho úsilí formulovat novou pohybovou rovnici elektronu bylo konečně r. 1928 korunováno úspěchem: získal relativistickou kvantovou rovnici pro pohyb elektronu, do níž netřeba spin vnášet zvenčí jako u rovnice Pauliho, neboť je v ní obsažen implicitně od samého začátku. Důsledky z ní plynoucí byly ve shodě s pokusem. Ukázalo se dále,

že jeho rovnice platí jen pro částice se spinem rovným jedné polovině, kdežto relativistická rovnice Schrödingera, zvaná Kleinova-Gordonova, vystihuje pohyb částic se spinem rovným nule. Tak byly nejen získány, ale také pochopeny a ověřeny pohybové rovnice pro všechny tehdy známé druhy částic. Tím byla dovršena kvantová mechanika částic. Dirac a další fyzici začali proto ihned budovat také kvantovou elektrodynamiku a posléze kvantovou teorii polí.

Uvedené teorie tvoří základ kvantově teoretické konceptuální soustavy a nového fyzikálního obrazu světa, jímž se podstatně mění zejména názor na procesy v mikrosvětě. Základem konceptuální soustavy je kvantová mechanika, kvantová teorie polí (zejména kvantová elektrodynamika) a kvantová statistická fyzika. Jejich úspěch je opravdu velký: pomocí nich byla popsána řada jevů dosud nevysvětlitelných, byla předpovězena existence nových jevů i nových částic a nebyl nalezen jediný jev, který by kvantové teorii odporoval. Nezbývalo tedy, než napříště mluvit o kvantové teorii a ne už o kvantové hypotéze, přijmout nové filozofické koncepce této teorie a také této teorii vyučovat a podle ní postupovat v praxi. Ve fyzice mikrosvětě prakticky končí doba geniálních odhadů a překvapujících pokusů; všechno musí být předem podloženo rozsáhlými, profesionálně dokonalými výpočty, u nichž se správné důsledky automaticky předpokládají, a proto ani příliš nepřekvapují. Kvantová fyzika tedy dospívá do své klasické fáze. Dotkněme se nyní co nejstručněji jejich úspěchů v naznačených směrech a poněkud podrobněji i jejich základních idejích.

KVANTOVÁ FYZIKA A NOVÉ FILOZOFICKÉ IDEJE

Jde zhruba o čtyři hlavní ideje kvantové mechaniky a kvantové teorie polí:

(1) Idea o veskrze diskrétním, atomárním charakteru hmoty. Látka i pole jsou složeny z elementárních, subatomárních částic — bosonů nebo fermionů. Proto také všechny parametry hmoty jako hmotnost, energie, náboj atd. se mění nespojitě.

(2) Idea vlnově korpuskulárního dualismu. Každá částice má jak vlnové, tak korpuskulární vlastnosti; je tedy jako římský bůh Janus o dvou tvářích: záleží jen na experimentální situaci, do níž ji vložíme — a ukáže nám pak buď jednu, nebo druhou tvář. Proto třeba někdejší spory mezi korpuskulární a vlnovou teorií světla byly jen důsledkem jednostranného chápání optických jevů. Samotným procesem měření zasahujeme do pohybu částice natolik, že jeden z aspektů „zničíme“, čili poznat můžeme jen ten druhý; přesně to vyjádřil Bohr v principu komplementarity.

(3) Obdobně nelze přesně změřit u dané částice současně její polohu i rychlost; naše měření jsou tedy od začátku zatížena jistou chybou, a proto také výsledky kvantové teorie neudávají zpravidla ostré, ale pouze pravděpodobné hodnoty veličin. Princip neurčitosti ovšem nepopírá marxistickou tezi o poznatelnosti světa, ale ukazuje omezenou použitelnost našich dřívějších, navyklých klasických pojmů a představ na daleko složitější problémy mikrosvětě. Zkrátka fyzika mikrosvětě je jiná než fyzika makrosvětě; je obecnější. K těmto závěrům dospěla kvantová mechanika.

(4) Z kvantové teorie také plyne, že částice a ovšem i soustavy z nich složené nejsou věčné, neměnné, ale podle daných podmínek se s určitou pravděpodobností rodí, rozpadají a přeměňují — avšak v plné shodě se zákony zachování.

Zachovávají se nejen známé veličiny jako energie, ale také různé (i neelektrické) náboje. V oblasti částic příroda nikdy nedělá zmetky — všechny částice dané skupiny jsou absolutně stejné a v určitých situacích dokonce totožné. Podle principu totožnosti částic si tedy nemůžeme žádnou z nich označit, nepoznáme, zda určitý elektron pochází z toho či z onoho atomu; na původu částic vůbec nezáleží. Některé částice jsou „nesnášenlivé“ — v dané soustavě a v daném stavu může být nanejvýš jedna z nich. Vylučovací princip Pauliho vyjadřující tuto skutečnost platí pro fermiony (částice s poločíselným spinem), zhruba řečeno pro částice látky; je vyjádřením dávno odpozorované skutečnosti — neprostupnosti látek. Bosony jsou „snášenlivé“ a může jich být i více v jed-

nom stavu; ostatně odedávna se ví, že fotony a jimi vytvořené světelné paprsky si nepřekáží. Teprve kvantová teorie nahlédla také do podstaty interakce. Jak je možné, že dvě tělesa se přitahují gravitačními či elektrickými silami, ačkoli mezi nimi nic není; jak je možné, že na sebe působí na dálku bez zprostředkování nějakým mezilehlým činitelem? Faraday poznal, že tímto mezilehlým agens je pole, jež se šíří konečnou rychlostí od jedné částice ke druhé. Co však je podstatou pole a jak může pole držet pohromadě částice? Heisenberg odpověděl, že přitahování je zprostředkováno výměnnou interakcí. Kdyby se někdo z jiného světa díval na volejbalové utkání, záhy by asi poznal, že hráče nedrží pohromadě nic, než to, že si obě strany vyměňují míč. V jednom okamžiku je jedna strana bohatší o míč, za chvíli druhá. Neutron a proton v atomovém jádře jsou také dva stejné nukleony, vyměňují si ustavičně mezon a jsou tedy chvíli neutronem, chvíli protonem. Elektromagnetickou interakcí zprostředkovávají fotony, gravitaci zatím hypotetické gravitony. Teorie gravitace je zatím jedinou oblastí, kde kvantová teorie učinila teprve první kroky.

KVANTOVÁ FYZIKA A FYZIKA ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC A ELEMENTÁRNÍCH INTERAKCÍ

Jde o teoreticky nejzávažnější oblast současné fyziky, o oblast, v níž není bez kvantové teorie možný jediný krok; právě v této oblasti relativistická kvantová teorie dosáhla svých prvních velkých vítězství. Opatrní fyzici zamýšlející se kriticky nad pojmem „elementární“ nahrazují někdy toto slovo termínem fundamentální. Dirac v r. 1930 na základě svých pohybových rovnic elektronu předpověděl, že musí k elektronu existovat také antičástice — pozitron. Když za dva roky nato C. D. Anderson v kosmickém záření jeho přítomnost dokázal, musela se koncepce antihmoty brát vážně. Antičástice se mohou navzájem zničit, anihilovat, přičemž vznikne pár fotonů; dokázali to r. 1933 manželé Joliot-Curieovi společně s J. Thibaudem. Energie vzniklých fotonů je dána

Einsteinovým vzorcem udávajícím vztah mezi hmotností a energií částic. Opačný proces, tj. kreaci elektron-pozitronového páru z kvant gama, dokázali téhož roku Joliot-Curieovi, Anderson, Blackett a Ital G. P. Occhialini. Teorii obou procesů podal JACOB ROBERT OPPENHEIMER, prapotomek pražského rabína a pozdější „otec“ jaderné pumy. Některé z Diracových předpovědí dodnes ověřeny nebyly — např. možnost existence magnetických monopolů, kterou však vylučuje Maxwellova teorie; marně se po nich nedávno pátralo ve Spojeném ústavu jaderných výzkumů v Dubně u Moskvy.

Od dob Andersonových nastal lov na elementární částice, který trvá dodnes; jména největších lovců lze snadno najít v seznamu laureátů Nobelovy ceny. Zmiňme se alespoň o J. Chadwickovi, objeviteli neutronu, o Japonci H. Yukawovi, který předpověděl mezony, o E. G. Segréovi a o O. Chamberlainovi, kteří našli antiproton, a o B. Richterovi, S. C. C. Tingovi a P. W. Andersonovi, kteří objevili celou novou třídu částic psí.

Neméně významné byly i objevy vlastností některých „starých“ částic; O. Stern např. zjistil magnetický moment protonu, P. Kusch anomální magnetický moment elektronu a R. Hofstädter dokonce strukturu nukleonu. Na základě rozptylu částic se totiž zjistila určitá struktura rozdělení elektrického náboje uvnitř protonu a dokonce neutronu. Jasně ve světě částic a v jejich systematické zjednal Gell-Mann, který provedl klasifikaci částic; tím připomíná Mendělejeva 20. stol.

Vůdčí principy při těchto objevech ovšem plynou z obecných teoretických principů. Patří k nim např. princip parity objevený Wignerem a zobecněný v CPT-teorém W. Paulim (1955). Možnost narušení parity při slabých interakcích byla vyslovena T. D. Leem a Ch. N. Yangem; experimentální důkaz narušení podal Ch. Wu (1957). Po Diracovi obohatili kvantovou elektrodynamiku R. P. Feynman, J. Schwinger a S. Tomonaga a důležitou skutečnost, že lze spojit v jedinou teorii elektrodynamiku a teorii slabé interakce, prokázali Weinberg, Glashow a Pakistanec Salam. Tím je ovšem nastolena na pořad dne otázka integrace teorií různých interakcí. Za několik let mohou tedy být dějiny fyziky částic opět bohatší.

Je možné, že se experimentálně potvrdí i kvarková struktura částic postulovaná G. Zweigem a Gell-Mannem.

KVANTOVÁ TEORIE A STATISTICKÁ FYZIKA

Po zdánlivě nejjednodušších hmotných strukturách, elementárních částicích, jsou skutečně nejjednodušší plyny, u nichž lze interakci mezi částicemi zanedbat. V této oblasti a ve třídě příbuzných složitějších problémů kraluje kvantová statistická fyzika.

Nové skutečnosti, zejména kvantovou teorii, přinesl do této říše indický fyzik ŠATENDRANÁTH BOSE v r. 1924 poté, když se vrátil ze stáže u Curieové v Paříži. Vypracoval teorii statistického rozdělení částí s celočíselným spinem, tj. bosonů, a nově odtud odvodil Planckův zákon. Pojem spinu sice ještě nebyl na světě, ale Einstein, který na Boseho ideje navázal, poznal, k čemu se nová teorie hodí. Einstein podal další odvození Planckova zákona, přičemž zavedl rozlišování zářivých procesů na emisi, absorpci a vynucenou emisi záření (1919). Tak vznikla nejen statistická fyzika bosonů, ale také byla naznačena možnost využití procesu vynucené emise záření. Na této cestě od Einsteina k laserům se zprvu postupovalo velmi pomalu.

V r. 1939 sovětský fyzik V. A. Fabrikant dokázal možnost inverze populací elektronových hladin v látkách a v r. 1951 vyslovil princip zesílení elektromagnetického záření při průchodu světla aktivním prostředím, tj. prostředím, v němž je zmíněná inverze realizována. K realizaci maseru se dospělo r. 1945 a poté američtí fyzikové Ch. H. Townes a A. L. Schawlow a sovětské badatelé N. G. Basov a A. M. Prochorov položili základy kvantové elektroniky, podle nichž uvedl do chodu T. H. Maiman první rubínový laser (1960). Právě tento objev stimuloval nebývalý rozvoj optiky, vznikla kvantová optika a kvantová elektronika, nelineární optika a laserová spektroskopie. Laser jako zdroj koherentního světla umožnil uskutečnit také Gaborovu ideu holografie. Nastává renaissance optiky, která se tak stala významnou složkou moderní vědy a techniky i přílibem nových aplikací.

Zakladatelem statistické fyziky fermionů je slavný italský teoretik ENRICO FERMI (1901—1954) a Dirac. Jejich teorie se významně uplatňuje v teorii kovů a pevných látek vůbec, stejně jako v teorii atomového jádra a ve fyzice plazmatu. Velké zásluhy o rozvoj fyziky plazmatu si získal I. Langmuir a L. Tonks, Ind M. N. Saha a další. S touto problematikou souvisí magnetohydrodynamika, o níž se zasloužili švédský astrofyzik Alfvén, sovětský teoretik Landau a jiní. Alfvén ji aplikoval na teorii hvězd a Tonks učinil první kroky k teorii řízené termionukleární reakce, jež se asi odehraje v plazmatu. Počet jmen i problémů v této oblasti je značný, k předním badatelům patří dále I. J. Tamm, A. G. Volosov, A. I. Achiezer, J. L. Spitzer aj.

KVANTOVÁ TEORIE A FYZIKA ATOMOVÉHO JÁDRA

Historie jaderné fyziky vlastně začala ještě před objevem atomového jádra, a to Becquerelovým objevem přirozené radioaktivity r. 1896. O významu pionýrských prací Curieových, Rutherforda a dalších již byla zmínka. K tomu je třeba ještě dodat, že Rutherford se Soddym našli také zákon radioaktivních přeměn v exponenciálním tvaru a H. Geiger a J. M. Nutallem uvedli ve vztah rozpadovou konstantu tohoto zákona s poločasem rozpadu prvku a s doletem částic, čili s veličinami měřitelnými. Teoreticky to hlouběji zdůvodnil G. Gamow. Zjistilo se dále, že transmutace prvků při radioaktivních procesech probíhá ve čtyřech rozpadových řadách; jde o řadu thoriovou, neptuniovou (objevena až za 2. světové války), uranovou a aktiniovou. Pauli r. 1933 vyslovil předpoklad, že radioaktivní záření musí obsahovat ještě neutrina (vedle částic alfa, beta a gama), což potvrdili Cowan, F. Reines a Harrison r. 1954. Z četných aplikací radioaktivního záření a jeho nositelů, radioizotopů, jsou významné aplikace: v lékařství, Hevesyho metoda využívající izotopů k indikaci chemických procesů, Libbyho objev „absolutní chronologie“, tj. metody umožňující určit podle zastoupení izotopů v hornině či jiném vzorku jeho stáří, defektoskopické metody a další.

Jaderná fyzika před 2. světovou válkou udělala významné kroky, byla však ještě stále na začátku. Bylo třeba zdokonalit experimentální a měřicí techniku, ale také formulovat teorii atomového jádra. Teprve potom bylo možno očekávat další významné objevy a aplikace.

Experimentální vybavení laboratoří se skládalo nejprve ze spintariskopu pro zjišťování částic alfa (Crookes, 1903), difúzní mlžné komory (Wilson, 1912), počítačů elektrických impulsů způsobených ionizací plynů (Geiger a Müller, 1928), Čerenkovových počítačů; k tomu později přistoupily metody fotografické detekce, bublinová komora (Glaser), cyklotron (Lawrence) a další urychlovače částic (van de Graafův generátor).

Fyzici však nebyli jen pozorovateli jaderných procesů, ale chtěli je také ovlivnit. Úspěchem v tomto směru byl objev umělé radioaktivity manželi Joliot-Curieovými, objev nových prvků a izotopů, které jaderní chemikové již dovedli oddělit, a přeměny prvků vůbec; začal s nimi již Rutherford r. 1919, když z dusíku ostřelovaného částicemi alfa učinil kyslík. Nejdůležitější však byl objev štěpení uranu 235 při ostřelování pomalými neutrony (Hahn, 1938). K úspěšnému průběhu této reakce, která fyziky fascinovala svou vysokou energetickou bilancí, bylo však třeba neutrony ne zrychlovat, ale zpomalovat, k čemuž slouží moderátory — a aby nedošlo k výbuchu, je třeba nadbytečné neutrony také někdy lapat kadmiovými tyčemi. Na těchto principech postavil Fermi první jaderný reaktor (1942) a vědecký tým vedený Oppenheimerem jadernou bombu (1945). Teller se později „zasloužil“ o sestavení termonukleární bomby. V Německu za války prováděl obdobné práce v daleko menším rozsahu Heisenberg — a když začalo neblahé soutěžení po válce, vyrovnal Sovětský svaz počáteční předstih USA zásluhou Kurčatova, Kapicy, Landaua aj. V poválečném období našla jaderná fyzika a technika také nesčetné užitečné aplikace, zejména v energetice, v přípravě nových látek a zařízení aj.

Experimentátoři změřili nejrůznější vlastnosti atomových jader, objevili nové, „umělé“ chemické prvky, které sami „namíchali“ aj. V teorii se H. Bethe zasloužil o po-

pis jaderných reakcí a dějů probíhajících v nitru hvězd; konečně vznikly také kvantové modely atomového jádra, zejména slupkový model Goepfertové a H. Jensena a zobecněný model A. Bohra, B. Mottelsova a J. Rainwatera.

KVANTOVÁ TEORIE VE FYZICE ATOMŮ A MOLEKUL

Pod pojmem fyzika atomů se zpravidla rozumí fyzika elektronového obalu atomů. Nejdůležitější metodou poznání fyzikálních vlastností atomů a molekul byly a jsou metody spektroskopické. Kvantová teorie spolu se spektroskopii vedla k poznání elektronových hladin atomů; tutéž strukturu atomů potvrdily pokusy J. Francka a G. Hertze (byl synovcem H. Hertze, objevitele elektromagnetických vln). Informace o spektrech atomů se shromažďují od dob Balmerových, který r. 1885 formuloval první vzorec pro frekvenci spektrálních čar vodíku; měří se dvojným způsobem: metodami optické spektroskopie a metodami rentgenové spektroskopie. Na počátku prvé metody stojí po Balmerovi F. Paschen, který objevil a zkoumal infračervená spektra atomů, a Lyman, který činil totéž v ultrafialové oblasti spektra. Počátky úspěchů v rentgenové spektroskopii se pojí se jménem anglického fyzika H. G. J. Moseleye. Na jeho výsledky shrnuté ve vzorci pro frekvenci rentgenovských čar navázal Švéd K. M. G. Siegbahn, který také sestrojil vhodný vakuový spektroskop. V tomtéž oboru úspěšně pracoval náš profesor V. Dolejšek, žák Heyrovského. Dolejšek zahynul za 2. světové války v koncentračním táboře. Spektroskopické výsledky by nebyly pro poznání atomu nic platné, kdyby nebylo kvantové teorie. Právě na problematice atomových spekter tuto teorii ověřovali a prohlubovali zakladatelé kvantové mechaniky — od Bohra až k Diracovi a experimentátoři od Rydberga až k Paschenovi a Lambovi.

Mnohem složitější než problém spekter atomu je problém molekul. Molekulová experimentální spektroskopie začíná Deslandresem v 19. stol. Kvantová teorie molekul však začíná zjištěním, že je možno zkoumat oddě-

leně spektra elektronová, vibrační a rotační (Born, Oppenheimer, 1927). Následují teoretické práce Betheho a Placzeka, které ukazují, že je třeba při určování spekter užít teorie geometrické symetrie molekul; práce Tiszy, E. Tellera, sovětských fyziků Volkenštejna, Jeljaševiče, Stěpanova a kanadského chemika G. Herzberga umožnily podrobně poznat elektronová a vibrační spektra molekul. Podrobnou matematickou teorii vibračních spekter vypracovali E. B. Wilson, J. Decius, P. C. Cross a další. Brněnský rodák G. Placzek vypracoval první podrobnou teorii Ramanova rozptylu světla na molekulách. Pomineme další metody, jimiž se zkoumaly molekuly a jež patří hlavně do fyzikální chemie.

KVANTOVÁ FYZIKA A FYZIKA PEVNÝCH LÁTEK

Fyzika pevných látek má za sebou dlouhé „předkvantové“ období. Mechanické vlastnosti zkoumal jako první Galilei; studoval pevnost nosníků. Pružností se zabýval Hooke. U krystalických látek ovšem udivovala jejich symetrie: krystalky vody (sněhové vločky) mají šestičetnou osu symetrie (Kepler, 1611); krystaly křemene jsou navzájem geometricky podobné. Název krystal dal původně křemenu dánský lékař N. Stensen v r. 1669, z toho vzniklo české slovo křišťál. Když zjistil, že zmíněnou vlastnost mají i jiné látky, nazval je souhrnně krystaly. Soustavně zkoumal krystaly solí D. Guilielmini (1688) a obecně je popsal J. de l'Isle (1772). K zákonu o racionalitě odvozovacích koeficientů krystalů dospěl W. H. Miller (1839). F. Mohs sestavil stupnici tvrdosti. Klasifikaci krystalů na základě symetrie podal J. F. Ch. Hessel: zjistil, že je možných jen 32 krystalografických tříd a 230 prostorových grup symetrie.

Začas se však badatelé již nespokojili jen s „vnější geometrií“ krystalů a pokoušeli se, zatím jen matematicky, vystihnout také jejich vnitřní stavbu. Huygens přišel s představou o eliptických částicích vápence, aby v něm mohl vyložit dvojlom světla (1678); prostorovou periodicitu krystalů v důsledku štěpnosti v různých rovinách předpokládal T. Bergmann (1773). R. J. Haüy

navíc objasnil periodicitu krystalů ve všech třech směrech.

Krok od čistě geometrického chápání k fyzikálnímu učinil A. L. Seeber; zapomenuty byly starší snahy Boškovičovy. Když si konečně v 19. stol. fyzici zvykli na atomy, položil si M. Frankenhein otázku, zda by bylo možno na základě rozmístění atomů („bodových útvarů“) vysvětlit vnější symetrii krystalu. A. Bravais odpovídá kladně a odvozuje 14 typů prostorových mřížek. Konečně A. Schoenflies a J. Fedorov odvozují oněch 230 možných prostorových mříží a zavádějí novou symboliku pro symetrii krystalů. Nechyběly ovšem ani názory, že částice v krystalu jsou rozmístěny snad chaoticky, čímž se měla vysvětlit izotropie některých látek. O tom, kdo má pravdu, mohl rozhodnout jedině pokus. A ten učinil M. von Laue: existují-li pravidelně rozložené atomy v krystalu a je-li rentgenové záření elektromagnetické povahy, pak musí dojít k difrakci na krystalové mřížce. Když tuto ideu jeho asistent P. Knipping r. 1912 v laboratoři dokázal, bylo všechno teoreticky jasné, ale přesto nebylo možno určit vlnovou délku rentgenového záření; bylo tomu tak proto, že nebyla dosud známa prostorová perioda ani jediné mřížky. Pomoc přišla z Anglie od W. H. a W. L. Braggových (1913), kteří dospěli ke hledané hodnotě měřením doletu částic alfa po průchodu kamennou solí. Zdokonalili metodu rentgenové strukturální analýzy, takže od té doby fyzici „vidí“ do krystalové mřížky i do uspořádání jejích atomů. Tím se zároveň stala reálnou záležitostí rentgenová spektroskopie, neboť bylo také možno pomocí mřížek měřit vlnovou délku rentgenového záření. Později zjistil G. P. Thomson ve shodě s Broglieovou koncepcí korpuskulárně vlnového dualismu dokonce ohyb elektronů na krystalové mřížce. Roku 1936 dospěli D. P. Mitchell a P. N. Powers obdobně k neutronografii, založené na difrakci neutronů. Elektronovou strukturu magnetických a neuspořádaných soustav prozkoumali P. Anderson, Mott a van Vleck a strukturu bílkovin, zvláště hemoglobinu, našel L. Pauling. Poznání struktury látek byla první věc — nyní bylo třeba začít zkoumat další fyzikální vlastnosti: vlastnosti mechanické, tepelné a elektrické, podle nichž se rozli-

šují látky na kovy, polovodiče a dielektrika, dále vlastnosti magnetické a optické. Jako společný teoretický základ byla vypracována kvantová teorie pevných látek.

Výzkumy mechanických vlastností pevných látek jsou starého data a pojí se se jmény Hooka (1676), Younga (1801), Cauchyho (1822) aj. Mikroskopickou interpretaci elastických konstant podali Born, Karman, Huang a Jones ve 20. stol. Vlastnosti při velmi vysokých tlacích zkoumal P. W. Bridgman, který mj. dokázal, že na křivce tání neexistuje kritický bod. Jeho práce také vedly k syntéze diamantů (1955). Teorii kmitů krystalové mříže vypracovali Born, Karman, Huang, Leibfried a další.

Tepelnou vodivost zkoumal z mikroskopického hlediska C. F. Powell, Blanpied aj. Nesmírně rozsáhlý je dnes soubor poznatků o elektrických a magnetických vlastnostech látek. Ve fyzice dielektrik jsou významné práce L. Paulinga, L. Onsagera, Osborna a dalších; dielektrika se stálými elektrickými momenty (segnetoelektrika) studovali Egucchi, Valasek a jejich magnetickou obdobu, feromagnetika, zkoumali Langevin a Larmor. S pracemi v oblasti magnetismu souvisely práce, jež vedly k objevu magnetických rezonančních metod, které vypracovali Zavojskij, Torrey, Pound, Andrew a van Vleck. Vlivem magnetického pole může se stát anizotropní látkou také kapalina; zásluhy o poznání těchto kapalných krystalů mají zejména Reinitzer, Lehmann, G. W. Gray, J. P. de Gennes.

Fyzikou kovů a polovodičů se úspěšně zabývali Mott, Jones, Zener, Shockley aj. Jejich výsledkem je nejen důsledná kvantová teorie těchto látek a interpretace dříve známých jevů (např. Hallův a Wiedemannův-Franzův jev), ale i objevy nových skutečností (např. tranzistorový efekt objevený Bardeenem a Shockleym; kvantový Hallův jev objevený von Klitzingem); při výkladu jevů z této oblasti dobře slouží pásová teorie pevných látek. O teorii polovodičů se dále zasloužili Johnson, Wilson, sovětský fyzik A. F. Ioffe, jeho škola a další. V souvislosti s aplikacemi polovodičů v elektronice vyvstal závažný problém přípravy polovodičů vysoké čistoty s přesně definovaným zastoupením a lokalizací ne-

čistot; v tomto směru sehrály významnou roli studie Pfanna, Goodamma, Schottkyho a Czochralskiho.

Kromě polovodičů, jež představují zatím největší praktický přínos fyziky pevných látek, jsou ovšem zajímavé a slibné také supravodiče. Supravodivost je jev známý zatím jen při velmi nízkých teplotách; jejím objevitelem je H. Kamerlingh-Onnes (1913) a jeho současná teorie pochází od J. Bardeena, Coopera a Schrieffera (1957).

Kvantová teorie umožnila také významný pokrok v oblasti optických vlastností pevných látek, při výkladu interakce záření s látkou, stejně jako v oblasti luminescence a dalších již dříve známých jevů; ještě zajímavější je oblast nelineární optiky otevírající celé nové oblasti jevů dosud neznámých, jako je generace světla o vyšších harmonických frekvencích při průchodu nelineárním krystalem. Ze všech badatelů v této oblasti jmenujme alespoň průkopníka, profesora Leidenské a poté harvardské univerzity N. Bloembergena. Práce v této oblasti souvisejí s problematikou laserů a na ně navazují metody laserové spektroskopie, umožňující nejen hlubší poznání struktury hmoty než dosud, ale také ovládnutí chemických reakcí způsobem dosud netušeným. V těchto oblastech lze očekávat v nejbližší době řadu významných aplikací.

KVANTOVÁ FYZIKA VE VĚDÁCH

Kvantová teorie se uplatnila nečekaným způsobem i ve vědách fyzice vzdálených. Příkladem je práce Schrödingerova, objasňující principy života z hlediska kvantové teorie a statistické fyziky.

Rovněž chemie má blízko ke kvantové teorii; dnes dokonce již neexistuje žádná specifická chemická teorie. Téměř celá chemie spočívá na kvantové teorii; ta je také spojovacím článkem mezi fyzikou a chemií, takže hranice mezi oběma vědami jsou neostré a postupně mizí. Oblastí jejich společného zájmu je chemická fyzika a fyzikální chemie.

Velmi těsné vztahy má kvantová teorie k astrofyzice. Hlavním zdrojem informací jsou pro astrofyziku spektra

nejrůznějšího záření přicházejícího z kosmu a jedinou jejich teorií je opět teorie kvantová. Astronomie však kvantové fyzice nic nedluží. Naopak, poskytuje jí k experimentálnímu zkoumání částice natolik urychlené, že to v pozemských urychlovačích nemá zatím obdoby. Kosmické záření je tedy předmětem zájmu astronomů i fyziků. Existence čehosi tajemného, co způsobuje vybíjení nabitých elektroskopů, se tušila již velmi dávno. Avšak důkaz existence kosmického záření podal až r. 1912 rakouský fyzik V. F. Hess, který se vznesl balónem do výše 5 km a shledal, že příčinou ionizačních jevů je záření kosmického původu, jež je tím „tvrdší“ a intenzivnější, čím jsme výše. Následovaly práce Hessovy, Millikanovy, Mysovského, Skobelcyna a dalších, které tuto tezi potvrdily. Později se dokonce našly v kosmickém záření částice dosud neznámé na Zemi (pozitron našel Anderson r. 1932, mion S. H. Neddermeyer s Andersonem, mezon K a další Occhialini, hyperony Butler). Teprve potom se lidé pokusili při akceleraci částic úspěšně konkurovat přírodě pomocí mohutných urychlovačů.

CO OVLIVŇovalo V MINULOSTI VÝVOJ FYZIKY

Vývoj fyziky, stejně jako vývoj společnosti i všech složek společenského vědomí (k němuž patří také vědy), je zákonitý. Formulace příslušných zákonů v této obecné rovině je ovšem úkolem jiných věd než historie fyziky. Omezíme se proto jen na výčet nejjednodušších faktorů, jejichž souhra ovlivňovala vývoj fyziky. Zhruba lze tyto faktory rozdělit na činitele vzhledem k fyzice vnitřní, vnější a na činitele ostatní, tj. takové, jež nelze dosti dobře zařadit do žádné z uvedených skupin.

K významným vnitřním faktorům patří „vnitřní logika vědy“. Tento činitel se uplatňuje za situace, kdy jsou již známy principy nové, budoucí teorie, ne však teorie celá. Například jakmile byl jednou formulován gravitační zákon a pohybové rovnice Newtonovy, bylo třeba zaplnit jimi vymezenou „prázdnou oblast“, čili vývoj mechaniky se nemohl ubírat jiným směrem než k vytvoření nebeské mechaniky a analytické mechaniky. Totéž platilo o prostoru, který se otevřel po objevení Maxwellových rovnic před elektrodynamikou a optikou.

K objevu tak obecných „nosných principů“ ovšem dochází až v závěru dlouhého období kumulace dílčích zákonů a velkého počtu pokusů. Objevem oněch principů začíná zpravidla „heroické období“ příslušného oboru, kdy věda kráčí od jednoho úspěchu ke druhému, dovede předpovědět nové jevy, nové podrobnosti u známých jevů a v mechanice např. i nová tělesa sluneční soustavy. Teorie se postupně stává soustavou stále úplnější a logicky uzavřenější, je i předmětem výuky na školách a dlouho nebývá znám pokus, který by jí odporoval. Daná disciplína a teorie se zkrátka stává klasickou. Objevují se snahy dát jí také dokonalou formu axiomatic-

kou. Platnost jejich principů však badatelé zpravidla extrapolují, a to prostě proto, že neznají v dané době nic dokonalejšího. Proto se třeba i Maxwell, který si nedovedl představit nic dokonalejšího než mechaniku, pokouší interpretovat své výsledky mechanicky; Clausius přichází s tezí o „smrti“ vesmíru z důvodů termodynamických atd.

Omezenost dané klasické teorie, případně celého obrazu přírody si začínají uvědomovat jen největší myslitelé, a to zpravidla nejprve v rovině filozofické. Krize oboru, či dokonce krize fyziky nastane, jakmile se ukáže, že pozorované skutečnosti se žádným způsobem nedají vtěsnat do daného teoretického schématu. Výchozí diskuse z této situace ovšem najdou jen skuteční géniové. Po pádu newtonovské fyziky musel přijít Einstein, aby byla vytvořena nová mechanika velkých rychlostí; při objevu možnosti zdánlivého zániku hmoty musel přijít Lenin a ve filozofické rovině podat novou definici hmoty, a to natolik obecnou, aby se vyloučilo její ztotožnění s jakoukoli její speciální formou; jediným jejím atributem zůstává objektivní existence nezávisle na vědomí. Vstup do fyziky mikrosvětla byl zase možný jedině pomocí kvantové teorie s novým matematickým aparátem, který jí dal Schrödinger, Heisenberg, Born a Dirac, a pomocí nového filozofického pojetí veličin v něm vystupujících, které pochází od Heisenberga, Borny, Jordana a N. Bohra.

Z toho, co bylo uvedeno, vyplývá mimořádný význam matematiky pro fyziku; jako metodický základ fyzikálních teorií patří úroveň matematiky v dané epoše k dalším významným vnitřním faktorům. Bez nového matematického aparátu nelze nové problémy vůbec formulovat, a tím méně řešit. Starověk s matematikou konstantních veličin nemohl vůbec formulovat dynamické problémy, neboť ty předpokládaly objev proměnných veličin, limit, derivací a integrálů.

Také bez opuštění starého, již příliš úzkého fyzikálního obrazu přírody není možný další rozvoj vědy; na tom je vidět, jak hluboký význam pro fyziku mají také filozofické aspekty jejich teorií. Nejnápadnějším rysem fyzikálních teorií je však jejich matematizace a stále

obecnější a abstraktnější obsah. Matematika umožňuje také pochopit splývání fyzikálních disciplín, např. optiky s elektrodynamikou i jejich vzájemnou hierarchickou podřízenost; ukazuje totiž, která z teorií je obecnější a jaké jsou hranice speciálních odvětví a aproximativních teorií.

Vzdor vší formální dokonalosti teorie se však již několikrát v minulosti stalo, že teorie se stávala postupně obsahově sterilnější, pohybovala se stále v jednom kruhu a nakonec nedovedla vysvětlit nejelementárnější experimentální fakta nezapadající přesně do jejího systému. Stalo se to např. při výkladu spekter vodíku a černého tělesa z hledisek klasické fyziky. Po delším hledání se nakonec najde nějaký jednoduchý matematický model mimo tuto teorii, např. Bohrova teorie atomu, která ač logicky nedokonalá, přesto dává nepochopitelně dobré výsledky, a to zpravidla v těch oblastech, kde právě klasická teorie zklamala. To je ovšem již symptomem zrodu nové teorie; fyzici pak hledají principy nové teorie — a po jejich nalezení se ovšem celá historie na vyšší úrovni opakuje. Je třeba poznamenat, že i na obzoru naší kvantové teorie není již nebe bez mráčku — i když zatím žádný pokus jí neprotiřečí a tak jí neusiluje o život.

Z faktorů vůči fyzice vnějších uveďme na prvním místě „společenskou poptávku“ po výsledcích vědy. Na mnohdy dominantní význam tohoto činitele upozornila právě marxistická teorie vývoje společnosti. Sám Marx správně říká, že potřeba parního stroje v tovární výrobě a dopravě 19. stol. stimulovala rozvoj teorie tepelných strojů a termodynamiky víc než desítky univerzit a akademií. Naopak, nedostatek této poptávky, např. v antické otrokářské společnosti, odsoudil objev parní turbíny k osudu objevů „předčasných“, a to přesto, že nechyběly ani náběhy k řešení, ani nebyl nedostatek talentů, schopných problém zvládnout. Vazba mezi stavem výroby a stavem vědy je ovšem dialektická, a tedy oboustranná. Nejen potřeby výroby určují stav vědy, ale také naopak fundamentální objevy v oblasti vědy podstatně ovlivňují rozvoj výrobních sil, který se nakonec nutně promítne i do oblasti výrobních vztahů se všemi z toho plynoucími společenskými a historickými důsledky. Dnes prožíváme

vědeckotechnickou revoluci ilustrující tyto oboustranné vztahy, jež jsou tak výrazné, že můžeme začít mluvit o vědě jako o výrobní síle.

K nezanedbatelným vnějším faktorům ovšem lze počítat také kulturní klima v daném místě a době, přízeň či nepřízeň vládnoucí třídy a jejich představitelů vůči vědě a jejím nositelům apod. Iniciativa panujících Ptolemaiovců a preference exaktních věd sehrála kdysi velmi významnou roli v dějinách alexandrijské vědy. Podobně pozitivní vliv sehrálo mínění převážné části antických řeckých filozofů: je nezbytné pěstovat matematiku a je třeba přistupovat k řešení fyzikálních problémů teoreticky, ne pouze prakticky. Obojí uvedené faktory postrádala kdysi vyspělejší Čína: matematika tam nepatřila do souboru věd nezbytných pro vzdělance a na každý problém bylo pohlíženo jen pod zorným úhlem užitečnosti. V islámském světě kalifové ve středověku podporovali exaktní vědy; když však islámské duchovenstvo namítalo, že leckteré závěry jsou ve sporu s koránem, skrývali se učenci za tezi o dvojí pravdě — že totiž jedna je pravda filozofická, vědecká, a jiná, „vyšší“, je pravda náboženská, a že tedy není důvod k bojům mezi vědou a náboženstvím. Nakonec duchovenstvo tuto tezi neuznalo a v mocenském zápase zvítězilo, a tak arabská věda definitivně ustoupila z někdejšího svého prvního místa v kulturních dějinách středověku.

Z faktorů, jež nejsou ani vnější, ani vnitřní, uvedme alespoň činitel, který by bylo možno označit jako „psychologický profil nositelů vědy“. Ve shodě se známými vztahy mezi úlohou osobností a mas v dějinách můžeme říci, že za daných podmínek, kdy je již společenská situace zralá k přijetí nových teorií, rozhoduje o urychlení či retardaci objevů také charakter tvůrčích osobností vědy. Například v dobách Kopernikových již nebyla možnost heliocentrického modelu sluneční soustavy žádným tajemstvím, a přece jediný Kopernik se vydal osamocen s důsledností a jasnozřivostí génia správným směrem a svoje dílo dokončil s obdivuhodnou dokonalostí. Totéž lze říci o Faradayovi, Einsteinovi a jiných. Také dnes čeká fyzika fundamentálních částic a fundamentálních interakcí na nového Einsteina či Heisenber-

ga, který provede geniální shrnutí, abstrakci, vybere snad již někde v matematice existující teoretický aparát a podle Leninových slov „vloží do teorie tolik fantazie“, že vytvoří novou, produktivní teorii, jež bude schopna nést ovoce celá desetiletí či dokonce staletí.

Zdá se snad podivné, že tak objektivní aparát, jakým je fyzikální teorie, potřebuje něco tak subjektivního, jako je fantazie. Skutečnost je však taková. Vždyť i tak elementární zákon, jako je zákon setrvačnosti, mluví o pohybu vůči inerciální vztažné soustavě, to jest soustavě, která ve skutečnosti nikde neexistuje a přibližně by byla realizována někde daleko od Země v mezihvězdném prostoru, kde nepůsobí prakticky žádné vnější síly. A přece Newton vztahoval pohyb těles právě k této „nereálné“ soustavě a odchylky od k ní vztaženého, idealizovaného pohybu konstantní rychlostí připsal na vrub „vnějších sil“, o jejichž existenci se přesvědčil jen na základě odlišnosti pohybových stavů ideálních a pozorovaných. Newton i jiní pocítovali nechuť uveřejňovat své revoluční výsledky.

Někteří slavní fyzici své výsledky někdy dokonce sami odmítli nebo zahodili. Cavendish je nepublikoval, Carnotovy principy termodynamiky pohodili dědicové do starého papíru, skromný Gibbs publikoval své objevy v málo známých časopisech a Leonardo da Vinci neměl čas své práce ani dokončit, ani publikovat a zanechal je v podobě rozsáhlých, téměř nečitelných zápisků.

K novým rysům vědecké práce současné epochy patří její skupinový charakter. V oblasti experimentální, kde některá zařízení svými rozměry připomínají celé továrny — s tím rozdílem, že jsou daleko složitější než jakýkoli výrobní závod —, není týmový charakter práce ničím novým. Nové je to, že se stává nezbytností i v oblasti teoretické. Za těchto podmínek již ovšem věda nemůže být převážně „romantickou záležitostí“ jako dříve, ale stává se činností přísně plánovanou s přesně vymezenou návazností na další práce teoretické, experimentální i na praxi. Není vyloučeno, že právě tento poslední faktor nabude ve fyzice role rozhodující, a není ovšem také a priori jisté, bude-li tato role vždy jen pozitivní.

Významná je také tendence ke smazávání rozdílů mezi

vědeckými a výrobními pracovišti, což je patrné např. u jaderných elektráren. Jestliže na počátku lidské historie byla jediným pramenem fyzikálního poznání praxe, nemůžeme se divit, kdyby nakonec, na vyšší úrovni, nabyla praxe opět tak významné role, o které se v klasické fyzice nikomu nesnilo.

NOBELOVY CENY ZA FYZIKU

*) V seznamu jsou uvedeni nejen lauréati Nobelovy ceny za fyziku, ale také lauréati za chemii a lékařství s fyziologií, pokud ovlivnili vývoj fyziky. Upouštíme od obvyklého řazení chronologického či abecedního a řadíme lauréaty podle oborů, aby byla alespoň přibližně patrna závažnost objevů v různých odvětvích fyziky 20. století.

MECHANIKA A PŘÍBUZNÉ PROBLÉMY

- 1904 sir *J. W. Strutt-Rayleigh* (Velká Británie): výzkum hustoty vzácných plynů a s tím související objev argonu
- 1904 sir *W. Ramsay* (Velká Británie): objev vzácných plynů v atmosféře, přesná měření jejich parametrů a určení místa v periodické soustavě chemických prvků; Nobelova cena za chemii
- 1932 *I. Langmuir* (USA): fyzikální a chemické vlastnosti mezifázových rozhraní (povrchů); Nobelova cena za chemii
- 1946 *P. W. Bridgman* (USA): fyzika extrémně vysokých tlaků

AKUSTIKA

- 1961 *G. von Békésy* (USA): objev fyzikálního mechanismu dráždění v ušním hlemýždi; Nobelova cena za lékařství a fyziologii

TERMIKA, STATISTICKÁ FYZIKA

- 1901 *J. H. van't Hoff* (Nizozemí): chemická kinetika, fyzika a chemie roztoků a zákony osmotického tlaku; Nobelova cena za chemii

- 1910 *J. D. van der Waals* (Nizozemí): stavová rovnice plynů a kapalin
 1913 *H. Kamerlingh-Onnes* (Nizozemí): fyzika nízkých teplot a objev supravodivosti
 1920 *Ch. É. Guillaume* (Francie): objev anomálií slitin niklu, objev invaru a alinvaru, přesná měření zejména teploty a času
 1920 *W. H. Nernst* (Německo): termochemie, třetí věta termodynamiky; Nobelova cena za chemii
 1962 *L. D. Landau* (SSSR): fyzika nízkých teplot, zejména makroskopická teorie supratekutosti kapalného hélia
 1968 *L. Onsager* (USA): termodynamika ireverzibilních procesů; Nobelova cena za chemii
 1977 *I. Prigogine* (Belgie): rozvoj termodynamiky nevratných procesů a jejích aplikací v chemii a biologii; Nobelova cena za chemii
 1978 *P. L. Kapica* (SSSR): experimentální objevy ve fyzice nízkých teplot, zejména u kapalného hélia

ELEKTRODYNAMIKA

- 1903 *S. A. Arrhenius* (Švédsko): elektrolytická disociace; Nobelova cena za chemii
 1906 *sir J. J. Thomson* (Velká Británie): elektrická vodivost plynů
 1909 *C. F. Braun* (Německo), *G. M. Marconi* (Itálie): rozvoj bezdrátové telegrafie
 1973 *L. Esaki* (Japonsko): tunelové diody
 I. Giaever (USA): rozvoj kryoelektroniky a potvrzení teoretických předpovědí v oboru supravodivosti
 B. D. Josephson (Velká Británie): Josephsonovy kontakty
 1985 *K. von Klitzing* (NSR): kvantový Hallův jev

OPTIKA A SPEKTROSKOPIE

- 1902 *H. A. Lorentz* (Nizozemí), *P. Zeeman* (Nizozemí): Zeemanův jev
 1907 *A. A. Michelson* (USA): přesné optické přístroje a metrologické pokusy s nimi provedené (mj. Michelsonův pokus)

- 1908 *G. Lippmann* (Francie): barevná fotografie na principu interference světla
 1911 *W. Wien* (Německo): zákony tepelného záření
 1912 *N. G. Dalén* (Švédsko): vynález automatických regulátorů pro osvětlení majáků
 1919 *J. Stark* (Německo): objev Dopplerova jevu u kanálových paprsků a objev Starkova jevu
 1930 *Ch. V. Raman* (Indie): objev Ramanova jevu
 1953 *F. Zernike* (Nizozemí): metoda fázového kontrastu a její aplikace v mikroskopii
 1964 *N. G. Basov* (SSSR), *A. M. Prochorov* (SSSR), *Ch. H. Townes* (USA): kvantová elektronika, lasery, masery
 1966 *A. Kastler* (Francie): optické metody Hertzových rezonancí v atomech
 1971 *D. Gabor* (Velká Británie): holografie
 1981 *K. M. Siegbahn* (Švédsko): elektronová spektroskopie
 N. Bloembergen (USA), *A. L. Schawlow* (USA): laserová spektroskopie

RADIOLOGIE (TJ. FYZIKA JINÉHO NEŽ OPTICKÉHO ZÁŘENÍ)

- 1901 *W. C. Röntgen* (Německo): objev rentgenového záření
 1905 *P. E. A. von Lenard* (Německo): výzkum katodových paprsků
 1914 *M. von Laue* (Německo): difrakce rentgenových paprsků na krystalech
 1915 *sir W. H. Bragg*, otec (Velká Británie), *sir W. L. Bragg*, syn (Velká Británie): strukturní analýza krystalů pomocí rentgenových paprsků
 1917 *Ch. G. Barkla* (Velká Británie): objev charakteristického rentgenového záření
 1921 *A. Einstein* (Německo): rozvoj teoretické fyziky, zejména teorie fotoefektu
 1924 *K. M. G. Siegbahn* (Švédsko): rentgenová spektroskopie
 1927 *A. H. Compton* (USA): objev Comptonova jevu
 Ch. T. R. Wilson (Velká Británie): objev principu Wilsonovy komory

- 1928 sir *O. W. Richardson* (Velká Británie): objev Richardsonova jevu a zákona termoemise elektronů
 1936 *V. F. Hess* (Rakousko): objev kosmického záření
 1958 *P. A. Čerenkov* (SSSR), *I. M. Frank* (SSSR), *I. J. Tamm* (SSSR): objev a popis Čerenkovova záření
 1961 *R. L. Mössbauer* (NSR): objev Mössbauerova jevu

KVANTOVÁ TEORIE

- 1918 *M. K. E. L. Planck* (Německo): založení kvantové teorie
 1929 *L. V. de Broglie* (Francie): objev vlnově korpuskulárního dualismu částic
 1932 *W. K. Heisenberg* (Německo): rozvoj kvantové mechaniky
 1933 *E. Schrödinger* (Rakousko), *P. A. M. Dirac* (Velká Británie): rozvoj kvantové teorie
 1945 *W. Pauli* (Rakousko): objev vylučovacího principu Pauliho
 1954 *M. Born* (Velká Británie): statistická interpretace vlnové funkce
 1957 *T. D. Lee* (USA), *Ch. N. Yang* (USA): objev narušení zákona zachování parity
 1963 *E. P. Wigner* (USA): objev principů symetrie
 1965 *S. I. Tomonaga* (Japonsko), *J. Schwinger* (USA), *R. P. Feynman* (USA): rozvinutí kvantové elektrodynamiky
 1979 *S. L. Glashow* (USA), *A. Salam* (Pakistán), *S. Weinberg* (USA): teorie elektroslabé interakce
 1980 *J. W. Cronin* (USA), *V. L. Fitch* (USA): objev narušení principu kombinované parity
 1982 *K. G. Wilson* (USA): metoda renormalizační grupy a její aplikace na kritické jevy

ELEMENTÁRNÍ ČÁSTICE

- 1923 *R. A. Millikan* (USA): elementární náboj elektronu
 1935 *J. Chadwick* (Velká Británie): objev neutronu
 1936 *C. D. Anderson* (USA): objev pozitronu
 1943 *O. Stern* (USA): objevení magnetického momentu protonu a rozvinutí metody molekulových svazků

- 1949 *H. Yukawa* (Japonsko): teoretická předpověď existence mezonů
 1950 *C. F. Powell* (Velká Británie): vypracování metody fotografické registrace trajektorií částic v emulzích a objev dvou druhů mezonů
 1955 *W. E. Lamb* (USA), *P. Kusch* (USA): měření hyperjemné struktury spektrálních čar vodíku a zjištění magnetického momentu elektronu
 1959 *E. G. Segrè* (USA), *O. Chamberlain* (USA): objev antiprotonu
 1961 *R. Hofstadter* (USA): vypracování rozptylové metody elektronů a zjištění elektrické struktury nukleonů
 1968 *L. W. Alvarez* (USA): objev rezonancí (kvazičástic)
 1969 *M. Gell-Mann* (USA): vypracování systematiky elementárních částic
 1976 *B. Richter* (USA), *S. C. C. Ting* (USA): objev těžkých kvazičástic se šarmem
 1984 *C. Rubbia* (Itálie), *S. van der Meer* (Nizozemí): objev dříve hypotetických vektorových mezonů W^+ , W^- a Z

JADERNÁ FYZIKA

- 1903 *A. H. Becquerel* (Francie): objev přírodní radioaktivity
P. Curie (Francie), *M. Curie-Skłodovská* (Francie): prozkoumání přírodní radioaktivity
 1908 sir *E. Rutherford* (Velká Británie): transmutace chemických prvků a chemie radioaktivních látek; Nobelova cena za chemii
 1911 *M. Curie-Skłodovská* (Francie): objev radia a polonia; Nobelova cena za chemii
 1921 *F. Soddy* (Velká Británie): výzkum izotopů; Nobelova cena za chemii
 1922 *F. W. Aston* (Velká Británie): objev velkého počtu izotopů neradioaktivních prvků, hmotnostní spektrografie, objev zákona celých čísel; Nobelova cena za chemii
 1927 *Ch. T. R. Wilson* (Velká Británie): vypracování metody identifikace stop trajektorií elektricky nabitých částic ve Wilsonově komoře

- 1934 *H. C. Urey* (USA): objev těžkého vodíku; Nobelova cena za chemii
- 1935 *F. Joliot-Curie* (Francie), *I. Joliot-Curieová* (Francie): objev umělé radioaktivity a příprava nových radioaktivních prvků; Nobelova cena za chemii
- 1938 *E. Fermi* (Itálie): objev jaderných reakcí vyvolaných pomalými neutrony
- 1939 *E. O. Lawrence* (USA): vynález a konstrukce cyklotronu
- 1943 *J. G. Hevesy* (Maďarsko): vypracování metody indikace chemických procesů pomocí radioaktivních izotopů; Nobelova cena za chemii
- 1944 *O. Hahn* (Německo): objev štěpení těžkých atomových jader; Nobelova cena za chemii
I. I. Rabi (USA): rezonanční metoda k registraci magnetických vlastností atomových jader
- 1948 *P. M. S. Blackett* (Velká Británie): zdokonalení Wilsonovy komory a objevy touto metodou učiněné v oblasti nukleární fyziky a fyziky kosmického záření
- 1951 sir *J. D. Cockcroft* (Velká Británie), *E. T. S. Walton* (Irsko): transmutace atomových jader urychlenými částicemi
G. T. Seaborg (USA), *E. M. McMillan* (USA): objev transuranů; Nobelova cena za chemii
- 1952 *F. Bloch* (USA), *E. M. Purcell* (USA): metody měření magnetického momentu atomového jádra a neutronu
- 1954 *W. W. G. Bothe* (NSR): vypracování koincidenční metody a objevy jí učiněné
- 1960 *D. A. Glaser* (USA): vynález bublinové komory
W. F. Libby (USA): metoda chronometrie pomocí C^{14} ; Nobelova cena za chemii
- 1963 *H. D. Jensen* (NSR), *M. Goepfert-Mayerová* (USA): slupkový model atomového jádra
- 1967 *H. A. Bethe* (USA): teorie jaderných reakcí, zejména reakcí probíhajících v nitru hvězd
- 1975 *A. N. Bohr* (Dánsko), *B. Mottelson* (Dánsko), *J. Rainwater* (USA): zobecněný model atomového jádra

FYZIKA ATOMŮ A MOLEKUL

- 1922 *N. H. D. Bohr* (Dánsko): struktura atomu a jeho záření
- 1925 *J. Franck* (Německo), *G. Hertz* (Německo): objev zákonů interakce elektronu s atomem
- 1936 *P. J. W. Debye* (Nizozemí): prohloubení poznatků o stavbě molekul studiem dipólových momentů a rozptylu elektronů a rentgenového záření v plynech; Nobelova cena za chemii
- 1954 *L. C. Pauling* (USA): podstata chemické vazby; Nobelova cena za chemii
- 1966 *R. S. Mulliken* (USA): elektronová struktura molekul
- 1971 *G. Herzberg* (Kanada): výzkum geometrie a elektronové struktury molekul a radikálů; Nobelova cena za chemii

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI LÁTEK A SOUSTAV O VELKÉM POČTU ČÁSTIC

- 1926 *J. B. Perrin* (Francie): výzkum diskrétní struktury látek a objev sedimentární rovnováhy
- 1937 sir *G. P. Thomson* (Velká Británie), *C. J. Davisson* (USA): objev difrakce elektronů na krystalech a založení elektronografie
- 1956 *W. B. Shockley* (USA), *J. Bardeen* (USA), *W. H. Brattain* (USA): výzkum polovodičů a objev tranzistorového jevu
- 1970 *H. Alfvén* (Švédsko): magnetohydrodynamika a její astrofyzikální aplikace
L. E. F. Néel (Francie): feromagnetismus a antiferomagnetismus
- 1972 *J. Bardeen* (USA), *L. Cooper* (USA), *J. R. Schrieffer* (USA): teorie supravodivosti
- 1977 *P. W. Anderson* (USA), sir *N. F. Mott* (Velká Británie), *J. H. van Vleck* (USA): přínos k fyzice amorfních látek
- 1982 *A. Klug* (Velká Británie): fyzikální podstata mechanismu samovolně se seskupujících struktur; Nobelova cena za chemii

ASTROFYZIKA

- 1974 *M. Ryle* (Velká Británie), *A. Hewish* (Velká Británie): objevy v radioastronomii, zejména astronomické aplikace aperturní analýzy a objev pulsarů
1978 *A. A. Penzias* (USA), *R. W. Wilson* (USA): výzkum mikrovlnného záření v kosmu (reliktové záření)
1983 *S. Chandrasekhar* (USA): vývoj hvězd
W. A. Fowler (USA): teorie tvorby chemických prvků v kosmu

GEOFYZIKA

- 1947 *sir E. V. Appleton* (Velká Británie): výzkum ionosféry a objev Appletonovy vrstvy

V letech 1931, 1934, 1940—1942 Nobelova cena za fyziku nebyla udělena.

LITERATURA

PRACOVNÍ METODY HISTORIE

- [1] Havránek, J. — Myčka, M. — Pavlík, J.: *Úvod do studia dějepisu*, Praha 1967.
[2] Hosák, L. a kolektiv: *Základy studia dějepisu*. Praha 1954.

HISTORICKÁ DÍLA, KTERÁ SI VŠÍMAJÍ MIMO JINÉ I VÝVOJE FYZIKY

- [3] Šusta, J. a kol.: *Dějiny lidstva od pravěku k dnešku*. 6 sv. Praha, Melantrich 1936—1941.
[4] *Dějiny světa*. 10 sv. Praha 1956—1964.

DĚJINY VĚD VČETNĚ FYZIKY

- [5] Bernal, J. D.: *Věda v dějinách I, II*. Praha 1960.
[6] Westaway, F. W.: *Objevy bez konce I, II*. Praha, Borový, 1937.
[7] Kuzněcov, G. B.: *Vývoj přírodovědeckého obrazu světa*. Praha 1975.
[8] Achiezer, A. I.: *Vývoj fyzikálního obrazu světa*. Praha 1975.
[9] Thorndike, L.: *A History of Magic and Experimental Science*. 8 sv. Oxford 1923—1958.
[10] Sarton, G.: *A History of Science*. 2. vyd. Cambridge, Mass 1952—1959.
[11] Folta, J. — Nový, L.: *Dějiny přírodních věd v datech*. Praha 1979.
[12] Jílek, F. — Kuba, J. — Jílková, J.: *Světové vynálezy v datech*. Praha 1977.

CELKOVÁ ZPRACOVÁNÍ DĚJIN FYZIKY

- [13] Laue, M. von: *Dějiny fyziky*. Praha 1963.

- [14] Březina, J.: *Výbor z fyzikální literatury s přehledem dějin fyziky*. Praha, Grafická unie, 1937.
- [15] Špelda, A.: *Dějiny fyziky*. Plzeň, Pedagogická fakulta, 1969.
- [16] Úlehla, I.: *Fyzika a teorie poznání*. Praha 1982.
- [17] Kuzněcov, G. B.: *Od Galileiho po Einsteina*. Bratislava 1975.
- [18] Rosenberger, F.: *Die Geschichte der Physik*. 4 sv. Braunschweig Wieweg 1882—1890.
- [19] Poggendorff, J. Ch.: *Geschichte der Physik*. Leipzig 1879.
- [20] Hoppe, E.: *Geschichte der Physik*. Obsaženo v 1. svazku Geiger, H. — Scheel, K.: *Handbuch der Physik*. Berlin, Springer 1926.
- [21] Kudrjavcev, P. S.: *Kurs istorii fiziki*. Moskva 1974.
- [22] Spasskij, B. I.: *Istoria fiziki I, II*. 2. vydání. Moskva 1977.
- [23] Úlehla, I.: *Od fyziky k filozofii*. Praha 1963.
- [24] Hörz, H.: *Fyzika a světový názor*. Praha 1973.
- [25] Chramov, Ju. A.: *Biografija fiziki*. Kyjev 1983.
- [26] Gliozzi, M.: *Istoriya fiziki*. Moskva 1970.
- [27] Baláž, P.: *Význační fyzici*. Bratislava 1966.
- [28] Herneck, F.: *Průkopníci atomového věku*. Praha 1974.
- [29] Chramov, Ju. A.: *Fiziki*. Kyjev 1977.

O ČESKÉ FYZICE A FYZICÍCH

- [30] Nový, L. a kol.: *Dějiny exaktních věd v českých zemích*. Praha 1960.
- [31] Novák, V.: *Vzpomínky a paměti*. Brno, vlastní náklad, 1939.
- [32] Pátý, L. — Horský, Z.: *100 let české novodobé fyziky*. Praha 1982.

PERIODIKA TÝKAJÍCÍ SE DĚJIN FYZIKY

- [33] *Dějiny věd a techniky*. Academia, Praha.
- [34] *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. Spolkový časopis JČSMF, Academia Praha.
- [35] *Matematika a fyzika ve škole*. Ministerstvo školství v SPN, Praha.

JMENNÝ REJSTŘÍK

A

- Abbe, Ernst Karl (1840—1905) 195
- Abraham, Max (1875—1922) 205
- Adams, John Couch (1819 až 1892) 106
- Adams, Walter Sydney (1876 až 1956) 205
- Aepinus, Franz Ulrich Maria Theodor (1724—1802) 163, 164
- Achiezer, Alexandr Iljič (*1911) 222
- Airy, Georg (1801—1892) 200
- Albert Saský (?1316—1390) 66
- Albertus Magnus (1193—1280) 64
- al-Bírúní, Muhammad (973 až 1048) 58
- Alexandr Veliký (356—323 př. n. l.) 39, 40
- Alfvén, Hannes Olof Gösta (*1908) 117, 222, 243
- Alhazen, Ibn al-Hajsam (?965 až ?1038) 57—58, 68, 184
- al-Chvárizmí, Muhammad Ibn Músa z Bagdádu (?780 až 850) 56—57
- Alkuin z Yorku (?735—804) 63
- al-Razí, abu Bekr Muhammad ibn Zakarija, latinsky Rhazes (850—923) 58
- Alvarez, Luis Walter (*1911) 241
- Alžběta Tudorovna (1533 až 1603) 161
- Amontons, Guillaume (1663 až 1705) 132
- Ampère, Andrien-Marie (1775 až 1836), 9, 157, 166, 171 až 172, 173, 176, 212
- Amru, Amr ben al-Ās as-Aahnú (?600—663) 48
- Anaximandros (?611—545 př. n. l.) 34, 35
- Anaximenés (585—525 př. n. l.) 35
- Anderson, Carl David (*1905) 219, 220, 229, 240
- Anderson, Philipp Warren (*1923) 220, 226, 243
- Andrews, Thomas (1813 až 1886) 151
- Ångström, Anders Jonas (1814 až 1874) 195, 200
- Anselm z Canterbury (1033 až 1109) 59
- Appleton, sir Edward Victor (1892—1965) 244
- Arago, Dominique François Jean (1787—1835) 119, 172, 173, 193, 199

Archimédes ze Syrakus (?287 až 212 př. n. l.) 6, 14, 18, 47, 48—50, 52, 73, 87, 183
 Archytas z Tarentu (?428 až 365 př. n. l.) 37, 46
 Aristarchos ze Samu (?310 až 230 př. n. l.) 48, 51
 Aristoteles ze Stageiry (384 až 322 př. n. l.) 32, 35, 37, 39—46, 47, 49, 50, 52, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 73, 74, 75, 79, 81, 84, 121, 131, 184,
 Armanti, Salvio (2. polovina 13. stol.) 184
 Arrhenius, Svante August (1859—1927) 143, 238
 Aston, Francis William (1877 až 1945) 241
 Auger, Pierre Victor (*1899) 239
 August, Ernst Ferdinand (179: až 1870) 153
 Avogadro, Amadeo Conte di Quarenga (1776—1856) 145, 208

B

Babinet, Jacques (1794—1872) 112, 193, 199
 Bacon, Francis (1561—1629) 71, 80, 81—82
 Bacon, Roger (1214—1294) 65—66, 68, 184
 Balmer, Johann Jacob (1825 až 1898) 224
 Barberini, kardinál Maffeo viz Urban VIII.
 Bardeen, John (*1908) 227, 228, 243
 Barkla, Charles Glover (1877 až 1944) 239
 Barrow, Isaac (1630—1677) 96

Bartholinus, Erasmus (1625 až 1698) 189
 Bartholomeus Angelicus de Glanville (1. pol. 13. stol.) 65
 Basov, Nikolaj Gennadijevič (*1922) 221, 239
 Becquerel, André Henri (1852 až 1908) 210, 222, 241
 Békésy, Georg von (1899 až 1972) 129, 237
 Bell, Alexander Graham (1847 až 1922) 126
 Benedetti, Giovanni Battista (1530—1590) 81, 85, 87
 Benedikt z Nursie (?480—553) 63
 Bennet, Abraham (1750—1799) 164
 Benzenberg, Johann Friedrich (1777—1846) 109
 Bergmann, Tobern Olof (1735 až 1784) 225
 Berliner, Emile (1851—1929) 126
 Bernal, John Desmond (*1901) 5
 Bernoulli, Daniel I. (1700 až 1782) 22, 100, 113, 123, 145
 Bernoulli, Jacob I. (1654 až 1705) 99
 Bernoulli, Johann I. (1667 až 1748) 99, 100
 Bessel, Friedrich Wilhelm (1784—1846) 108
 Bethe, Hans Albrecht (*1906) 223, 225, 242
 Bingam 116
 Biot, Jean Baptiste (1774 až 1862) 119, 136, 137, 150, 171, 173, 192
 Black, Joseph (1728—1799) 135, 136
 Blackett, Patric Maynard Stuart (1897—1974) 220, 242

Blanpied 227
 Bloembergen, Nicolaas (*1920) 228, 239
 Bloch, Felix (*1905) 242
 Bode, Johann Ehlert (1747 až 1826) 79
 Bohm, David 216
 Bohr, Aage Niels (*1922) 242
 Bohr, Niels Henrik David (1885—1962) 173, 211, 212, 214, 215, 216, 218, 224, 232, 243
 Boltzmann, Ludwig Eduard (1844—1906) 22, 114, 115, 134, 142, 147—148, 195, 212
 Bolyai, Janos (1802—1860) 198
 Bolzano, Bernard (1781 až 1848) 199
 Borelli, Giovanni Alfonso (1608—1680) 85, 92
 Born, Max (1882—1970) 216, 225, 227, 232, 240
 Bose, Šatendranáth (1894 až 1974) 221
 Bošković, Rudjer Josip (1711 až 1787) 106, 145, 199, 226
 Bothe, Walter Wilhelm Georg (1891—1957) 242
 Bouguer, Pierre (1698—1758) 108
 Bourdon, Eugène (1808—1884) 112
 Boyle, Robert (1627—1691) 85, 92, 112, 113, 132
 Bradley, James (1693—1762) 198
 Bragg otec, sir William Henry (1862—1942) 226, 239
 Bragg syn, sir William Lawrence (1890—1971) 226, 239
 Brahe, Tycho (1546—1601) 75, 77, 78, 79, 82, 90
 Bramah, Joseph (1748—1814) 93

Brattain, Walter Houser (*1902) 243
 Braun, Carl Ferdinand (1850 až 1918) 238
 Braun, Werner von (*1912) 144
 Bravais, August (1811—1863) 226
 Brechovskij, Leonid Maximo- vič (*1917) 128
 Brewster, David (1781—1868) 192
 Bridgmann, Percy Williams (1882—1961) 150, 227, 237
 Brillouin, Marcel (1854 až 1948) 128
 Brodhun, Eugen (1860—1938) 196
 Broglie, Louis Victor de (*1892) 214—215, 216, 226, 240
 Brown, Robert (1773—1858) 146
 Bruno, Giordano (1548—1600) 75, 76, 79
 Bunsen, Robert Wilhelm (1811 až 1899) 135, 168, 212
 Buridan, Claude (1790—1873) 110
 Butler, Clifford Charles (*1922) 229

C

Caesar, Gaius Julius (100 až 44 př. n. l.) 32, 48, 55
 Cagniard de la Tour, Charles (1777—1859) 125, 151
 Cailletet, Louis Paul (1832 až 1913) 151
 Campanella, Thommaso Giovanni Domenico (1568 až 1639) 81

Cander, Fridrich Arturovič (1887—1933) 144
Cardano, Girolamo, lat. Cardanus, Hieronymus (1501 až 1576) 25, 85, 86
Carlisle, sir Anthony (1768 až 1840) 169
Carnot, Sadi Nicolas Léonard (1796—1832) 136, 137, 140 až 141, 235
Cassini, Giovanni Domenico (1625—1711) 102
Cassiodorus, Flavius Magnus Aurelius (?487—?583) 62, 63
Castelli, Benedetto (1577 až 1644) 90
Cauchy, Augustin Louis (1789 až 1857) 116, 227
Cavalieri, Bonaventura (1598 až 1647) 189
Cavendish, Henry (1731 až 1810) 108, 152, 163, 177, 178, 235
Celsius, Andres (1701—1744) 133
Cesi, Frederico 91
Cicero, Marcus Tullius (106 až 43 př. n. l.) 49
Ciolkovskij, Konstantin Eduardovič (1857—1935) 107
Clairaut, Alexis Claude (1713 až 1765) 101, 102
Clapeyron, Benoit Paul Émile (1799—1864) 113, 150
Claude, Georges (1870—1960) 152
Clausius, Rudolf Emanuel Julius (1822—1888) 22, 113, 114, 130, 134, 140, 141—142, 146, 148, 232
Clément-Desormes, N. 150
Cockroft, sir John Douglas (1897—1967) 242

Colladon, Jean Daniel (1802 až 1893) 123
Compton, Arthur Holly (1892 až 1962) 213, 239
Cooper, Leon (*1930) 228, 243
Coriolis, Gustave (1792—1843) 80, 107, 197
Cornu, Alfred (1841—1902) 195
Coulomb, Charles August de (1736—1806) 108, 116, 156, 157, 165—166, 173
Cowan, Clin (1919—1974) 222
Cronin, James Watson (*1931) 240
Crookes, William (1832—1919) 209, 223
Cross, Paul Clifford (*1907) 225
Curie, Pierre (1859—1906) 210, 222, 241
Curieová-Skłodowská, Marie (1867—1934) 210, 221, 222, 241
Curlbaum, Ferdinand (1857 až 1927) 212
Cusanus, Nicolaus Krebs viz Kusánský Mikuláš
Cuthbertson, John 164
Czochralski 228

Č

Čaplygin, Sergej Alexejevič (1869—1962) 115, 116
Čebyšev, Pafnutij Lvovič (1821 až 1894) 107
Čerenkov, Pavel Alexejevič (*1904) 240

D

d'Alembert, Jean Baptiste le

Rond (1717—1783) 99, 101, 102, 123
Dalén, Niels Gustaf (1869 až 1937) 239
Dalton, John (1766—1844) 113, 139, 145, 208
Daniell, John Frederic (1790 až 1845) 153, 168
d'Arlandes, François Laurent 113
Darwin, Charles Robert (1809 až 1882) 142, 177, 205
Davisson, Clinton Joseph (1911 až 1958) 214, 243
Davy, sir Humphry (1778 až 1829) 151, 170, 173, 174, 176
de Beauvais, Vincenc (13. stol.) 59, 65
Debye, Peter Joseph William (1884—1966) 243
Decius, John Courtney (*1920) 225
de Felains, Jean (14. stol.) 67
de Gennes, Jean Pierre (*1932) 227
Deimann, Johann Rudolf (1743 až 1808) 169
Delambre, Jean Baptiste (1749 až 1822) 119
de la Chambre, Cureau Marin (1594—1669) 189
Démokritos z Abdér (?460 až 370 př. n. l.) 37—38, 45, 54, 132, 145, 208
Deprèz, Marcel (1843—1918) 176
de Saint-Venant, Hadamar Jean Claude Barré (1797—1886) 116
Descartes, René (1596—1650) 52, 63, 67, 80, 81, 82—84, 94, 95, 96, 97, 162, 186 až 187, 189, 190
Deschales, Claude 188

Deslandres, Henri Alexandre (1853—1948) 224
Desormes, Charles Bernard (1777—1862) 150
Despretz, César Mansuète (1798—1863) 149, 150
Dewar, sir James (1848—1923) 149, 152
Diderot, Denis (1713—1784) 102
Diesel, Rudolf (1858—1913) 144
Dirac, Paul Adrien Maurice (1902—1984) 21, 159, 216 až 217, 219, 220, 222, 224, 232, 240
Diviš, Prokop, původně Divišek Jan (1696—1765) 123, 159, 162, 164, 165
Dolejšek, Václav (1895 až 1945) 224
Dollond, John (1706—1761) 192
Doppler, Johann Christian (1803—1853) 124, 199
Drude, Paul Carl Ludwig (1863—1906) 195
Du Fay, Charles François de Cisterney (1698—1739) 162, 163
Dulong, Pierre Louis (1785 až 1838) 136, 150
Duns Scotus (1494—1560) 67

E

Edelmann 125
Edison, Thomas Alva (1847 až 1931) 126, 169
Egucchi 227
Ehrenfest, Paul (1880—1933) 181, 216
Eiffel, Alexandre Gustave (1832—1923) 214

Eistein, Albert (1879—1955)
18, 21, 22, 108, 136, 150,
155, 158, 159, 178, 197, 200,
201, 202—206, 207, 213, 214,
216, 220, 221, 232, 234, 239
Empedokles z Akragantu
(?493—?433 př. n. l.) 37
Eötvös, Loránd (1848—1919)
108, 204
Epikúros ze Samu (341—270
př. n. l.) 38
Eratosthenés (?284—?192 př.
n. l.) 46, 48, 51
Esaki, Leo (*1925) 238
Eudoxos z Knidu (408—355
př. n. l.) 46
Eukleidés z Alexandrie (?365
až ?300 př. n. l.) 37, 46, 48,
50, 87, 86, 182, 183, 197,
202
Euler, Leonhard (1707—1783)
9, 16, 73, 80, 81, 99, 100 až
101, 103, 109, 123, 191, 192,
197
Eyring 151

F

Fabrikant, Valentin Alexan-
drovič (*1907) 221
Fabry, Charles (1867—1945)
196
Fahrenheit, David Gabriel
(1686—1736) 133
Faraday, Michael (1791 až
1867) 16, 17, 151, 157, 166,
170, 173—175, 177, 178, 209,
219, 234
Faurer, Camille 169
Fawler 168
Fedorov, Jevgraf Stěpanovič
(1855—1919) 226
Fechner, Gustav (1801—1887)
125

Ferdinand II. Medici, vévoda
toskánský (1610—1670) 132
Fermat, Pierre (1601—1665)
84, 187, 190, 194
Fermi, Enrico (1901—1954) 22,
222, 223, 242
Feynman, Richard Phillips
(*1918) 220, 240
Filipp II. Makedonský (?383
až ?336 př. n. l.) 39
Filón z Byzance (?300—?250
př. n. l.) 48, 53, 132
Fitch, Val Logsdon (*1923)
240
Fitzgerald, Georg Francis
(1851—1901) 200
Fizeau, Armand Hyppolyte
Louis (1819—1896) 199
Fleming, John Ambrose (1849
až 1945)
Fok, Vladimir Alexandrovič
(1898—1974) 21, 216
Foucault, Jean (1819—1868)
109, 176, 193, 198
Fourier, Jean Baptiste Joseph
(1768—1830) 124, 136, 142,
150, 176
Fourneyron, Benoit (1802 až
1867) 110
Fowler, William Alfred (*1911)
244
Francis, James (1815—1892)
110
Franck, James (1882—1964)
224, 243
Frank, Ilja Michajlovič (*1908)
240
Frankenheim, Moritz Ludwig
(1801—1869) 226
Franklin, Benjamin (1706 až
1790) 123, 159, 162, 165
Franz, Rudolf (*1927) 150
Fraunhofer, Joseph von (1787
až 1826) 193, 212

Frenkel, Jakob Iljič (1894 až
1952) 151
Fresnel, Augustin Jean (1788
až 1827) 124, 182, 191, 193,
198, 119, 200
Fridman, Alexandr Alexandro-
vič (1888—1925) 205
Friedrich II. (1740—1786) 103
Friedrich Falcký (1596 až
1632) 101

G

Gabor, Denis (1900—1979)
221, 239
Gadolin, Johan (1760—1852)
135
Galénos z Pergamu, Claudius
(?129—200) 38
Galilei, Galileo (1564—1642)
9, 28, 35, 43, 46, 47, 50, 52,
53, 64, 66, 71, 72, 75, 79, 80,
81, 84, 85, 87—92, 93, 94, 95,
97, 111, 120, 122, 131, 132,
138, 161, 178, 183, 185, 189,
190, 197, 200, 201, 207, 225
Galton, sir Francis (1822 až
1911) 125
Galvani, Luigi (1737—1798)
157, 167
Gamow, George (1904—1968)
222
Gassendi, Pierre (1592—1655)
84, 145, 208
Gauss, Carl Friedrich (1777 až
1855) 9, 16, 81, 99, 102, 105
až 106, 117, 166, 146, 198
Gay-Lussac, Joseph (1778 až
1850) 112, 113, 173
Gehrcke, Ernst (1878—1960)
194
Geiger, Hans Wilhelm (1882
až 1945) 222, 223
Geissler, Heinrich (1815 až
1879) 134
Gellibrand, Henry (1597 až
1636) 160
Gell-Mann, Murray (*1929)
220, 221, 241
Gensfleisch, Johann zvaný
Gutenberg (?1395—1468) 68
Gerbert, později Silvestr II.
(?940—1003) 62, 63—64
Germainová, Sophie (1776 až
1811) 123
Germer, Lester Halbert (1896
až 1971) 214
Giaever, Ivar (*1929) 238
Gibbs, Josiah Willard (1839 až
1903) 22, 114, 130, 142, 143,
147, 148, 152, 235
Gilbert, William (1544—1603)
156, 161—162, 163—164
Girard, L. D. 111
Glaser, Donald Arthur (*1926)
223, 242
Glashow, Sheldon Lee (*1932)
220, 240
Goeppert-Mayerová, Marie
(1906—1972) 224, 242
Goethe, Johann Wolfgang
(1749—1832) 188
Goodamm 228
Gordon, Walter (1893—1939)
21, 216
Goudsmit, Samuel Abraham
(1902—1979) 216
Gray, G. Wytlan (*1910) 227
Gray, Stephen (1666—1736)
162—163
Green, George (1793—1841)
116, 173
Gregory, James (1638—1675)
186, 188
Grimaldi, Francesco Maria
(1616—1663) 188, 191, 192

Grosseteste, Robert (?1175 až 1253) 64–65
 Grotthuss, Christian Johann Dietrich von (1785–1882) 170
 Grove, sir William Robert (1811–1896) 168
 Guericke, Otto von (1602 až 1686) 85, 93, 112, 122, 162
 Guliellini, Domenico (1655 až 1710) 109, 225
 Guido Aretinus čili Guido z Arreza (?995–1050) 121
 Guillaume, Charles Édouard (1861–1938) 238
 Gullstrand, Allvar (1862 až 1930) 196
 Gutenberg viz Johann Gensfleisch

H

Haas, Wander Johannes de (1878–1960)
 Hába, Alois (1893–1973) 128
 Hagen, Gotthilf Heinrich Ludwig (1797–1884) 110
 Hahn, Otto (1879–1968) 223, 242
 Halley, Edmund (1656–1742) 132
 Hallwachs, Wilhelm Ludwig Franz (1859–1922) 209
 Hamilton, sir William Rowan (1805–1865) 99, 102, 105, 106, 107
 Hampson, William (1895 až 1926) 152
 Harrison, George Ernest (*1904) 222
 Hartmann, Georg (1489 až 1564) 160
 Haüy, René Just (1743–1822) 225

Hegel, Georg Wilhelm (1770 až 1831) 76, 139, 212
 Heisenberg, Werner Karl (1901–1976) 15, 21, 214, 215, 219, 223, 232, 234, 240
 Helmholtz, Hermann (1821 až 1894) 22, 110, 124, 137, 139 až 140, 149, 178, 179, 209
 Henry, Joseph (1797–1878) 175, 176
 Henschel, Karl Anton (1770 až 1861) 110
 Hermias (4. stol. př. n. l.) 39
 Herodotos (?484–425 př. n. l.) 30
 Herón z Alexandrie (?1. stol.) 14, 47, 48, 52–53, 62, 132, 182, 187, 189
 Herschel, Friedrich Wilhelm (1738–1822) 211
 Hertz, Gustav Ludwig (1887 až 1975) 224, 243
 Hertz, Heinrich Rudolf (1857 až 1894) 99, 102, 105, 107, 177, 179, 194, 200, 201, 224
 Herzberg, Gerhard (*1904) 225, 243
 Herzfeld, Karl Ferdinand (*1892) 151
 Hesekei 196
 Hess, Victor Franz (1883 až 1964) 229, 240
 Hessel, Johann F. Ch. (1796 až 1872) 225
 Hevesy, József György (1885 až 1966) 242
 Hewish, Anthony (*1924) 244
 Heyrovský, Jaroslav (1890 až 1967) 224
 Heytesbury, William (?1300 až ?1340) 66
 Hilbert, David (1862–1943) 205

Hipparchos z Níkaie (190 až 125 př. n. l.) 48, 51–52
 Hittorf, Johann Wilhelm (1824 až 1914) 209
 Hofstädter, Robert (*1915) 220, 241
 Honnecourt, Villard de (13. stol.) 67
 Honorius z Autunu (1. pol. 12. stol.) 15
 Hooke, Robert (1635–1730) 85, 92, 115, 192, 225, 227
 Hopkins, John (1793–1866) 125
 Hoppe, E. 13
 Horký, Martin (1585–1635) 92
 Howd 110
 Huang 227
 Hubble, Edwin Powell (1899 až 1953) 205
 Hughes, David Edwin (1831 až 1900) 126
 Humboldt, Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von (1769–1859) 169
 Husník, Jakub (1837–1916) 196
 Huygens, Christian (1629 až 1695) 90, 94–95, 97, 102, 124, 132, 186–187, 191, 192, 194, 225

CH

Chadwick, James (1891–1974) 220, 240
 Chamberlain, Owen (*1920) 220, 241
 Chandrasekhar, Subrahmany-an (*1910) 244
 Charles, Jacque Alexandre César (1746–1823) 113
 Chladni, Ernst Florens Friedrich (1756–1827) 123

I

Ibn al-Hajsam viz Alhazen.
 Ioffe, Abram Fjodorovič (1880 až 1960) 227
 Ingenhousz, Jan (1730–1799) 150
 Isle, Jean Baptiste de l' (1736 až 1790) 225
 Irwing, M. 128

J

Jacobi, Carl Gustav Jacob (1804–1851) 99, 105, 106 až 107
 Jäger, Gustav (1832–1916) 150
 Jansen, Zacharias (1580 až 1638) 185
 Jeans, sir Lames Hopwood (1877–1946) 212
 Jeljaševič, Michail Alexandrovič (*1908) 225
 Jensen, Hans D. (*1907) 224, 242
 Johnson 227
 Joliot-Curie, Frédéric (1900 až 1958) 219, 220, 223, 242
 Joliot-Curierová, Irène (1897 až 1956) 219, 220, 223, 242
 Jolly, Eugene (1845–1897) 135, 196
 Jones, John (1894–1954) 227
 Jörgensen 134
 Jordan, Pascual Ernst (1902 až 1980) 216, 232
 Josephson, Brian D. (*1940) 238
 Joule, James Prescott (1818 až 1889) 137, 139, 142, 149, 150, 176

K

- Kamerlingh-Onnes, Heike (1853—1926) 152, 228, 238
 Kapica, Pjotr Leonidovič (1894—1984) 117, 152, 223, 238
 Kaplan, Viktor (1876—1934) 111
 Karel Veliký (742—814) 63
 Karman, Theodore von (1881 až 1963) 227
 Kastler, Alfred (*1902) 239
 Kelvin, William Thomson lord of Largs (1824—1907) 22, 113, 116, 133, 139, 141, 142 až 143, 148, 169, 176, 178
 Kepler, Johann (1571—1630) 63, 68, 75, 78—79, 84, 89, 91, 94, 96, 97, 105, 138, 181, 183, 185—186, 225
 Kirchhoff, Gustav Robert (1824—1887) 110, 140, 176, 208, 212
 Kirkwood, John Gamble (1907 až 1959) 151
 Klein, Felix Christian (1849 až 1925) 21, 216
 Kleist, Ewald Georg von (?1700—1748) 163
 Klitzing, Klaus von (*1943) 227, 238
 Klug, Aaron (*1926) 243
 Kneser, Hans Otto (*1901) 128
 Knipping, Paul (1883—1935) 226
 Knudsen, Martin (1871—1949) 146
 Kohlrausch, Friedrich Wilhelm Georg (1840—1910) 176
 Kolářek, František (1851 až 1913) 195
 Kolumbus, Kryštof (?1451 až 1506) 28, 43, 160
 Komenský, Jan Ámos (1592 až 1670) 190
 Konfucius (?551—478 př. n. l.) 39
 Kopernik, Mikuláš (1473 až 1543) 9, 14, 28, 36, 52, 69, 75, 77—78, 79, 84, 89, 90, 205, 234
 Kopp, Hermann Franz (1817 až 1892) 150
 Koppe, Heinz (*1918) 152
 Kovalevská, Sofja Vasiljevna (1850—1891) 105, 107
 Kožešník, Jaroslav (*1907) 107
 Ktésibios z Askry (? 3 stol. př. n. l.) 48, 52
 Kundt, August (1839—1894) 125
 Kurčatov, Igor Vasiljevič (1903—1960) 223
 Kusánský, Mikuláš (1401 až 1464) 75, 76—77
 Kusch, Polykarp (*1921) 220, 241

L

- Lactancius, Lucius Firmianus Caecilius (?250—326) 63
 Lagrange, Joseph Louis (1736 až 1813) 16, 99, 100, 101, 103, 106, 109, 123
 Lamb, Willis Eugene (*1913) 224, 241
 Lambert, Johann Heinrich (1728—1777) 192
 Lambrecht, Wilhelm 152
 Lamé, Gabriel (1795—1870) 116
 Lancaster, Peter 115
 Landau, Lev Davidovič (1908 až 1968) 117, 222, 223, 238

- Landsberg, Grigorij Samuilovič (1890—1957) 213
 Langevin, Paul (1872—1946) 127, 227
 Langley, Samuel Pierpont (1834—1906) 134
 Langmuir, Irwing (1881 až 1957) 222, 227, 237
 Laplace, Pierre Simon (1749 až 1827) 16, 81, 99, 101, 103—104, 112, 117, 122, 135, 142, 171, 173
 Larmor, sir Joseph (1857 až 1942) 195, 201, 227
 Laue, Max Theodor Felix von (1879—1960) 226, 239
 Laval, Carl Gustaf Patrik de (1845—1913) 144
 Lavoisier, Antoine Laurent (1743—1794) 104, 135, 136
 Lawrence, Ernest Orlando (1901—1958) 223, 242
 Lebeděv, Pjotr Nikolajevič (1866—1912) 125, 148, 195
 Leclanché, Georges (1839 až 1882) 168
 Lee, Tsung Dao (*1926) 220, 240
 Leeuwenhoek, Antony van (1632—1723) 185
 Lehmann, Karel Otto (*1903) 227
 Le-Chatelier, Henri Louis (1850—1936) 134
 Leibfried, Günther (*1915) 227
 Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646—1716) 84, 97, 99, 106, 162, 190
 Lenard, Philip Eduard Anton von (1862—1947) 237
 Lenin, Vladimír Iljič (1870 až 1924) 147, 232, 235
 Lenz, Heinrich Friedrich Emil, rusky Lenc, Emil Chris-
 tianovič (1804—1865) 175, 176
 Leonardo da Vinci (1452 až 1519) 74, 76, 85—86, 122, 184, 235
 Leonardo Pisánský (1170 až 1250) 66
 Leontovič, Michail Alexandrovič (*1903) 128
 Leukippos (5. stol. př. n. l.) 37, 145
 Le Verrier, Urbain (1811 až 1877) 106
 Libby, Willard Frank (*1908) 222, 242
 Liebig, Justus von (1803 až 1873) 138
 Lifšic, Sergej J. 125
 Linde, Karl Paul Gottfried von (1842—1934) 152
 Linné, Carl von (1707—1778) 133
 Lippershey, Hans (1587 až 1619) 185
 Lippmann, Gabriel (1845 až 1921) 196, 239
 Lissajous, Jules Antoine (1822 až 1880) 125
 Ljapunov, Alexandr Michajlovič (1857—1918) 105, 107
 Lobačevskij, Nikolaj Ivanovič (1792—1856) 198
 Lomonosov, Michail Vasiljevič (1711—1765) 137, 165
 Lorentz, Hendrik Antoon (1853—1928) 158, 177, 179, 180—181, 195, 197, 200 až 201, 202, 209, 238
 Loschmidt, Johann Joseph (1821—1895) 113—114, 146, 179, 208
 Louvrié 115
 Lowell, Percival (1855—1916) 106

Lucretius Carus, Titus (?97 až 55 př. n. l.) 38, 54, 145, 160
Ludvík XIV. (1638—1715) 94, 122
Ludwig, Carl Friedrich Wilhelm (1816—1895) 150
Lummer, Otto (1860—1925) 196
Lyman, Theodore (1874—1954) 224

M

Magnus, Heinrich Gustav (1802—1870) 140, 149
Mach, Ernst (1838—1916) 115, 116, 125, 144, 145, 147, 200, 209
Maiman, Theodor Harold (*1927) 221
Malus, Ettien Louis (1775 až 1812) 192
Mandelštam, Leonid Isaakovič (1879—1944) 127, 128, 213
Marci, Johannes Marcus z Kronlandu, čes. Marků z Lanškrouna, Jan Marek (1595—1667) 85, 93—95, 186, 233
Marconi, Guglielmo Marchese (1878—1937) 179, 238
Marek, Václav (19. stol.) 150
Marie Terezie (1717—1780) 164
Marx, Karel (1818—1883) 76, 79, 233
Maupertius, Pierre Louis (1698 až 1759) 101—102
Maurolycus, Francesco (1494 až 1576) 69, 184—185
Maxwell, James Clerk (1831 až 1879) 16, 17, 22, 114, 130,

143, 147, 148, 155, 156, 157, 158, 172, 175, 176, 177—179, 180, 181, 182, 185, 187, 194, 195, 197, 200, 201, 202, 209, 220, 231, 232
Mayer, Julius Robert (1814 až 1887) 137—139, 140, 149
Mc Millan, Edwin Mattison (*1907) 242
Medici, Cosimo II. (1590 až 1621) 88
Meer, Simon van der (*1925) 241
Méchain, Pierre François André (1744—1804) 119
Meidinger, Johann Heinrich (1831—1905) 168
Melde, Franz Emil (1832 až 1901) 125
Mendělejev, Dmitrij Ivanovič (1834—1907) 150, 151, 209, 220
Mersenne, Marin (1588—1648) 85, 93, 122, 189
Meščerskij, Ivan Vsevolodovič (1859—1936) 107
Meyer, Emil Oskar (1834 až 1909) 110
Mie, Gustav Adolf (1868 až 1957) 205
Michelson, Albert Abraham (1852—1931) 143, 196, 200, 238
Miller, William Hallows (1801 až 1880) 225
Millikan, Robert Andrews (1868—1953) 229, 240
Minkowski, Hermann (1864 až 1909) 204
Mitchell, Dana Paul (1899 až 1966) 226
Mohorovičić, Andrija (1890 až 1936) 79
Mohs, Friedrich (1773—1839) 225

Montgolfier, Jacques Étienne (1745—1799) 112
Montgolfier, Joseph Michel (1740—1810) 112
Morley, Edward Williams (1838—1923) 200
Moseley, Henry Gwyn Jeffrey (1887—1915) 224
Mössbauer, Robert Ludwig (*1929) 240
Mott, sir Nevill Francis (*1905) 226, 227, 243
Mottelson, Ben (*1926) 224, 242
Mulliken, Robert Sanderson (*1888) 243
Müller, Johannes Peter (1801 až 1858) 140
Musschenbrock, Pieter van (1692—1761) 134, 163, 164
Mysovskij, Lev Vladimirovič (1888—1939) 229

N

Napoleon I. Bonaparte (1769 až 1821) 103, 123, 168, 174
Natterer, Konrad 151
Navier, Louis (1785—1836) 110, 116
Neddermeyer, Seth Henry (*1907) 229
Néel, Louis Eugène Félix (*1925) 243
Neklepajev, P. N. 125
Nemorarius, Jordanus (?1180 až 1237) 66, 74
Nernst, Walther Hermann (1864—1941) 142, 143, 238
Neuhausen 196
Neumann, Franz Ernst (1798 až 1895) 176
Newton, sir Isaac (1642 až 1727) 9, 15, 16, 71, 72, 73,

74, 80, 83, 84, 85, 90, 94, 95, 98, 99, 100, 102, 103, 106, 107, 109, 122, 134, 141, 142, 143, 147, 156, 157, 165, 178, 182, 186, 187—188, 189, 190 až 191, 193, 197, 198, 202, 204, 207, 212, 213, 231, 235
Nicholson, William (1753 až 1815) 169
Nobel, Alfred Bernard (1833 až 1896) 20, 114, 129, 152, 202, 212, 213
Nobili, Leopold (1784—1835) 176
Nordström, Gunnar (1881 až 1923) 205
Norman, Robert (16. stol.) 161
Nutall, John M. (1890—1958) 222

O

Oberth, Hermann Julius (*1894) 144
Occam, William (1290—1350) 66
Occhiliani, Guiseppe Paolo (*1907) 220, 229
Oersted, Hans Christian (1777 až 1851) 151, 157, 170, 171
Ohm, Georg Simon (1789 až 1854) 124, 136, 169, 171, 176
Olszewski, Karol Stanislav (1846—1915) 151, 152
Onsager, Lars (1903—1976) 227, 238
Oppenheimer, Jacob Robert (1904—1967) 220, 223, 225
Oresme, Nicole (?1323—1382) 66—67
Osborn, Richard Kent (*1919) 227
Ostrogradskij, Michail Vasiljevič (1801—1862) 105, 116

Ostwald, Wilhelm (1853 až 1932) 130, 143, 144, 145, 209
Otto I. Veliký (912—973), Otto II. (955—983), Otto III. (983—1002) 64
Otto, Nikolaus August (1832 až 1891) 144

P

Papaleksi, Nikolaj Dmitrijevič (1880—1947) 127
Parsons, Charles Algernon (1854—1931) 144
Pascal, Blaise (1623—1662) 92, 93, 112
Paschen, Friedrich (1865 až 1947) 224
Pauli, Wolfgang (1900—1958) 216, 218, 220, 222, 240
Pauling, Linus Carl (*1901) 226, 227, 243
Pelterie 144
Peltier, Jean Charles Athanas (1785—1845) 169
Pelton, Lester Allen (1829 až 1908) 110
Penzias, Arno A. (*1933) 244
Peregrinus de Marecourt, Petrus (2. pol. 13. stol.) 68, 160, 161
Périer 92
Perrin, Jean Baptiste (1870 až 1942) 150, 243
Petit, Alexis Thérèse (1791 až 1820) 136, 150
Petrov, Georgij Ivanovič (*1912) 116
Petřina, František Adam (1799 až 1855) 176
Pfann, William (*1917) 228
Philoponos, Jan (Alexandrijský) (?5. stol.) 62—63

Piazzi, Giuseppe (1746—1826) 105
Pictet, Raoult Pierre (1846 až 1929) 151
Pilâtre de Rosier 113
Placzek, Georg (1905—1955) 225
Planck, Max Karl Ernst Ludwig (1858—1947) 142, 143 až 144, 182, 204, 205, 208, 212, 213, 240
Planté, Gaston (1834—1899) 168
Platón (427—347 př. n. l.) 37, 38—39, 45, 46, 183
Plinius Secundus, Gaius čili Plinius Starší (23—79) 54 až 55, 159, 160, 184
Plotinos (204—270) 132
Plücker, Julius (1801—1868) 209
Poggendorff, Johann Christian (1796—1877) 138, 139, 140, 171
Poincaré, Henri Jules (1854 až 1912) 107, 195, 201, 204, 210
Poinsot, Louis (1777—1859) 74, 107
Poiseuille, Jean Leonard (1799 až 1869) 110
Poisson, Simeón-Denis (1781 až 1842) 104—105, 116, 117, 150, 166
Poncelet, Jean-Victor (1788 až 1867) 107
Popov, Alexandr Stěpanovič (1859—1905) 179
Porta, Giambattista della (1535 až 1615) 185
Pound, Robert Vivian (*1919) 227
Powell, Cecil Frank (1903 až 1969) 227, 241
Powers, Philip Nathan (*1912) 226

Poynting, John Henry (1852 až 1914) 195
Prandtl, Ludwig (1875—1953) 110
Priestley, Joseph (1733 až 1804) 145, 163
Prigogine, Ilja (*1917) 238
Prochorov, Alexandr Michajlovič (*1916) 221, 239
Psamnetich, faraon 26. dynastie (7. stol. př. n. l.) 34
Ptolemaios I. Soter (367 až 283 př. n. l.) 48
Ptolemaios II. Philadelphos (285—246 př. n. l.)
Ptolemaios, Klaudios (?85 až ?165) 48, 52, 57, 75, 77, 88, 90, 183, 184
Purcell, Edward Mills (*1912) 242
Pythagoras ze Samu (?580 až ?500) 35—36, 38, 46, 120, 121

Q

Quincke, Georg Hermann (1834—1924) 125

R

Rabi, Isidor Isaac (*1898) 242
Rainwater, James (*1917) 224, 242
Raman, sir Chandrasekhara Venkata (1888—1970) 213 až 214, 239
Rameau, Jean Philippe (1683 až 1764) 36
Ramsay, sir William (1852 až 1916) 150, 237
Rankine, William John Marquorn (1820—1872) 137, 140

Raoult, François Marie (1830 až 1901) 152
Rayleigh, sir John William Strutt (1842—1919) 111, 124, 212, 237
Réaumur, René Antoine Ferchaut de (1683—1757) 133, 164
Regnault, Henri Victor (1810 až 1878) 125, 142, 150
Reines, Frederic (*1918) 222
Reinitzer 227
Reis, Johann Philipp (1834 až 1874) 126
Rey, Jean (1582—1645) 132
Reynolds, Osborne (1842 až 1912) 110, 116
Rhaeticus, Georg Joachim (1514—1576) 77
Rhazes viz al-Rází
Riemann, Georg Friedrich Bernhard (1826—1866) 198, 205
Richardson, sir Owen William (1879—1959) 240
Richer, Jean (1630—1696) 108
Richmann, Georg Wilhelm (1711—1753) 135, 162, 164, 165, 168
Richter, Burton (*1931) 220, 241
Ritter, Johann Wilhelm (1775 až 1810) 169, 212
Robins, Benjamin (1707 až 1751) 109
Römer, Olaf Christensen (1664 až 1710) 188
Röntgen, Conrad Wilhelm (1845—1923) 19, 201, 210, 239
Rosier, Jean François Pilâtre de (1756—1785) 113
Rousseau, Jean Jacques (1712 až 1778) 172
Rowland, Henry Augustus (1848—1901) 196, 200

Rozenberg, L. D. 128
Rubens, Heinrich (1865 až 1922) 212
Rubbia, Carlo (*1934) 241
Rudolf II. Habsburský (1552 až 1612) 78
Rumford, lord Benjamin Thompson (1753—1814) 136, 137
Rutherford, sir Ernst (1871 až 1937) 211, 222, 223, 241
Rutherford, Daniel (1749 až 1819) 133
Rydberg, Johannes Robert (1854—1919) 224
Ryle, Martin (*1918) 244

S

Sabine, Wallace Clement (1868—1919) 125
Saha, Meghnad N. (1893 až 1956) 222
Saint-John, Charles Edward (1857—1935) 205
Saint-Venant, Hadamare Jean Claude de Barré (1797 až 1886) 116
Salam, Abdus (*1926) 220, 240
Santorius (1561—1636) 132
Sauveur, Joseph (1653—1716) 122
Savart, Félix (1791—1841) 125, 171, 173
Scribonius Largus (1. pol. 1. stol.) 159
Seaborg, Glenn Theodor (*1912) 242
Seebeck, Ludwig Friedrich Wilhelm (1805—1849) 125
Seebeck, Thomas Johann (1770 až 1831) 169
Seeber, August Ludwig (1793 až 1855) 145, 226

Seger, Hermann (1839—1893) 134
Segner, Johann (1704—1777) 110
Segrè, Emilio Gino (*1905) 220, 241
Seneca, Lucius Annaeus (?4 př. n. l.—65) 132, 160, 184
Seydler, August (1849—1891) 195
Schawlow, Arthur Leonard (*1921) 221, 239
Shockley, William Brandford (*1910) 227, 243
Scheiner, Christoph (1575 až 1650) 186, 189
Schoenflies, Arthur Moritz (1853—1928) 226
Schottky, Walter (1886 až 1976) 228
Schrieffer, J. R. 228, 243
Schrödinger, Erwin (1887 až 1961) 21, 106, 214, 215, 216, 217, 228, 232, 240
Schweigger, Johann (1779 až 1857) 171
Schwerd, Friedrich Magnus (1792—1871) 193
Schwinger, Julian (*1918) 220, 240
Siegbahn, Kai Manne (*1918) 239
Siegbahn, Karl Manne Georg (1886—1978) 224, 239
Siemens, Werner von (1816 až 1892) 134
Silvestr II. viz Gerbert
Six, James (?1750—1793) 134
Skobelčyn, Dmitrij Vladimirovič (*1892) 229
Smekal, Adolf Gustav (1895 až 1955) 213
Smoluchowski, Marian (1872 až 1917) 150

Snell (lat. Snellius), Willebrord van Royen (1580 až 1626) 52, 181, 186—187
Soddy, Frederic (1877—1956) 222, 241
Sokolov, Sergjej Jakovlevič (1897—1957) 128
Sokrates (469—399 př. n. l.) 33, 40
Sommerfeld, Arnold (1868 až 1951) 214
Soret, Charles (1854—1904) 151
Sósygenes (1. stol. př. n. l.) 32
Sourthense 205
Spartakus (?—71 př. n. l.) 79
Spinoza, Baruch (1632—1677) 82
Spitzer, Junior Lyman (*1914) 222
Stark, Johannes (1874—1957) 239
Stefan, Josef (1835—1893) 148, 212
Stěpanov, Boris Ivanovič (*1913) 225
Stern, Otto (1888—1969) 220, 240
Stevin, Simon (1548—?1620) 74, 87
Stokes, sir George Gabriel (1819—1903) 110, 116, 150, 199, 200
Stoletov, Alexandr Grigorjevič (1839—1896) 195
Stoney, George Johnstone (1826—1911) 179, 209
Stonsen, Niels (1638—1686) 225
Strömer, Martin (1707—1770) 133
Strouhal, Čeněk (1850—1922) 127

Strutt, John William viz Rayleigh
Sturgeon, William (1783 až 1850) 173
Sturm, Jacques Charles François (1803—1855) 123
Sulzer, Johann Georg (1720 až 1779) 166
Szilárd, Leo (1898—1964) 203

T

Tait, Peter Guthrie (1831 až 1901) 151
Talleyrand Périgord, Charles Maurice (1754—1838) 118
Tamm, Igor Jevgenijevič (1895—1971) 222, 240
Tartaglio, Niccolo (?1501 až 1557) 86—87
Tatum 173
Taylor, Brook (1685—1731) 123
Telesio, Bernardino (1508 až 1588) 81
Teller, Edward (*1908) 203, 223, 225
Tesla, Nicola (1856—1943) 179
Thalés z Miletu (?624—?548 př. n. l.) 13, 34, 35, 45
Theodorik (Dietrich z Freiburg) (?1250—?1310) 68
Thibaud, Jean (1901—1960) 219
Thompson, Benjamin viz Rumford
Thomson, sir George Paget (1892—1975) 142, 214, 226, 243
Thomson, sir Joseph John (1856—1940) 142, 204, 209, 214, 238
Thomson, William viz Kelvin
Ting, Samuel C. C. (*1938) 220, 241

Tisza, László (*1907) 225
Titius, Johann Daniel (1729 až 1796) 79
Tomáš z Yorku (13.—14. stol.) 65
Tombaugh, Clyde William (*1906) 106
Tomonaga, Sin-Itiro (1906 až 1979) 220, 240
Tonks, Levi (1887—1971) 222
Torrey, Henry Cutler (*1911) 227
Torricelli, Evangelista (1608 až 1647) 85, 90, 92, 111, 112
Townes, Charles Hard (*1915) 221, 239
Townley, Richard (1628 až 1707) 92, 113
Troostwyk, van Paest Adrian (1752—1837) 169
Tyndall, John (1820—1893) 125, 138

U

Ubaldi del Monte, Guido (1545—1607) 81
Uhlenbeck, George Eugene (*1900) 216
Umov, Nikolaj Alexandrovič (1845—1915) 195
Urban VIII., dříve Barberini, Maffeo (1568—1644) 90
Urey, Harold Clayton (*1893) 242

V

Valasek, Joseph (*1897) 227
Valdštejn, Albrecht (1583 až 1634) 79
van der Meer, Simon (*1925) 241
van der Waals, Johannes Di-

derik (1837—1923) 114, 150, 238
van Vleck, J. H. 226, 227, 243
van't Hoff, Jacobus Henricuu (1852—1911) 143, 152, 237
Varignon, Pierre (1654—1722) 74
Varley, Cromwell Fleetwood (1828—1883) 209
Vidi, Lucien (1805—1886) 112
Viète, François, Seigneur de la Bigotière (1540—1603) 87
Violle, Louis Jules Gabriel (1841—1923) 196
Vitellius (?1225—?1280) 68, 184
Vitruvius Pollio, Marcus (?86 až ?22 př. n. l.) 52, 55, 132
Viviani, Vincenzo (1622 až 1703) 41, 85, 90, 92, 111
Vleck, John Hasbrouck van (1899—1980) 226, 227, 243
Volkenštejn, M. V. 225
Volosov, A. G. 222
Volta, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio (1745 až 1827) 164, 167—168, 176
Voltaire, Jean François Arouet (1694—1778) 98

W

Wallis, John (1616—1703) 95
Walton, Ernst Thomas Seton (*1903) 242
Watzelrode, Lukáš (1448 až 1512) 77
Watt, James (1736—1819) 144
Weber, Ernst (1795—1878) 124
Weber, Heinrich (1843—1913) 150
Weber, Wilhelm (1804—1891) 124, 125, 157, 166, 172 až 173, 176

Weinberg, Steven (*1933) 220, 240
Weisskopf, G. [Whitehead] 114
Wheastone, sir Charles (1802 až 1875) 125, 168, 176
Wick, Heinrich von (14. stol.) 67
Wiedemann, Gustav Heinrich (1826—1899) 150
Wien, Wilhelm Carl Werner (1864—1928) 212, 239
Wigner, Eugene Paul (*1902) 220, 240
Wilke, Johann Carl (1732 až 1796) 135
Wilson, sir Alan Harries (*1906) 227
Wilson junior, Edgar Bright (*1908) 225
Wilson, Charles Thomson Rees (1869—1959) 223, 239, 241
Wilson, Kenneth Geddes (*1936) 240
Wilson, R. W. 199
Wilson 244
Wollaston, William Hyde (1766—1828) 169, 212
Worcell, John D. (*1919) 128
Wright, Orville (1871—1948) 114
Wright, Wilbur (1867—1912) 114

Wróblewski, Szymon Florenty (1845—1888) 151—152
Wu Ch. (*1913) 220

Y

Yang, Chen Ning (*1922) 220, 240
Young, Thomas (1773—1829) 116, 122, 124, 173, 182, 191, 192, 193, 212, 227
Yukawa, Hideki (1907—1981) 220, 241

Z

Zavojskij, Jevgenij Konstantinovič (1907—1976) 227
Zeeman, Pieter (1863—1943) 238
Zener, Clarens Melwin (*1905) 227
Zenger, Václav Karel (1830 až 1908) 195
Zernike, Frederik (1888 až 1966) 239
Zweig, George (*1937) 221

Ž

Žukovskij, Nikolaj Jegorovič (1847—1921) 110, 115, 116

OBSAH

| | |
|---|-----|
| O DĚJINÁCH FYZIKY | 5 |
| O významu dějin fyziky | 5 |
| Vývojové fáze fyziky | 10 |
| FYZIKÁLNÍ VĚDĚNÍ PŘED VZNIKEM FYZIKY JAKO SAMOSTATNÉ EXPERIMENTÁLNÍ VĚDY | 25 |
| Otazníky nad prehistorií fyziky | 25 |
| Stará fyzika | 27 |
| Babylónská a egyptská fyzika | 27 |
| Starověké Řecko a přínos jeho filozofů fyzice | 32 |
| Od alexandrijských matematiků ke Galileimu | 46 |
| Alexandrijské Múseion a Archimédes | 47 |
| Antický Řím | 54 |
| Arabská středověká fyzika | 56 |
| Evropská středověká fyzika | 58 |
| VÝVOJ KLASICKÉ FYZIKY K MECHANICKÉMU OBRAZU PŘÍRODY | 71 |
| Vznik a vývoj klasické mechaniky | 72 |
| Geometrická statika | 73 |
| Kinematika | 74 |
| Klasická dynamika | 80 |
| Experimentální základy dynamiky v díle Newtonových předchůdců | 85 |
| Matematické základy dynamiky v díle I. Newtona a jeho předchůdců | 94 |
| Analytická mechanika v rukou velkých matematiků | 99 |
| Experimentální mechanika tuhých těles | 107 |
| Hydromechanika | 109 |

267

| | |
|--|-----|
| Aeromechanika | 111 |
| Molekulární mechanika | 115 |
| Nové fyzikální jednotky a klasická mechanika | 118 |
| Vznik a vývoj akustiky | 119 |
| Vznik a vývoj akustiky před Galileim | 120 |
| Klasické období akustiky | 122 |
| Současné období akustiky | 126 |
| Vznik a vývoj klasické termiky | 129 |
| Předklasická termika | 131 |
| Vznik termometrie | 132 |
| Vznik a rozvoj kalorimetrie | 135 |
| Klasická termodynamika | 141 |
| Klasická statistická fyzika | 144 |
| Klasická experimentální termika | 149 |

VÝVOJ KLASICKÉ FYZIKY K RELATIVISTICKÉMU NEKVANTOVÉMU OBRAZU PŘÍRODY

| | |
|--|-----|
| Vznik a vývoj klasické elektrodynamiky | 156 |
| Prehistorie nauky o elektřině a magnetismu | 159 |
| Předklasická elektrodynamika | 161 |
| Vznik elektrodynamiky ustálených proudů | 166 |
| Rozvoj klasické elektrodynamiky | 177 |
| Vznik a vývoj klasické optiky | 181 |
| Stará optika | 182 |
| Předklasická optika | 185 |
| Optika splývá s elektrodynamikou | 194 |
| Vznik a vývoj teorie relativity | 196 |
| Mechanika relativního pohybu | 197 |
| Problémy optiky pohybujících se prostředí | 198 |
| Problémy elektrodynamiky pohybujících se prostředí | 200 |
| Speciální teorie relativity | 202 |
| Obecná teorie relativity | 204 |

VÝVOJ FYZIKY KE KVANTOVÉMU OBRAZU PŘÍRODY

| | |
|--|-----|
| Vznik a vývoj staré kvantové fyziky | 207 |
| Chemický atomismus | 208 |
| Od teorie záření ke kvantové hypotéze | 211 |
| Kvantová hypotéza a fyzika mikrosvěta | 213 |
| Vznik a vývoj současné kvantové fyziky | 215 |

268

| | |
|---|-----|
| Kvantová fyzika a nové filozofické ideje | 217 |
| Kvantová fyzika a fyzika elementárních částic a elementárních interakcí | 219 |
| Kvantová teorie a statistická fyzika | 221 |
| Kvantová teorie a fyzika atomového jádra | 222 |
| Kvantová teorie ve fyzice atomů a molekul | 224 |
| Kvantová fyzika a fyzika pevných látek | 225 |
| Kvantová fyzika ve vědách | 228 |
| CO OVLIVŇovalo V MINULOSTI VÝVOJ FYZIKY | 231 |
| NOBELOVY CENY ZA FYZIKU | 237 |
| LITERATURA | 245 |
| JMENNÝ REJSTŘÍK | 247 |

MALÁ MODERNÍ
ENCYKLOPEDI E

SVAZEK 104

VLADIMÍR MALÍŠEK

CO VÍTE O DĚJINÁCH FYZIKY

Přebal navrhl Milan Hegar

Foto z archívu autora

Odpovědný redaktor Vladimír Trojánek

Technická redaktorka Hana Hráská

Vydal Horizont, nakladatelství Socialistické akademie ČSSR,
v Praze roku 1986 jako svou 949. publikaci

Vydání první

Stran 272 + 16 stran černobílé přílohy

Vytiskly Moravské tiskařské závody, n. p., provoz 21, Ostrava 1,

Novinářská 7, č. z. 53879

Náklad 10 000 výtisků

15,59 AA (z toho ilustr. 0,78); 16,08 VA

Tematická skupina 03/5

40—021—86

Cena 20 Kčs

508/825