

# **Elementární částice – minulost, současnost a budoucnost**

Doc. RNDr. Luděk Jančář, CSc.

Katedra chemie, Pedagogická fakulta MU, Poříčí 7, 603 00 Brno,  
e-mail: jancar@ped.muni.cz

## **Úvod**

- 1. Elementární částice hmoty**
- 2. Historie objevování částic a záření: elektron, proton, antimota, neutrino, neutron, kvark, pozitron, mezon, hyperon, rezonance, záření**
- 3. Rozdělení částic: kvanta polí, leptony, kvarky, fermiony, bosony, mezony, baryony, rezonance, antičástice**
- 4. Standardní model – rodiny elementárních částic**
- 5. Jádro atomu, elektronový obal**
- 6. Gravitace, elektřina, magnetismus, slabé interakce, silné interakce**
- 7. Einsteinův životní sen – teorie všeho**
- 8. Centra výzkumu, moderní metody zkoumání, budoucnost v objevování částic**
- 9. Teorie strun (superstrun)**

## **Literatura**

## Úvod

Fyzika 20. století urazila na cestě za rozšířením našeho poznání světa notný kus cesty. Jeden míří ven, k nejzazším hranicím pozorovatelného vesmíru a druhý směřuje **do nitra hmoty**, k samým základům mikrokosmu, podivuhodného **světa atomů a subatomárních částic**.

Lidské oko rozliší **0,07 mm** z konvenční vzdálenosti 25 cm (zorný úhel 1 min).

K pozorování menších objektů je zapotřebí zvětšovací sklo nebo mikroskop. První **mikroskop**, jež dosahoval 200násobného zvětšení, sestrojil Holanďan Anton van Leeuwenhoek, obchodník s látkami, který neměl žádné vědecké vzdělání, ale jeho koníčkem bylo brousit čočky. V roce 1683 s ním pozoroval kapku vody a objevil první mikroorganismy. Z jeho nákresů později vědci usoudili, že byl patrně prvním člověkem, který viděl bakterie. Bakterie, které mají typickou velikost okolo 1 mikrometru ( $10^{-6}$  m).

V roce 1931 byl vyvinut první **elektronový mikroskop** a našemu poznání se otevřel svět virů ( $10^{-7}$  m). **Dnešní elektronové mikroskopy** "vidí" dokonce strukturu molekul ( $10^{-10}$  m) a umožňují rozeznat povrch jednotlivých atomů. Typický rozměr atomu je právě  $10^{-10}$  m. Je ovšem velmi paradoxní, že něco tak nepatrného jako atom má uvnitř rozsáhlý prázdný prostor. Hluboko v nitru atomu je ukryto maličké, ale velmi husté jádro ( $10^{-14}$  m), jež obklopuje desettisíckrát větší oblak elektronů, na který však připadá pouhá dvacetina procenta celkové hmotnosti. Zde začíná mikrokosmos (řecky "malý svět") v pravém slova smyslu. Chtějí-li vědci do něj nahlédnout, neobejdou se bez ještě silnějšího "mikroskopu" – musí dosáhnout ještě kratších vlnových délek a používají k tomu zařízení nazývaná **urychlovače částic**.

## 01.jpg Mikrosvět

Základní otázky:

Co je světlo?

Co je atom?

Co tvoří jádro atomu?

Jak drží jádro pohromadě?

Co tvoří elektronový obal?

Co je antihmota?

Co je radioaktivní záření?

Jaké jsou další typy záření?

Co je standardní model?

Co je podstatou teorie superstrun?

## 1. Elementární částice hmoty

### 02.jpg Dělení látek

#### Dělení částic

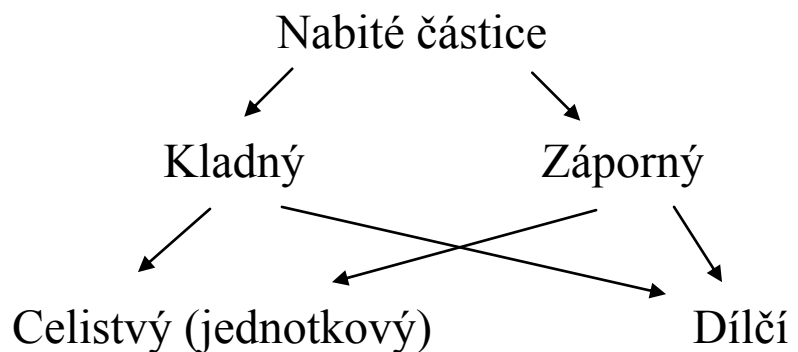
##### 1) *Povaha hmoty*

Částice

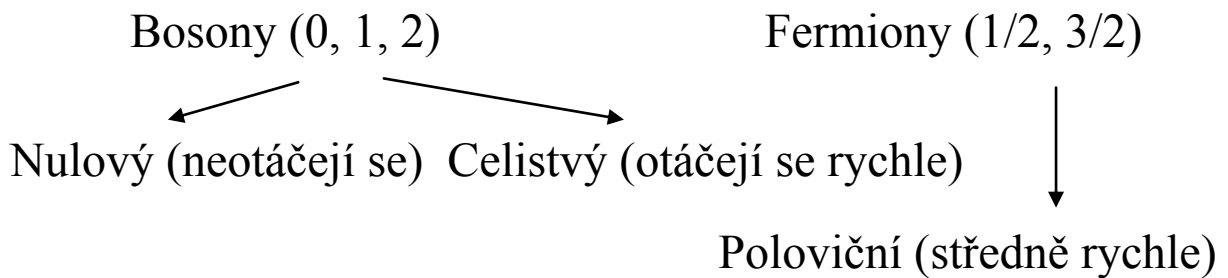
Antičástice

##### 2) *Elektrický náboj*

Bez náboje



### 3) Spin



### 4) Složení

[03.jpg](#) Dělení částic

[04.jpg](#) Přehled částic (1950)

[Castice.htm](#), [PrehledCastic.doc](#)

## 2. Historie objevování částic a záření: elektron, proton, antimota, neutrino, neutron, kvark, pozitron, mezon, hyperon, rezonance, záření

[KurzECH.doc](#)

### Starověké Řecko

[05.jpg](#) Živly

### Počátky moderní vědy

[KurzECH.doc](#)

### Světlo – částice nebo vlnění

[06.jpg](#) Isaac Newton (1666), rozklad světla – spektrum

[07.jpg](#) Thomas Young (1803), průchod světla 2 štěrbinami

[08.jpg](#) Albert Einstein (1905), fotoelektrický jev

## **Elektromagnetické záření – spektrum**

[09.jpg](#) Elektromagnetické záření

[10.jpg](#) Elektromagnetické spektrum – vlny

## **Rentgenovo záření**

[11.jpg](#) První rentgenový snímek (1896), ruka jeho ženy

## **Objev elektronu (30. dubna 1897)**

[12.jpg](#) J. J. Thomson (1897), katodové záření  
– působením elektrického pole nabývá různých tvarů

## **Radioaktivita**

[KurzECH.doc](#)

[13.jpg](#) Záření  $\alpha$ ,  $\beta$  (E. Rutherford – 1898),  $\gamma$  (Paul Villard – 1900)

## **Rozbití atomu $p + Li \rightarrow He + \alpha$ (1932), štěpení jádra, řetězové reakce**

[14.jpg](#) Štěpení jádra

[15.jpg](#) Řetězová reakce (1938)

## **Kosmické záření – Theodor Wulf (1910), Victor Hess (1911)**

[KurzECH.doc](#)

**Antihmota, objev pozitronu – Carl Anderson (1932), objev antiprotonu (1955), antineutronu (1956)**

**16.jpg** Vznik páru antičástic ze spršky paprsků gama (žluté), elektrony (zelené), pozitrony (červené)

**Neutrino – Wolfgang Pauli (1931), detekce neutrin projekt Poltergeist (1953) – Los Alamos (Frederick Reines, NC 1995)**

**KurzECH.doc**

**Mion – Carl Anderson a Seth Neddermeyer (1936)  
– v kosmickém záření**

**KurzECH.doc**

**Podivné částice**

**17.jpg** Rozpad podivných částic, modré dráhy patří částicím, které se této reakce nezúčastnily

**18.jpg** Rozpad podivných částic, záporný pion přilétá zdola a interaguje s protonem z náplně bublinové komory. Vznikají 2 podivné částice – lambda a neutrální kaon. Obě částice nezanechávají stopu, ale o jejich přítomnosti jasně svědčí produkty jejich rozpadu. Lambda přechází v proton a záporný pion, kaon v kladný pion a záporný pion

**Mionové neutrino – Jack Steinberger, Leon Lederman a Melwin Schwarz (1961 – 1962), Brookhaven**

**KurzECH.doc**

**Kvarky**

**KurzECH.doc**

**19.jpg** Kvark up, down a strange (podivný)

**20.jpg** Omega minus (předpověděl Murray Gell-Mann – 1962), Nick Samoa (1964) z Brookhavenu, do nové bublinové komory vlétávaly kaony a po prozkoumání 50 000 snímků byl nalezen téměř učebnicový příklad rozpadu omega minus, počínající v levém dolním rohu

**21.jpg** Baryony a mezony

**Půvabný kvark c – objeven v částici J/psi (nezávisle Samuel Ting, Brookhaven (New York) a Burton Richter, Stanford (San Francisco), 1974)**

**KurzECH.doc**

**Částice  $\tau$  – Martin Pearl (Stanford, 1983), NC 1995**

**Kvark b – objeven v částici upsilon (Leon Lederman, Fermilab, Chicago 1977)**

**KurzECH.doc**

**Částice W a Z – Carlo Rubia a Simon van der Meer (1983), CERN**

**22.jpg** Rozpad částice W, vzniká elektron (červeně) a v přesně opačné směru chybí energie, detektor UA1, CERN

**23.jpg** Částice z vakua, srážka  $e^-$  s  $e^+$ , anihilace, záblesk energie, ve vakuu skoro-částice, vypůjčí si energii a stanou se skutečnými částicemi, např. Z

**24.jpg** Rekonstrukce rozpadu Z v detektoru ALEPH na LEP, CERN, zobrazuje různé částice vyletující z bodu srážky ve středu detektoru, kde se částice Z vytvořila. Klínovité plochy na obvodu charakterizují množství energie, kterou částice odnesly.

**Kvark t – objev (Fermilab, Chicago 1995), 900 vědců**

**KurzECH.doc**

**$\tau$  neutrino – 1999, P. Yager a V. Paolone, Fermilab**

**Supersymetrické částice**

**25.jpg** Symetričtí superpartneři základních částic

### **3. Rozdělení částic: kvanta polí, leptony, kvarky, fermiony, bosony, mezony, baryony, rezonance, antičástice**

**Částice – stav v roce 1990 (106)**

Kalibrační bosony (3)

Leptony (6)

Kvarky (6)

Mezony – nepodivné (42)

Mezony – podivné (7)

Mezony – půvabné, nepodivné (2)

Mezon – půvabný, podivný (1)

Mezony – bottom, nepodivné (2)

Baryony – nepodivné (8)

Hyperony:

Rezonance – delta, nepodivné (6)

Rezonance – lambda, podivnost-1 (7)

Rezonance – sigma, podivnost-1 (9)

Rezonance – cascade, podivnost-2 (5)

Baryon – omega, podivnost-3 (1)

Baryon – půvabný, nepodivný (1)



## Kombinace částic z kvarků:

Osm

Deset

uuu

uud

uus

udd

uds

uss

ddd

dds

sds

sss

**26.jpg** Mezonový oktet, baryonový oktet a dekuplet

Šestnáct (šestnáctistěn)

## 4. Standardní model – rodiny elementárních částic

**27.jpg** Rodiny částic

**28.jpg** Zprostředkující částice

## 5. Jádro atomu, elektronový obal

### Jádro atomu

**29.jpg** Modely atomu J. J. Thomson (1899), Hatari Nagaoka (1904), Kelvin (1905)

**30.jpg** Ernest Rutherford (1911) – bombardoval  $\alpha$  částicemi atomy zlata, některé se odrazily zpět, více než 99 % prošlo

Bohrův model atomu (1913)

## Elektronový obal

[KurzECH.doc](#)

### Jak drží jádro pohromadě?

[31.jpg](#) Výměna elektricky nabitého mezonu

## 6. Gravitace, elektřina, magnetismus, slabé interakce, silné interakce

### Elektroslabá interakce

[32.jpg](#) Higgsovo pole – narušená symetrie prostoru

[33.jpg](#) Beta rozpad

### Silné interakce

[34.jpg](#) Gluony

[35.jpg](#) Tři jety v detektoru ALEPH, LEP, CERN, dva jety vznikly ze systému kvark-antikvark, který se vytvořil ze záblesku energie po anihilaci elektronu s pozitronem při srážce, třetí jet je gluonový a vznikl z utrženého kousku napjaté gluonové struny, která původně spojovala kvark s antikvarkem, je to ten, co směřuje nalevo dolů

## 7. Einsteinův životní sen – teorie všeho

1920 Einstein, 50. léta Heisenberg – neúspěch

[36.jpg](#) Teorie všeho – sjednocení všech interakcí

[37.jpg](#) TOE – cesta sjednocování sil

## 8. Centra výzkumu, moderní metody zkoumání, budoucnost v objevování částic

### Jaderné reaktory

Berkeley, Bevatron, San Francisco

### Elektronové urychlovače

Cambridge, Massachusetts, USA

CERN – LEP, Meyrin, Švýcarsko Z, W

DESY, Hamburk, Německo

Frascati, Itálie (1963)

Stanford, Paolo Alto, poblíž San Francisca, Kalifornie, USA c

### Protonové urychlovače

Brookhaven, New York, USA c

CERN – SPS, LHC, Meyrin, Švýcarsko

Dubna, severně od Moskvy, SSSR

Fermilab, poblíž Chicaga, USA b t

**38.jpg** Cyklotron

**39.jpg** Synchrotron

**40.jpg** Lineární urychlovač (1967), Stanford

**41.jpg** Pohled na CERN

**42.jpg** CERN – LEP, SPS, PS

**43.jpg** Supravodivý superurychlovač

Elektron-protonový urychlovač HERA, DESY, Hamburk

**46.jpg** LHC, CERN – Large Hadron Collider

### Detektory

**44.jpg** Detektor ALEPH na LEP, CERN

## Umění vidět neviditelné

E. Rutherford počítal částice jako záblesky na stínítku.

Později se srážky zaznamenávaly na fotografický film.

Později elektronické oči, které předávají data k analýze počítačům.

Moderní detektory mají 1 500 000 a více elektronických kanálů, kterými zaznamenávají signály z jednotlivých „případů“, jak se říká srážkám částic. Po průchodu shluků částic mají elektronické logické obvody čas jen miliontiny (25) sekundy, než dorazí další částice a v nich se rozhodnout, zda se stalo něco zajímavého nebo ne. Jestliže ne, elektronika se musí vynulovat a připravit na další srážky. V případě, že srážky vypadají slibně, několik dalších částic se ignoruje a detektor zpracovává danou informaci, což mu zabere několik set miliontin sekundy. Další vyhodnocení detekce je opět velmi složité (falešné signály, šum), musí se rekonstruovat dráhy pomocí spousty počítačových programů. Speciální části detektorů pak identifikují částice a měří dobu jejich průletu nebo jejich energii atd. Ze zakřivení v magnetickém poli se pozná, je-li částice nabitá a podle směru a velikosti zakřivení se dá určit, jestli je náboj kladný či záporný a vypočítat hybnost. V neposlední řadě je důležitá i zkušenost experimentátorů.

**KurzECH.doc**

## 9. Teorie strun (superstrun)

[KurzECH.doc](#)

[TS01.jpg](#) Příklady strun a jejich interakcí

[TS02.jpg](#) Mravenec a dvourozměrná a jednorozměrná trubka

[TS03.jpg](#) Obecná teorie relativity, prostor se hmotou zakříví

[TS04.jpg](#) Černá díra

[TS05.jpg](#) Svinuté prostory (6) do Calabiho-Yauovy variety

[TS06.jpg](#) 3 velké dimenze a 6 svinutých

[TS07.jpg](#) Flop – protržení a následné zcelení prostoru

## Literatura

1. Fischer J.: Průhledy do mikrokosmu. Mladá fronta, Praha 1986.
2. Coughlan G. D. and Dodd J. E.: The ideas of particle physics. Cambridge University Press, Cambridge 1991.
3. Štoll I.: Fyzika mikrosvětla. Prometheus, Praha 1993. ISBN 80-85849-48-8.
4. Physical Review D, Particles and fields. Part I. Review of Particle Physics, Vol. 54, Third Series, No. 1, 1 July 1996.
5. Fraser G., Lillestøl E. a Sellevåg I.: Hledání nekonečna. Columbus, Praha 1996. ISBN 80-85928-37-X.
6. Greene B.: Elegantní vesmír. Mladá fronta, 2001. ISBN 80-204-0882-7.
7. Hawking S. W.: Ilustrovaná teorie všeho. Argo, Praha 2004. ISBN 80-7203-575-4.
8. Horský J., Novotný J. a Štefaník M.: Úvod do fyzikální kosmologie. Academia, Praha 2004. ISBN 80-200-1241-9.
9. Veltman M.: Fakta a záhady ve fyzice elementárních částic. Academia, Praha 2007. ISBN 978-80-200-1500-6.
10. <http://askanexpert.web.cern.ch/AskAnExpert/en/PPhysics>