

Fyzika v kuchyni

V kuchyni se s fyzikou setkáme takřka na každém kroku. Následující výčet jevů a pokusů není ani zdaleka úplný.

- *Na začátku nasypeme sůl do důlku v brambore, promluvíme o tom později.*
- **Jak působí kvasnice** a co mají společného kvasinky ve víně a kvasnice na chleba? Kvasinky jsou mikroskopické houby a živí se cukry. Jako zplodiny svého metabolismu přitom produkují oxid uhličitý a líh (etanol, C_2H_5OH). Při kvašení vína či sladu pro výrobu piva nám jde o líh, při pečení buchet a vaření knedlíků ale o CO_2 . Ten totiž udělá v těstě bubliny (říkáme, že těsto kyne) a buchta či knedlík je pak kyprý.
- Proč je třeba **propíchat knedlíky**, když je vytáhneme z vařící vody? Protože při vaření se teplem bubliny CO_2 ještě více zvětší díky teplotní roztažnosti. Při vytažení knedlíku z vody se bubliny ochladí, zmenší se a knedlík se scvrkne. Propícháním ale dovolíme vzduchu, aby se do bublin nasál (díky podtlaku, který vzniká, jak se ochlazuje oxid uhličitý), a knedlík se tak nescvrkne. Tento jev můžeme pěkně ilustrovat pomocí plechovky od piva, v níž necháme vařit trochu vody a pak ji ponoříme otvorem napřed do kbelíku s vodou, viz obr. 1.



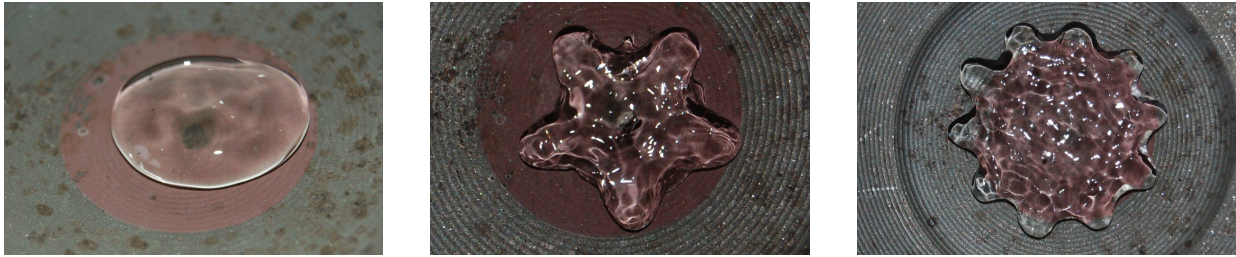
Obrázek 1: Pokus s plechovkou od piva – ilustrace zdrclého knedlíku, který jsme nepropíchalí.

- Proč **prská kapka vody**, kterou kápneme na pánev s horkým tukem? Protože tuk má mnohem vyšší teplotu, než je teplota varu vody. Při kontaktu s ním voda začne prudce vřít a vymršťovat i kapky tuku z pánve. To může být nebezpečné. Z podobného důvodu se nesmí např. hořící vosk hasit vodou. Voskový ohňostroj.

Pokus s kapkou vody přidanou do horkého oleje v hrnci

- Proč **kapka běhá po horké plotně** a nevypaří se hned (viz obrázek 2)? Jde o tzv. Leindenfrostův jev – kapku nadnáší polštář páry, která se z ní uvolňuje, a to jí brání v přímém kontaktu s plotnou. Kapka tak vydrží i několik minut, než se postupně vypaří. Pokud plotna není tak horká, kapka se dostane do přímého kontaktu s ní a vypaří se téměř okamžitě. Ze stejného důvodu kapky tekutého dusíku běhají po stole a můžeme si je nalít na ruku. Možná i ze stejného důvodu se sklář může mokrou rukou dotknout žhavého skla.

Pokus s kapkou běžající po rozpálené plotýnce

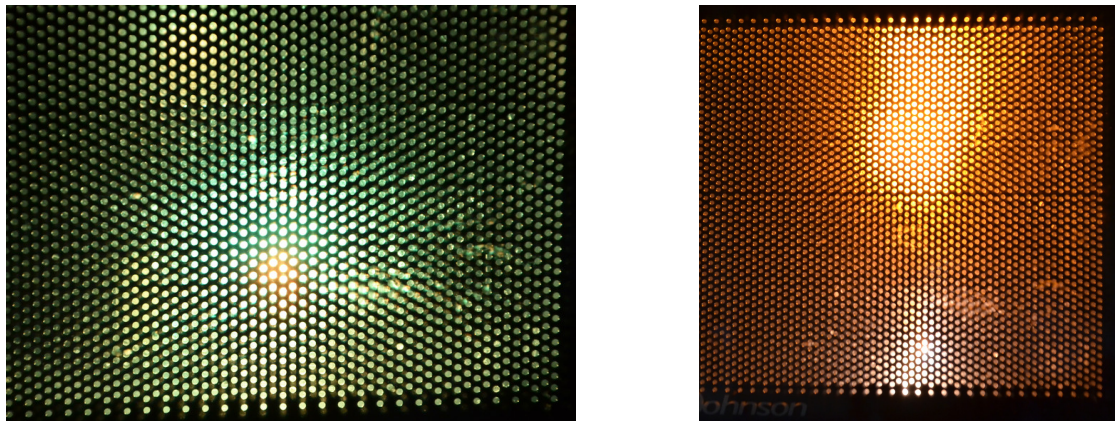


Obrázek 2: Leidenfrostův jev – kapka na horké plotně. Na druhém a třetím obrázku je zachycen kmit kapky vlivem zpod ní unikající páry

- Proč se dělají držadla pánví apod. dřevěná? Protože dřevo má menší tepelnou vodivost než kov, nespálíme se. U některých kachlových kamen – rukojeti dvířek jsou ze stočeného drátu – ten sice teplo vede dobře, ale díky stočení je dlouhý, okolní vzduch jej stačí ochlazovat a nebude nikdy moc horký.

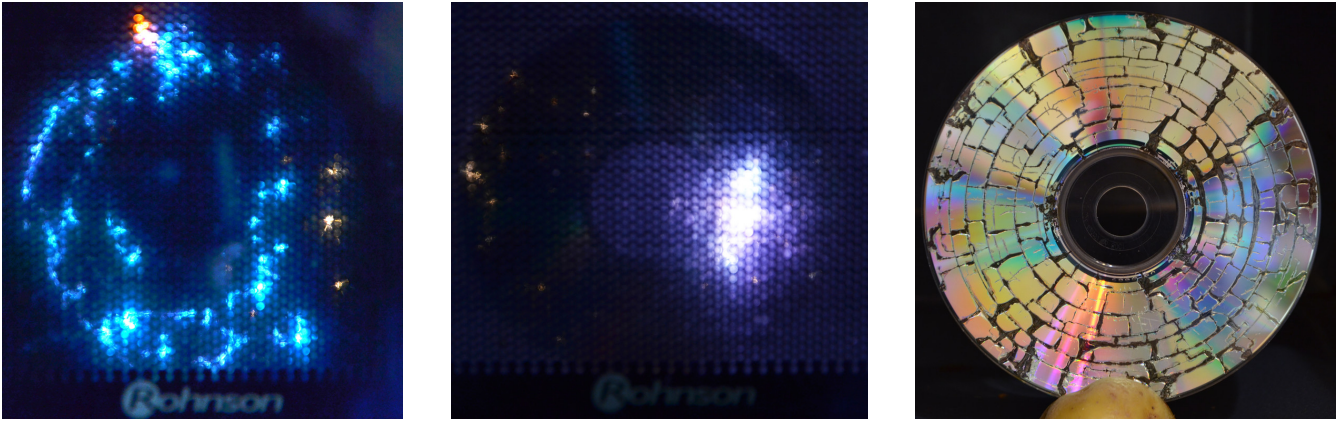
Pokus s voskovými kuličkami nalepenými na stočený drát, jehož konec zahříváme

- Jak funguje **gril nebo remoska**, kudy se předává teplo? Teplo se předává ze žhavého uhlí, spirály grilu nebo víka remosky sáláním, tedy elektromagnetickým zářením (hlavně v infračervené oblasti), které se pohlcuje v pokrmu. Protože se pohlcuje silně, neproniká příliš do hloubky a pokrm se zahřívá přímo hlavně na povrchu, do hloubky se pak teplo dostává vedením z povrchu.
- **Termoska** je dvojitá nádoba, z mezery je vyčerpán vzduch. Bude v dokonalé termosce chladnout čaj? Ano, protože energie prostupuje i vakuem, opět formou elektromagnetického záření. Tento efekt se zeslabuje postříbřením termosky, které sníží emisivitu i absorpci povrchů, ale nejde zcela zrušit, takže čaj bude chladnout a zmrzlina teplat.



Obrázek 3: Vlevo: žárovka se v mikrovlnné troubě rozsvítí i bez připojení k vodičům s proudem. To, co její vlákno rozžhaví, jsou vířivé proudy způsobené silným elektromagnetickým polem uvnitř trouby. Při pozornějším pohledu si všimneme, že nezáří pouze vlákno, ale celý vnitřek žárovky, v němž se vytvořilo plazma. Při tomto pokusu je lepší dát žárovku do zavařovací sklenice s víčkem, aby při případné explozi žárovky nebyla mikrovlnka plná střepů. Vpravo: dáme-li do mikrovlnky doutnající špejli (kterou jsme předtím zapálili a pak sfoukli), znovu se rozhoří. Navíc se často plamen jakoby rozdělí (to je vidět na obrázku) a jeho část se pohybuje poblíž stropu mikrovlnky. Je to vlastně koule plazmatu, které je udržováno silným elektromagnetickým polem.

- **Mikrovlnná trouba** – i zde předává energii elektromagnetické záření, ale mnohem nižších frekvencí (2.4 GHz) než u grilu (tam jsou to řádově 10^{14} Hz). Mikrovlny se pohlcují hlavně ve vodě a



Obrázek 4: Cédéčko v mikrovlnné troubě nedopadne dobře, protože silné elektrické pole vytvoří v hliníkové vrstvě elektrický proud, který ji částečně vypaří. Po přerušení vrstvy se pak vytváří vysoké napětí, které se projeví jiskrami (vlevo a uprostřed). Na pravém obrázku pak vidíme, jak to s céděčkem dopadlo.

v tučích, ale ne tak silně jako IČ záření. Proto mikrovlny zahřejí pokrm nejen na povrchu, ale i do hloubky. Frekvence mikrovln je zvolena šikovně tak, aby se to takto dělo, ale zároveň aby se vlny vůbec pohlcovaly. A proč vlastně vodu zahřívají? Molekuly vody mají dipólový moment – mají na jedné straně (kolem atomu kyslíku) záporný náboj a na druhé straně (kolem atomů vodíku) kladný náboj. Když se molekula vody dostane do elektrického pole, je kladný náboj tažen ve směru pole \vec{E} a záporný proti směru, takže molekula má tendenci se natočit podél pole. Mikrovlnné pole ale mění směr dvoumiliardkrát za sekundu, což se snaží každá molekula vody sledovat. Začne tedy velmi rychle kmitat, přitom naráží do okolních molekul, zrychluje se neuspořádaný pohyb molekul a roste teplota. Na obrázcích 3 a 4 vidíme některé zábavné pokusy s mikrovlnkou. *Pokusy s mikrovlnkou – sýr, který se roztaví v místech kmíten, ale ne v místech uzlů záření, dále vypalování céděčka a pokus s doutnající špejlí, která se rozhoří.*

- V **indukčním sporáku** se energie předává také elmag. polem. Cívky zabudované v desce vytváří silné střídavé magnetické pole frekvence několika desítek kilohertzů. Toto pole neustále přemagnetovává železné dno hrnce. Při každém přemagnetování se uvolňuje energie ve formě tepla. Teplo se vytváří přímo ve dně hrnce, tedy nepředává se od varné desky vedením. Pokud na desku dáme např. dřevěnou destičku nebo sešit (zkoušel jsem), může voda v hrnci vřít a deska je přitom studená. Na rozdíl od mikrovlnky indukčnímu sporáku nevádí chod naprázdno, energie se nevysílá, pokud tam není její pohlcovač.
- **Tlakový hrnec (papiňák)** – při vyšším tlaku je vyšší i teplota varu vody a naopak (proto např. horolezci ve velké výšce musí dlouho vařit rýži). Zvýšíme-li tlak v hrnci, bude voda vřít při vyšší teplotě a jídlo se dříve uvaří. Kde se potřebný přetlak vezme? Ne, nemusíme hrnec tlakovat pumpou. Stačí na určitou dobu zabránit tvořící se páře unikat a tlak se vytvoří sám od sebe touto párou. Jak se přesvědčíme, že je v hrnci opravdu vyšší teplota než 100 stupňů Celsia? Nalítím pár ml vody na papiňák, ta po chvíli začne vřít. Co když jsem dovařil a chci papiňák rychle otevřít, protože mám velký hlad? Musím čekat, než tlak poklesne (někdy i třeba 15 minut), nebo to mohu nějak urychlit? Mohu, a to litím vody na papiňák. Tím se ochladí stěny a víko, voda začne prudce kondenzovat, tlak bude klesat a do 30 s mohu hrnec otevřít. Jaká je vlastně uvnitř teplota a tlak? Tlak lze odvodit z tlakovacího zařízení (někdy je to závaží, někdy pístek s pružinou, u hrnce BIO je přetlak asi 1 atm (10^5 Pa), což odpovídá teplotě 120 stupňů.

Pokus – kapka vody na papiňáku s vroucí vodou vře

Pokus – horká voda v baňce uzavřené zátkou začne znovu vřít, jestliže baňku polijeme studenou vodou.

Pokus – var vlažné nebo i studené vody ve stříkačce, v níž jsme vytažným pístu vytvořili vakuum.

- **Vaří voda v makarónech?** Pokus – vaříme vodu v hrnci, uvnitř je postavený hrneček s vodou, která ale nevě. K varu nestačí jen dosáhnout teploty varu, ale je třeba ještě dodat skupenské teplo, aby proběhla změna skupenství. A k tomu je třeba, aby teplo proudilo z okolí, a k tomu je zase třeba, aby bylo okolí aspoň o trochu teplejší než ona voda. Proto voda v hrnečku nevě, i když má 100 stupňů, a podobně nevě ani voda v makarónech.

Pokus se dvěma miskami v sobě, ve větší vře voda, ale voda v té menší, co v ní plave, nevě.

- Proč se z hrnce, v němž vaříme vodu, **začne víc kouřit** poté, co vypneme plyn? Než jsme plyn vypnuli, horké spaliny se mísily s unikající párou, ředily ji a ona tolik nekondenzovala. Bez proudu horkých spalin pára ochotněji kondenzuje, tvoří se kapičky a z hrnce se tak kouří.

Pokus na tento jev.

- Jak poznat bez rozbití **vařené vajíčko od syrového** – známá věc, roztočíme je. Vařené je pevné, ale části syrového se vůči sobě snadno pohybují. Proto se vařené roztočí snáze než syrové. U syrového je ale něco ještě mnohem zajímavější – pokud je roztočíme a na okamžik zastavíme a zase pustíme, začne se znovu otáčet. To proto, že žloutek i část bílku se nezastavily, ale točily se dál i přesto, že se na chvíli zastavila skořápka.

Pokus na tento jev, včetně postavení vajíčka na špičku jeho rychlým roztočením.

- **Škrob s vodou** – namícháme-li směs vhodné hustoty, chová se částečně jako kapalina a částečně jako pevná látka. Při zatlačení lžičkou se směs začne drolit a trhat, ale při povolení tlaku opět zkapalní a teče. Proč? Bez mechanického napětí zaujmou škrobová zrna co nejtěsnější uspořádání, mezery mezi nimi jsou malé, voda je vyplní a ještě zbude na to, aby vystupovala na povrch. Pokud ale na směs zatlačíme např. lžičkou, uspořádání se naruší, mezery se zvětší a voda se vsákne dovnitř, na povrch nevystupuje. Tehdy se uplatní povrchové napětí, které bude zrna stahovat k sobě a směs se začne drolit. Při povolení napětí voda vystoupí z mezer a směs se rozteče. Z podobného důvodu při šlápnutí na mořský písek těsně u hladiny vody písek jakoby vyschne.

Pokus na tento jev.

- **Polévka** je zdrojem množství zajímavých jevů. Např. tuková oka se chovají jako dutá zrcadla (navíc v kombinaci s čočkou), zobrazují např. stropní světlo tak, že to vypadá jako spousta hvězdiček. Někdy se u polévky projevuje jakási pružnost – u polévek, kde je škrob, mouka nebo něco podobného, se při pootočení talířem začne točit i obsah, pak se zastaví a trochu se vrátí. U gulášové polévky jsou masná oka mnohem barevnější (červenější) než vodní část, protože barvivo obsažené v paprice je rozpustné v tuku, ale jen nepatrně ve vodě (patří mezi tzv. lipochromy).

To souvisí s uhlovodíkovými řetězci molekul barviva, které se přitahují s podobnými řetězci v molekulách tuku. Při vaření guláše se proto většina barviva rozpustí v přítomném tuku a do vody jej přejde jen nepatrná část. I některé vitamíny (např. A, D, E) jsou rozpustné v tucích a ne ve vodě, proto jsou v kapslích z lékárny rozpuštěny v olivovém oleji.

- Vodu lze vařit i v papírovém kelímku, protože voda ochlazuje papír pod jeho zápalnou teplotu a on neshoří ani nezuhelnatí. Z podobného důvodu neshoří papír namotaný na mosazném válci nebo nit namotaná na klíči, když ji díme do plamene.

Pokusy – vaření vody v kelímku a nespalitelný papír.

- **Zvuk při vaření vody** Proč při vaření vody v konvici na sporáku nebo v rychlovarné konvici vzniká zvláštní zvuk? A jak to, že sílící hučení, které oznamuje brzký bod varu, najednou skoro utichne, jakmile voda skutečně začne vřít? Vysvětlení je následující: při ohřívání vody na plameni se zahřívá nejprve kovové dno konvice a teprve od něj samotná voda. Je to tedy ohřev značně nerovnoměrný – voda v těsné blízkosti dna (řekněme 1 mm) má již po několika sekundách od postavení konvice na plamen téměř teplotu varu, zatímco voda ve větší vzdálenosti je mnohem

chladnější. Díky tomu dochází k intenzivnímu promíchávání (tzv. konvekci), při které lehčí horká voda stoupá nahoru a na její místo se dostává voda chladnější. Kromě toho se horká vrstvička u dna ochlazuje od zbylé vody obyčejným vedením tepla. Zatím se tedy žádný zvuk neozývá. Když se ale voda v celé konvici zahřeje na určitou vyšší teplotu (kolem 60 stupňů Celsia), nestačí již dostatečně ochlázovat vrstvičku vody, která je v kontaktu s horkým dnem konvice, a voda v této vrstvičce začne vřít. Vzniklé bublinky páry se prudce zvětšují a pokud by v celé konvici měla voda teplotu varu, stoupaly by až na hladinu. Protože je ale voda v konvici stále ještě chladnější než 100 °C, bublinka páry stoupá jen kousek, než se dostane do chladnější vody. A zde dojde k ochlazení bublinky a tím i k její prudké kondenzaci, takže se bublinka pohltí a zmizí. A protože ke vzniku a kolapsu bublinek dochází velice rychle a po celém dně, začne voda nepravidelně kmitat nahoru a dolů. Toto chvění vody se přeneso až na hladinu a do vzduchu, takže slyšíme zvuk – známé hučení nebo šumění. Situace se ale opět změní, když už voda v celém objemu dosáhne teploty varu. V té chvíli bublinky páry vznikající na dně stoupají vzhůru, nezanikají a ve vodě tedy nedochází k tak rychlým pohybům tam a zpět. Zvuk proto v této fázi paradoxně poněkud utichne. *Pokus – demonstrace tohoto jevu pomocí rychlovarné konvice.*

- **Osmóza** je velice zajímavý jev, který se uplatňuje v biologických, chemických a dalších systémech. Když posolíme kus rozkrojené a třeba už oschlé okurky, ředkvičky, brambory nebo jiné zeleniny, po několika minutách se se kolem zrnek soli vytvoří kapka slané vody. Sůl jakoby vytáhne vodu ze zeleniny. Velice pěkně se to dá ukázat i tímto pokusem: vezmeme kus brambory nebo mrkve, vyřízneme do něj důlek (viz obrázek) a do něj nasypeme sůl. Před nasypáním soli můžeme dólík vysušit papírovým kapesníkem, aby v něm zaručeně nebyla žádná voda. Necháme-li nyní bramboru stát, už po několika minutách sůl zvlhne a po několika hodinách se důlek naplní slanou vodou. Očividně se voda do důlku dostala z brambory, ale co ji přinutilo opustit buňky brambory a připojit se k soli v důlku?

Pokus – sůl nasypaná do důlku v bramboře či mrkvi.



Obrázek 5: Osmóza – sůl nasypaná do důlku v bramboře (vlevo) osmoticky vysává vodu z pletiv brambory, díky čemuž se důlek plní vodou (vpravo).

Odpověď zní, že to byl tzv. osmotický tlak. Abychom alespoň trochu porozuměli, o co jde, představme si nejprve následující situaci: máme membránu (tenkou vrstvu), která má zvláštní vlastnost: mohou jí procházet molekuly vody, ale nikoli molekuly soli (nebo spíše ionty Na^+ a Cl^- , na které se sůl ve vodě rozpadá). Zdá se to na první pohled zvláštní, protože zmíněné ionty nejsou o mnoho větší než molekuly vody. Ionť ale na sebe díky svému elektrickému náboji nabalí spoustu dalších molekul a takový shluk pak projde malými póry v membráně mnohem hůře než neutrální molekuly vody. Navíc ionť díky svému elektrickému náboji interaguje se stěnami pórů. Jestliže nyní dáme nalevo od membrány čistou vodu a napravo roztok soli ve vodě, dojde k zajímavému

jevu: molekuly vody začnou pronikat skrze membránu zleva doprava, tedy z míst, kde je čistá voda, do míst, kde je roztok soli. Vysvětleme si, proč.

Molekuly vody na obou stranách membrány jsou v neustálém neuspořádaném náhodném pohybu – všelijak do sebe narážejí, strkají se, odtlačují a zase přitahují. Přitom se někdy stane, že molekula vody, která je blízko póru v membráně, jím proklouzne na druhou stranu. Protože je pohyb molekul velmi rychlý a je jich obrovské množství, každou sekundu takto proklouzne zleva doprava i zprava doleva velmi mnoho molekul. Zřejmě ale počet molekul, které projdou zleva doprava, je úměrný počtu molekul, které se nacházejí vlevo v blízkosti membrány: čím více molekul se zde nachází, tím více jich má šanci proniknout otvorem. Podobně je tomu s molekulami, které pronikají zprava doleva – jejich počet zase souvisí s tím, kolik je molekul vody vpravo v blízkosti membrány. A nyní přijde to důležité: Molekul vody vpravo je méně než vlevo, protože část místa zde zabírá sůl, která vlevo není! Proto za sekundu pronikne více molekul vody zleva doprava než opačným směrem a výsledkem tedy je tok molekul zleva doprava. Tím je vysvětlení u konce. Všimněme si ještě několika důležitých detailů.

Za prvé, není rozhodující *celkové* množství vody vlevo a vpravo od membrány, ale množství vody *v blízkosti* membrány – tedy vlastně ve vrstvičce určité tloušťky podél membrány. A pro toto množství je důležitá jen koncentrace soli, nikoli to, jaký objem kapaliny je vlevo nebo vpravo.

Za druhé, ačkoli se zdá, že voda prochází jen jedním směrem (zleva doprava), ve skutečnosti se molekuly pohybují oběma směry (tedy i zprava doleva), ale první tok je silnější, takže převažuje. Podobně je tomu i třeba při vypařování vody z mokrého prádla při jeho sušení: molekuly vody se dostávají nejen z prádla do vzduchu, ale i naopak. Protože je ale více těch prvních, prádlo schne a nám se zdá, jakoby voda šla jen jedním směrem.

Osmóza se uplatňuje např. při vaření seschlého párku, který se přitom nafoukne.

- **Promítání DVD Fyzika v kuchyni**, Directfilm, 2007.

Seznam pokusů:

- Osmóza s bramborou a solí – připravíme na začátku a podíváme se na to později, až se důlek začne plnit vodou
- Kvasnice produkují CO_2 , ten probublává vodou
- Zdrnutí plechovky od piva
- Pokus s kapkou vody přidanou do horkého oleje v hrnci
- Pokus s kapkou běžající po rozpálené plotýnce
- Pokus s voskovými kuličkami nalepenými na drát, jehož konec zahříváme
- Pokusy s mikrovlnkou – sýr, který se roztaví v místech kmíten, ale ne v místech uzlů záření, dále vypalování céděčka a pokus s doutnajícím špejlí, která se rozhoří.
- Kapka vody na papiňáku s vroucí vodou vře
- Horká voda v baňce uzavřené zátkou začne znovu vřít, jestliže baňku polijeme studenou vodou.
- Pokus – var vlažné nebo i studené vody ve stříkačce, v níž jsme vytažením pístu vytvořili vakuum.
- Pokus se dvěma miskami v sobě, ve větší vře voda, ale voda v té menší, co v ní plave, nevře.
- Vroucí voda kouří více, když pod ní vypneme plyn

- Pokusy s vejíčky – rozlišení syrového a vařeného, postavení vejíčka na špičku jeho rychlým roztočením.
- Škrob s vodou
- Nehořlavý papír, var vody v papírovém talíři
- Zvuk při vaření vody – pokus s rychlovarnou konvicí