

RND_{R.} ZDEŇKA BROKLOVÁ

JADERNÉ HRÁTKY



SVĚT ENERGIE

Materiál je součástí vzdělávacího programu ČEZ a. s., Svět energie

Nabídku vzdělávacího programu naleznete na **www.cez.cz/vzdelavaciprogram**

© ČEZ a. s., sekce komunikace

Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4, tel.: 211 042 681

Úvod pro děti a studenty	4
Úvod pro učitele a rodiče	5
Jak velký je atom?	6
Rozptylování	11
Pecka nebo puding?	13
Hmotnost fazolia	18
Rozpad čočky	21
Poločas poklesu pивní pěny	27
Štěpení jádra	31
Řetězové štěpení a jeho řízení	33
Stopování elementárních částic	36
Řešení	38
Doporučená literatura	42

ÚVOD PRO DĚTI A STUDENTY

Milí kamarádi,

mnoho lidí si myslí, že jaderná fyzika je strašně obtížný a komplikovaný obor a že bez dlouhého a náročného studia se nedá pochopit. Tuto zdánlivou složitost a nepochopitelnost celé jaderné fyziky způsobuje fakt, že atom, a obzvláště jeho jádro, jsou nepředstavitelně maličké, a z tohoto důvodu se mohou chovat zcela jinak než věci, které jsou běžně kolem nás a které můžeme pozorovat. Pokud si to uvědomíme hned teď na začátku, tak nás jejich podivné vlastnosti již nepřekvapí.

Atom i atomové jádro jsou nepřístupné našemu přímému pozorování. Jejich vlastnosti musíme zkoumat nepřímo. To znamená, že pozorujeme takové chování, které je pro naše smysly dosažitelné, a snažíme se uhodnout, co asi může probíhat uvnitř. Je to podobné tomu, jako když posloucháte za zavřenými dveřmi a podle zvuků se snažíte uhodnout, co se děje uvnitř. Při takovém „pozorování“ je velmi jednoduché se splést – např. nelze odlišit televizní nebo rozhlasovou nahrávku od rozhovoru živých lidí. Podobně probíhá i zkoumání atomů a atomových jader. Proto také vědci vyzkoušeli spoustu nápadů (teorií), z nichž některé se později ukázaly jako nevhodné. Při popisování si vědci pomáhají tzv. **fyzikálními modely** – tj. říkají, že např. jádro se při určitých dějích chová podobně jako ocelová kulička, podobně jako voda, ... Protože jednotlivé atomy a jejich jádra jsou pro nás nedosažitelně malá, budeme si v této knížce hrát spíše s těmito modelovými představami.

Najdete zde návody na několik pokusů a popis možností, jak modelovat různé děje v atomu a v atomovém jádře. U každé aktivity je nejprve stručně napsáno:

- co se budeme snažit modelovat,
- seznam potřebných pomůcek
- podrobný návod, co dělat, čeho si všímat, zapisovat, apod.
- a na závěr každé kapitoly jsou uvedena stručná vysvětlení daných jevů.

Protože tato brožurka je sbírkou nápadů pro experimenty a ne učebnicí jaderné fyziky, jsou veškerá vysvětlení opravdu velmi stručná. Pokud vás některé poznatky zaujmou a chtěli byste se o nich dozvědět víc, nahlédněte do literatury doporučené v závěru.

Hodně zábavy při hrátkách s jadernou fyzikou!

RNDr. Zdeňka Broklová

ÚVOD PRO UČITELE A RODIČE

Vážení přátelé,

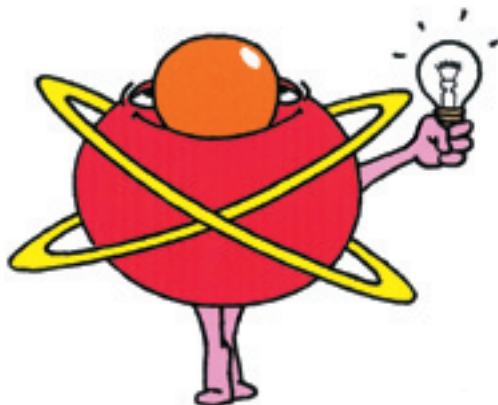
v této tenké brožurce naleznete několik aktivit, které se snaží přiblížit, či přesněji řečeno modelovat, důležité děje na úrovni atomu a atomového jádra tak, aby tyto jevy byly srozumitelné žákům 2. stupně ZŠ a středoškolákům. Veškeré pokusy i hry jsme vybrali a popsali tak, aby byly proveditelné s pomůckami běžně dostupnými v každé domácnosti nebo škole.

Aktivita jsou velmi hravé a měly by studenty vést k samostatnému přemýšlení a vytváření hypotéz. Právě toto vymýšlení, jak neznámý jev vysvětlit, je nejcennější. Snaha vyjádřit vlastní nápad, podpořit či vyvrátit ho jasnými argumenty, je i v případě zcela špatného nápadu mnohem cennější než naučené znalosti momentálně uznávané teorie. Ved'te tedy své studenty i děti k samostatnému přemýšlení, experimentování, pozorování. Oceňujte jejich nápady, i když nebudou přesné.

Všechny aktivity uvedené v této publikaci jsou pro děti zcela bezpečné, případně jsou bezpečnostní doporučení uvedena přímo u daného experimentu. V žádném pokusu se nepracuje s radioaktivním materiálem.

Pokusy jsou popsány přímo pro děti tak, aby si je mohly vyzkoušet samy doma. Jejich použití je ale mnohem širší a většinu z nich lze bez úprav použít i při práci s celou třídou.

RNDr. Zdeňka Broklová



JAK VELKÝ JE ATOM?

Z ČEHO JSOU SLOŽENY LÁTKY?

Tato otázka trápila lidstvo už kdysi dávno. Nápad, že by věci kolem nás mohly být složeny ze stejných dále nedělitelných malinkých kousíčků (jako např. dům z cihel) se objevil již velmi dávno, ve starověkém Řecku. Lidé si představovali tyto částičky látky různě. Byla to ale pouze jejich domněnka, u které nedokázali říci, zda je správná či nikoli. Ve fyzice takovému tvrzení, u kterého se – zatím – neví, zda platí nebo ne, říkáme **hypotéza**.

K myšlence základních stavebních kamenů látky se vědci vrátili v 17. století. Nově objevené vlastnosti chemických reakcí a dějů s plyny napovídaly, že na této myšlence něco je. Trvalo to ještě poměrně dlouho, až do začátku 20. století, a fyzici i chemici museli provést ještě mnoho dalších pokusů a výpočtů. Nakonec se všichni shodli na tom, že atomy existují a že jsou velmi malé, tehdejšími prostředky nepozorovatelné.

Průměr atomu odhadli na 10^{-10} m = 0,000 000 000 1 m. Co ale toto číslo znamená? Pojďme si velikost atomu trochu přiblížit.

JAK VELKÝ JE ATOM?

„průměr atomu je přibližně 10^{-10} m“

10^{-10} = 0,000 000 000 1 znamená, že pokud začnu od jednoho metru a v každém kroku ho zmenším na desetinu, musím takových zmenšení udělat deset. Tím získám délku, která bude srovnatelná s průměrem atomu.

Zmenšit něco desetkrát je ale docela náročný úkol, mnohem jednodušší je věci půlit. Podívejme se na následující jednoduché výpočty:

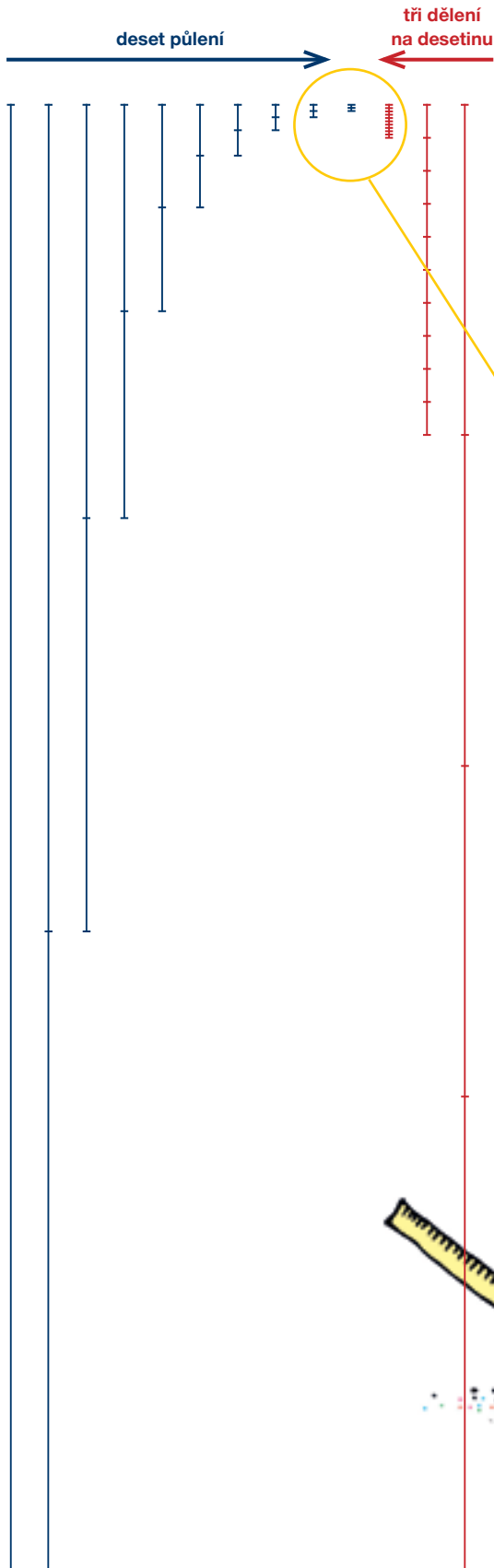
$$10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$$

$$\frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{1000}$$

$$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 1024$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{1024}$$

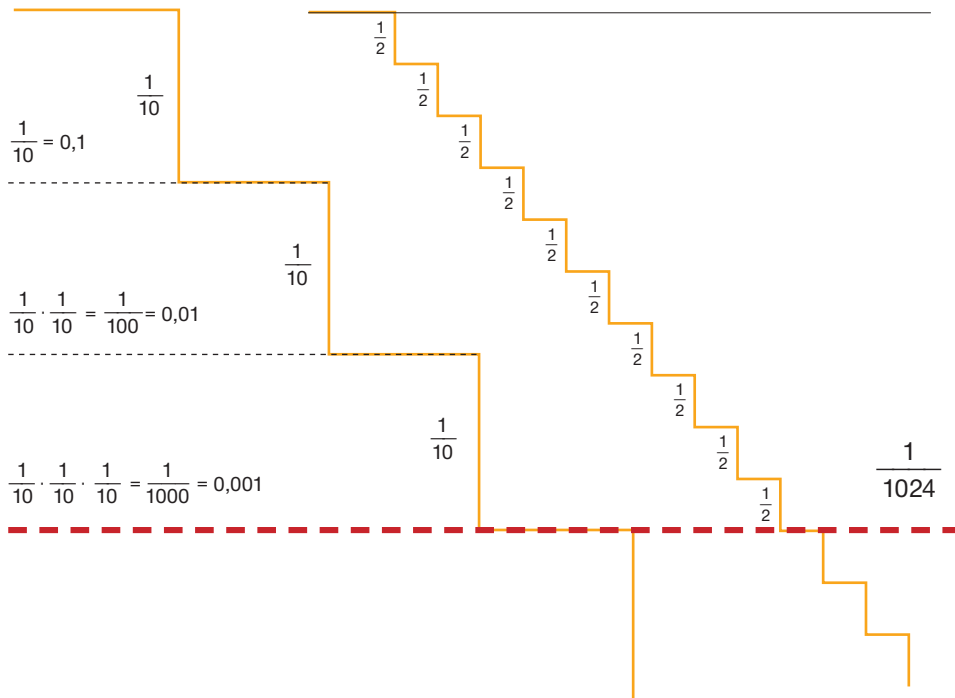
Z předchozích výpočtů je vidět, že pokud něco zvětšíme třikrát na desetinásobek, tak dostaneme skoro stejný výsledek, jako kdybychom tu samou věc postupně desetkrát zvětšili na dvojnásobek. Podobně to funguje i při zmenšování. Třem zmenšením na desetinu odpovídá přibližně deset rozpůlení.



Podívejte se na následující obrázek, kde je půlení naznačeno. Bohužel, nejdelší úsečky se nám na papír nevešly, ale i tak je vidět, že půlení i dělení na desetiny dospělo ke stejnému výsledku. Jeden dílek nejmenší modré úsečky je stejně dlouhý jako jeden dílek nejkratší červené úsečky.



Na naší cestě za velikostí atomu není důležitá úplně přesná velikost úsečky, ale hlavně to, na kolikátém místě za desetinnou čárkou leží první nenulová číslice, když délku úsečky vyjádřím v metrech (tzv. řád). Pokud bychom si každé dělení na desetinu naznačili stejně vysokým schodem, pak by začátek naší cesty za atomem vypadal asi tak, jak je nakresleno na následujícím obrázku. Pokud použijeme půlení, bude náš schod nižší, proto jich budeme potřebovat více. Podívejte se na obrázek – tři velké schody odpovídají přibližně deseti malým.



Poznámka: Pokud už jste se potkali s logaritmy, tak jste asi pochopili, že na předchozím obrázku je použito ve svislém směru logaritmické měřítko.

Půlení je mnohem jednodušší než dělení na deset kousků. To nám velmi ulehčí práci. Pojd'me zjistit, jak veliký je „atom papíru“.

CO BUDEME POTŘEBOVAT

- tenký pásek papíru dlouhý 10 cm
- ostré nůžky

Pokus ale můžete provádět i s čímkoli dalším, co se dobře stříhá nebo krájí, např. špejlí, špagetou (doporučujeme ji uvařit), ...

JAK NA TO

Začínáme s proužkem papíru (nebo něčeho jiného) o délce 10 cm = 0,1 m. Abychom se dostali na velikost atomu, musíme tento proužek devětkrát zmenšit na desetinu. Devět zmenšení na desetinu odpovídá třem zmenšením na tisícinu, a to podle předchozích výpočtů odpovídá 30 půlení.

Po rozpůlení proužku papíru vždy jednu půlku položte nebo přímo nalepte do příslušného okénka tabulky na následující stránce a pokračujte v půlení druhé části. Pozor, abyste stříhali vždy stejnou stranu a neotočili papír ve chvíli, kdy bude širší než delší.

Kolikrát se Vám podařilo provést půlení? Pokud jste byli velmi šikovní, tak se Vám mohlo podařit tak 9 až 10 půlení, potom už nejde ani tak moc o půlení, jako o hledání zbylého kousíčku papíru.




To znamená, že jsme se běžnými pomůckami dostali asi do třetiny cesty od našeho světa k atomům.

A CO ATOMOVÉ JÁDRO?

Jak asi víte ze školy, tak atom je skoro celý úplně „prázdný“. Uprostřed atomu „sedí“ atomové jádro a kolem něho si poletují elektrony. Průměr jádra je přibližně 10^{-15} m. To znamená, že bychom museli průměr atomu ještě pětkrát zmenšit na desetinu, což odpovídá asi 17 půlení, než by se zmenšil na průměr atomového jádra. Elektron je ještě mnohem menší než atomové jádro. Fyzici zatím neznají jeho přesné rozměry, ale z experimentů vědí, že i když průměr atomu rozpůlíme ještě třicetkrát, tak stále budeme mít úsečku větší než je velikost elektronu. To už je úplně nepředstavitelné! Také vám vrtá hlavou, jak se přišlo na to, že je atom tak strašně „prázdný“? Odpověď vám napoví následující kapitola.

Poznámka k přemýšlení: V předchozím postupu jsme se snažili zmenšit na velikost srovnatelnou s velikostí atomu jeden rozměr (jednu stranu papíru). Pokud bychom chtěli vytvořit „čtvereček“, jehož obě strany budou stejně velké jako atom, museli bychom půlit obě strany startovacího čtverce 10×10 cm, celkem tedy provést 60 půlení. Pokud bychom se chtěli prokrájet z krychličky o hraně 10 cm k atomům, museli bychom ji řezat dokonce 90-krát!

START = 10 cm

1. půlení  5 cm	2. půlení 2,5 cm	3. půlení 1,3 cm	4. půlení  6 mm	5. půlení 3 mm
6. půlení 1,5 mm	7. půlení 0,8 mm	8. půlení JEDNOBUNĚČNÍ ŽIVOČICHOVÉ  0,4 mm	9. půlení 0,2 mm	10. půlení $=10^{-4}$ m 0,1 mm
11. půlení PRŮMĚR VLASU 	12. půlení	13. půlení CHROMOZOM 	14. půlení	15. půlení
16. půlení	17. půlení	18. půlení VLNOVÁ DÉLKA SVĚTLA	19. půlení	20. půlení 0,1 μ m $=10^{-7}$ m
21. půlení	22. půlení	23. půlení	24. půlení	25. půlení
26. půlení	27. půlení	28. půlení	29. půlení	30. půlení 0,1 nm $=10^{-10}$ m

CÍL=ATOM

ROZPTYLOVÁNÍ

V předchozí kapitole jsme měli možnost si alespoň maličko osahat, jak nepředstavitelně maličký je atom. Vědce trápila i otázka, jak je vlastně udělaný atom uvnitř, z čeho se skládá. Jak se ale „podívat“ dovnitř atomu, když je tak malý? Fyzici vymysleli docela chytrý způsob, jak zkoumat vnitřky atomů. Jak to dělají? Vezmou si nějaký materiál, jehož atomy chtějí zkoumat, a pustí na něj proud dostatečně rychlých částic (např. elektronů, protonů, alfa částic nebo jiných) a dívají se, jak se částice odchýlí ze svého původního směru. Těmto experimentům říkají **rozptylové**. Pojd'me se podívat, zda je vůbec možné z takto uspořádaného experimentu něco zjistit.

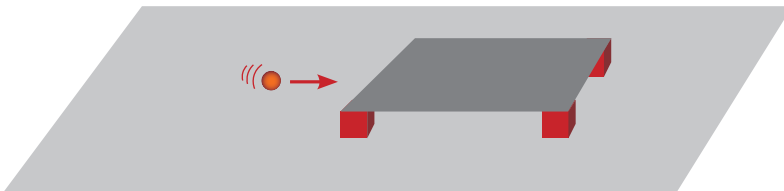
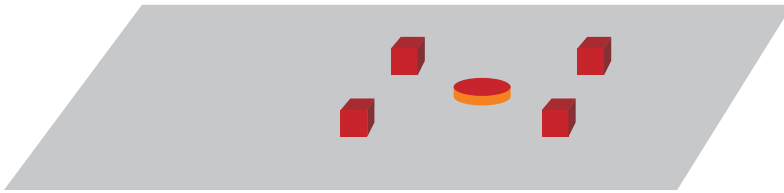
CO BUDEME POTŘEBOVAT

- kamaráda, kamarádku nebo nějakého jiného pomocníka (např. rodiče)
- tvrdý papír nebo jinou neprůhlednou desku o velikosti alespoň velkého sešitu (A4)
- kuličku (skleněnou, kovovou nebo dřevěnou, o průměru asi 1–2 cm)
- několik „terčů“ – velký a malý korkový špunt, dřevěnou kostku ze stavebnice,... – lze použít cokoli se čtvercovým, kruhovým nebo trojúhelníkovým průřezem o velikosti mezi 2–10 cm, je také dobré volit předměty ze stejného nebo podobného materiálu
- 4 „nožičky“ stejné výšky – lze použít např. 4 stejně vysoké kostky z nějaké stavebnice nebo něco podobného – musí být vyšší než zvolené „terčičky“ i kulička
- kousek plastelíny nebo oboustranné lepicí pásky na zajištění terče proti posunu
- noviny nebo balicí papír

JAK NA TO

V tomto případě nebudeme dělat klasický fyzikální pokus, ale spíše se bude jednat o soutěž podobnou detektivnímu pátrání.

Nejprve si s pomocníkem připravte experimentální zařízení. Na rovný hladký stůl dejte nejprve staré noviny nebo balicí papír, abyste stůl uchránili před ušpiněním. Na něj položte nožičky tak, aby byly v rozích neprůhledné desky, kterou položíte na ně. Potom požádej pomocníka, aby doprostřed pod neprůhlednou desku dal jeden z terčů a zajistil ho kouskem plastelíny nebo lepicí pásky tak, aby se nemohl příliš snadno posunovat. Pozor, plastelína musí být jen pod předmětem, ne kolem něho! Vše ať přiklopí neprůhlednou deskou. Ostatní terčičky dá pomocník stranou, abys nevěděl, který vybral.



Tvým úkolem bude jen pomocí kuličky uhodnout, jaký terčik je schovaný pod deskou. Kuličku můžeš pouštět pod desku z různých směrů a sledovat, jak se odchýlí. Pak si role prohodíte. Vyzkoušejte různé tvary terčiků.

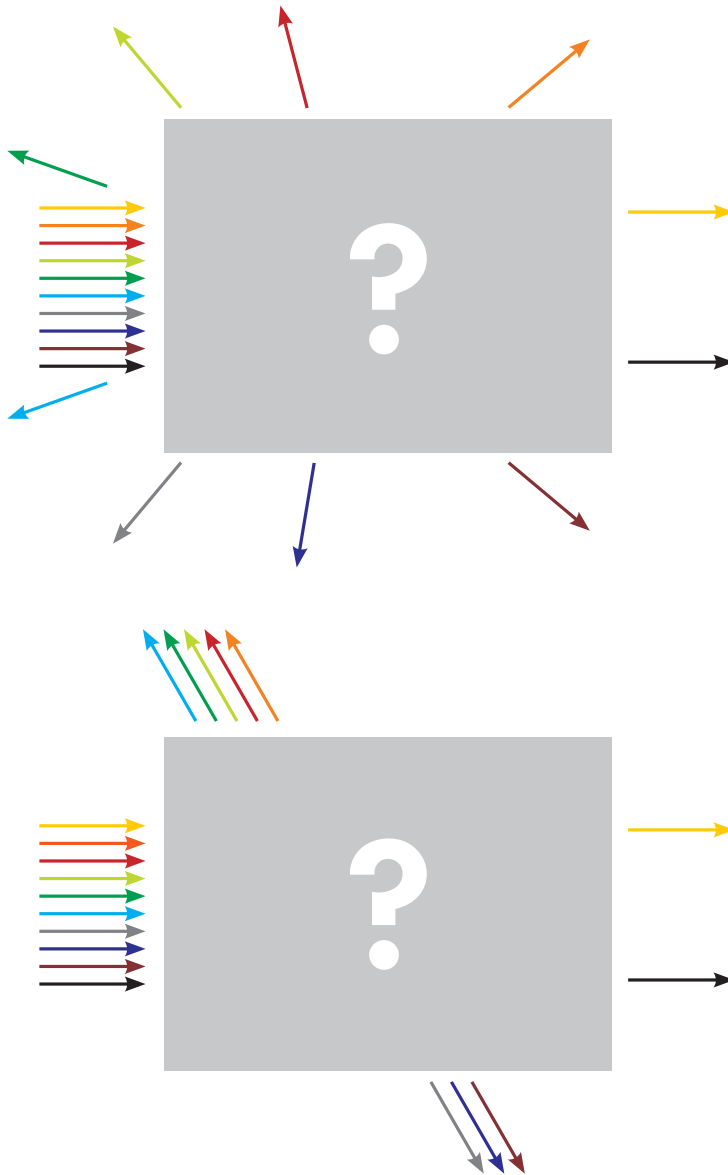
Poznámka: Je důležité, aby terčíky nešly odlišit pomocí zvuku při odrazu kuličky. Proto doporučujeme mít všechny terčíky z podobného materiálu.

Samozřejmě je možné kuličku pod desku koulet zcela bez rozmýšlení a doufat, že z chaotických výsledků něco vymyslím. Vědci ale pracují trochu jinak. Snaží se pracovat postupně podle nějakého předem stanoveného plánu. Získané údaje si zapisují a snaží se z nich dělat závěry.

Zkuste tedy při hledání odpovědi na otázku, jaký „terčik“ je schován, postupovat také s rozmyslem. Vytvořte si nějakou spolehlivou metodu, jak vypátrat tvar terčiku na co nejmenší počet koulení kuličkou.

Zdá se vám předchozí úkol pro začátek příliš těžký? Zkuste pozorovat, jak se kulička odchyluje na různých terčících, aniž byste si je zakrývali. Hledejte hlavně to, čím se odchylky na jednotlivých terčících liší. Až budete mít dostatečnou zásobu různých „fint“, jak pomocí kuličky odlišit malý terč od velkého, kulatý od hranatého, můžete si zasoutěžit v poznávání zakrytých terčů.

Úkol pro jednotlivce: Nemáte pomocníka po ruce, a přesto si chcete tento úkol vyzkoušet? Zkuste tedy na další stránce uhodnout, pod kterou deskou je schován kruhový a pod kterou čtvercový terčik. Kuličku jsme kouleli pod desku vždy zleva. Stopy jednotlivých pokusů jsou odlišeny barevně. Správná odpověď je uvedena na konci knížky.



A JAK TO BYLO DOOPRAVDY?

Zajímá vás, jak to bylo doopravdy? Jak se panu Rutherfordovi podařilo objevit atomové jádro? Pokračujte ve čtení a experimentování další kapitolou.

PECKA NEBO PUDING?

Rozptylové experimenty prováděl v roce 1911 Ernst Rutherford, který tím významně změnil představu o tom, jak vypadá atom. E. Rutherford a jeho pomocníci Hans Geiger a Ernest Marsden pouštěli proud kladně nabitých alfa částic na tenkou zlatou fólii a sledovali, jak se tyto částice odchylují (rozptylují) od přímého směru. Úkol v předchozí kapitole byl spíše zábavný, teď se pustíme do vážnější práce. Budeme pracovat jako pan Rutherford.

CO BUDEME POTŘEBOVAT

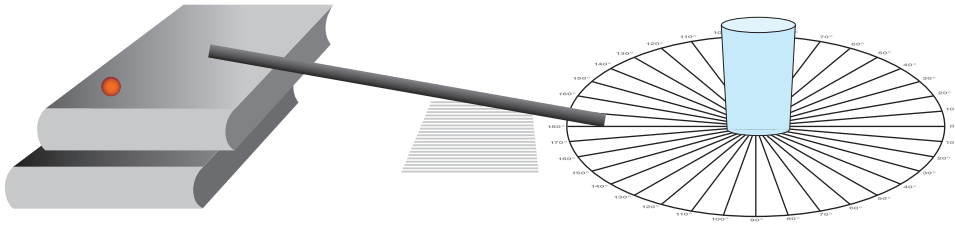
- sklenici nebo porcelánový hrnek, který nemá zakulacené dno (z vnější strany)
- skleněnou kuličku
- kousek elektrikářské lišty nebo část Merkuru nebo jiné stavebnice nebo dvě pletací jehlice nebo špejle (na výrobu „rozjezdové rampy“ pro kuličku)
- několik knih
- úhlovou stupnici
- oboustrannou izolepu nebo plastelínu

JAK NA TO

Připravte si uspořádání experimentu podle následujícího obrázku. Sklenici je třeba dobře zajistit proti posunu oboustrannou lepicí páskou nebo plastelínou (plastelína by ale měla být jen pod sklenicí, ne kolem ní).

Protože při koulení rukou je poměrně obtížné udělit kuličce přesný směr, použijeme k jejímu rozjíždění jakési „nakloněné“ koleje – rampu, kterou lze vyrobit např. z elektrikářské lišty (pro obyčejné „skleněny“ jsme použili kousek lišty šířky 1,5 cm dlouhý 15 cm, jejíž konec jsme mírně seřízli). Rozjížděcí rampu lze ale stejně dobře vytvořit pomocí dílů stavebnice Merkur či jiné stavebnice, dvou kusů drátů, pletacích jehlic nebo špejlí. Důležité je, aby se „kolejnice“ nerozestupovaly a aby se kulička při opakovaném spouštění koulela vždy stejným směrem.

Úhlová stupnice musí být opravdu velká – s průměrem nejméně 40 cm. Pokud se vám nechce ji rýsovat, nechte si na kopírce zvětšit její nákres uvedený v této knížce, přilepte ji na balicí papír a protáhněte jednotlivé paprsky na potřebnou délku.



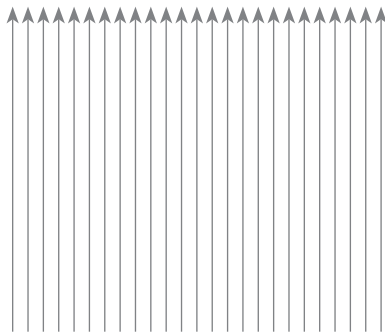
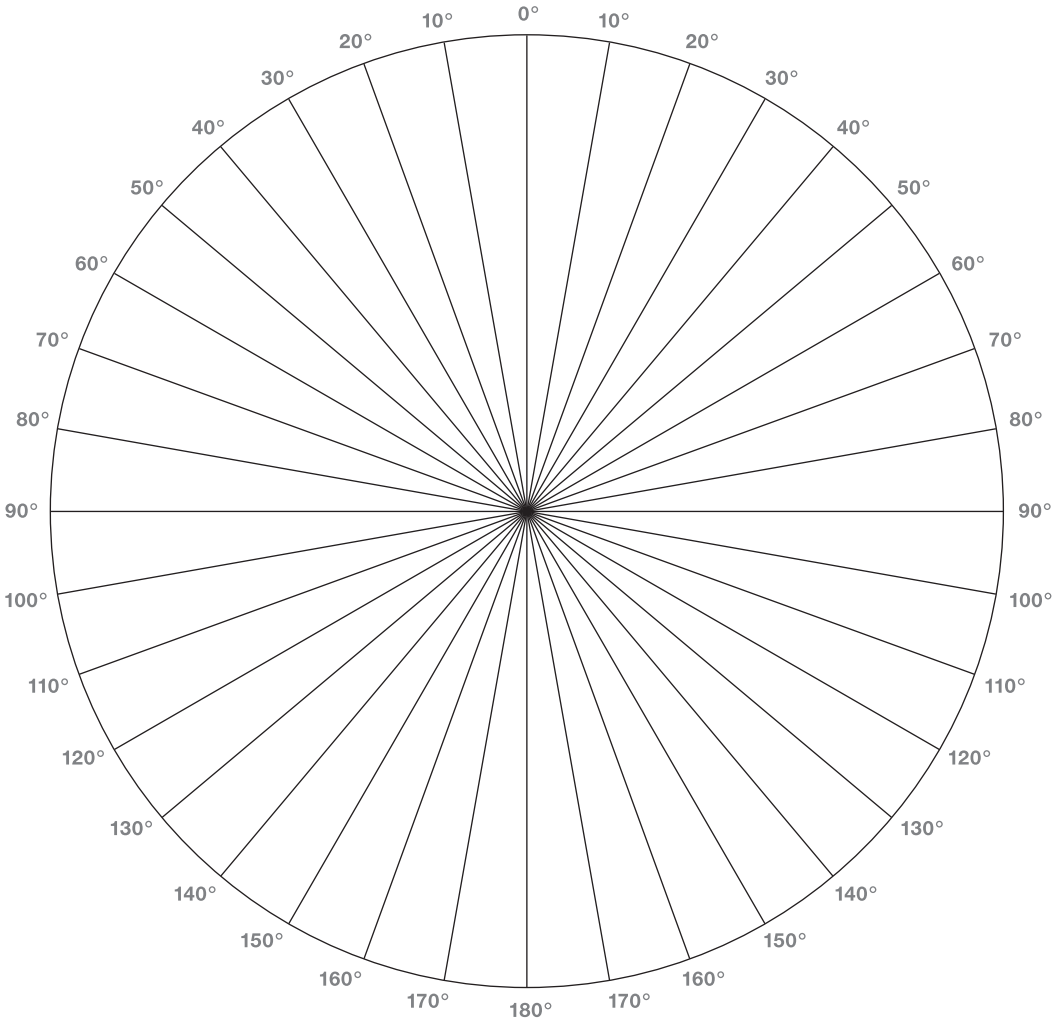
Sklenice v našem modelu představuje atom zlata a skleněná kulička alfa částici. Stejně jako pan Rutherford budeme pouštět kuličku na sklenici a sledovat, kam se odchýlí. Pan Rutherford ale na rozdíl od nás nemohl postupně měnit místo, kam budou alfa částice na atom dopadat, ale pustil proud částic, které dopadaly na všechna místa atomů i mezi atomy rovnoměrně. Proto i my postupně pustíme kuličku do různých míst, abychom simulovali takový proud částic.

Směry, do kterých je třeba pustit kuličku, jsou naznačeny šipkami na obrázku s úhlovou stupnicí. Do každého směru pošlete kuličku desetkrát a zaznamenávejte (čárkou), do kterého místa (do které výseče) se odrazí. Potom posuňte rozjezdovou rampu o kousek dál a opět pošlete kuličku desetkrát na sklenici. Snažte se co nejpečlivěji dodržovat rovnoběžnost všech drah kuličky i stejné rozestupy mezi nimi. Neodlišujte čárky z jednotlivých směrů, protože ani pan Rutherford toto udělat nemohl. Nakonec si sestrojte graf, v němž na vodorovnou osu vynesete úhel a na svislou počet kuliček, které se do tohoto úhlu rozptýlily.

A teď si představte, že pan Rutherford měl k dispozici jen takovýto graf. Nemohl sledovat každou jednotlivou alfa částici, jako jsme to dělali v předchozí kapitole. Ale přesto podle něho poznal, že atom je velmi prázdný a uprostřed má velmi těžké jádro.

JAK SE POZNÁ JÁDRO?

Představa o vnitřní stavbě atomu se velmi vyvíjela. Na počátku dvacátého století si fyzikové představovali atom úplně jinak než my dnes. Věděli, že se v atomu vyskytují záporně nabitě lehoučké elektrony, a také to, že atom je elektricky neutrální. Představovali si tedy, že atom je celý vyplněn hmotou, která je kladně elektricky nabitá, a v této hmotě plavou elektrony. Celé to trošku připomíná pudink vylepšený hrozkami nebo borůvkami (elektrony). Možná proto se této představě atomu říká **Thomsonův pudingový model atomu** (je pojmenovaný podle pana Thomsona, který ho vymyslel), i když atomový „pudink“ musí být hodně řídký, protože nebrání elektronům ve volném pohybu.



Pan Rutherford si na začátku svých experimentů atom představoval také tak. Při svých experimentech si ale všiml, že se alfa částice rozptylují i do velkých úhlů, skoro se vracejí. To by nemohl zařídít řídký puding ani náraz na lehoučký elektron (elektron je 8000-krát lehčí než alfa částice).

Pomocí představy atomu vyplněného pudingem se panu Rutherfordovi nepodařilo vysvětlit výsledky provedených experimentů. Po podrobné analýze získaných údajů navrhl jinou představu atomu, která dobře souhlasila s výsledky jeho experimentů. Podle něj atom není vyplněný pudingem, ale je skoro celý prázdný a uprostřed něho sedí velmi malá pecka – **jádro**, ve které se soustřeďuje celý kladný náboj a prakticky veškerá hmotnost atomu. Kolem jádra se pohybují elektrony. Dokonce se mu podařilo odhadnout, že jádro je stotisíckrát menší než atom.

Rutherfordovu **modelu atomu** se někdy říká **planetární**, protože těžké jádro připomíná Slunce, kolem kterého obíhají planety – elektrony. Dalšími experimenty se ukázalo, že tato představa atomu je sice lepší než ta pudingová, ale že také není úplně bez chyb. Například pohyb elektronů není moc podobný pohybu planet.

Pojďme se teď zamyslet, čím se liší rozptyl na naší sklenici a rozptyl na jádře. Skleněná kulička změnila směr až ve chvíli, kdy narazila do sklenice. Ale na nabitou alfa částici působí elektrická síla od náboje atomu „na dálku“ (nemusejí se dotýkat) a velikost síly se zmenšuje, když se alfa částice vzdaluje od atomu. Tato síla odchyluje alfa částici z jejího původního směru po celou dobu, kdy je alfa částice blízko nebo uvnitř atomu.

Pokud bychom chtěli modelovat působení elektrické síly na dálku, mohli bychom použít „zvlněný“ reliéf stolu. Pro případ pudingu by náš model vypadal jako velmi nízký a široký „kopeček“, naopak těžké jádro uprostřed atomu bychom namodelovali jako velmi úzkou a vysokou špičku. Z toho si lehce uděláme představu, že rozjetá kulička malý kopeček lehko překoná, může se na něm trochu odchýlit od svého původního směru. Pokud se jí ale do cesty postaví vysoká překážka, tak po ní „vyjede“ kousek nahoru, ale pak se zase „skoulí“ dolů. Může se tedy vracet do směru, ze kterého vyrazila.

Poznámka pro experty aneb kde ještě má náš model slabiny: I kdybychom modelovali působení elektrické síly na dálku zvlněným reliéfem podložky, na kterém by se kulička rozptylovala, přesto by naše experimentování ovlivňovaly ještě další jevy. Kulička např. díky tření zpomaluje, při odvalování kuličky je její pohyb také ovlivněn jejím momentem setrvačnosti.

Podstatnou chybou také je, že neměříme odchýlení kuličky v opravdu velké vzdálenosti od místa rozptylu. Pokud bychom chtěli zachovat správné poměry vzdáleností, tak pro kuličku o průměru 1 cm by sklenice měla mít průměr necelé 4 cm a naše kruhová stupnice poloměr alespoň milióny kilometrů.

HMOTNOST FAZOLIA

Už víme, že atom se skládá z velmi těžkého a malého jádra obklopeného mrakem lehkých elektronů. Další experimenty ukázaly, že jádro je složeno z dalších částic – z **protonů** a **neutronů**. Hmotnosti protonu a neutronu jsou prakticky stejně velké a hmotnost elektronu je přibližně 2000-krát menší, takže ji můžeme vzhledem k hmotnostem částic v jádře zanedbat. Hmotnost atomu je tedy velmi přesně rovna násobku hmotnosti jednoho protonu.

Asi proto se fyzici rozhodli používat tzv. **relativní atomovou hmotnost**, která udává, kolikrát je daný atom těžší než proton, a měla by se rovnat počtu protonů a neutronů dohromady.

Když se ale podíváte do tabulek, zjistíte, že některé atomy mají relativní hmotnost dost odlišnou od celého čísla: např. zinek má relativní atomovou hmotnost rovnou 65,4. Znamená to, že v jádře atomu zinku je jen půl protonu?

Pojďme si ukázat, jak to je.

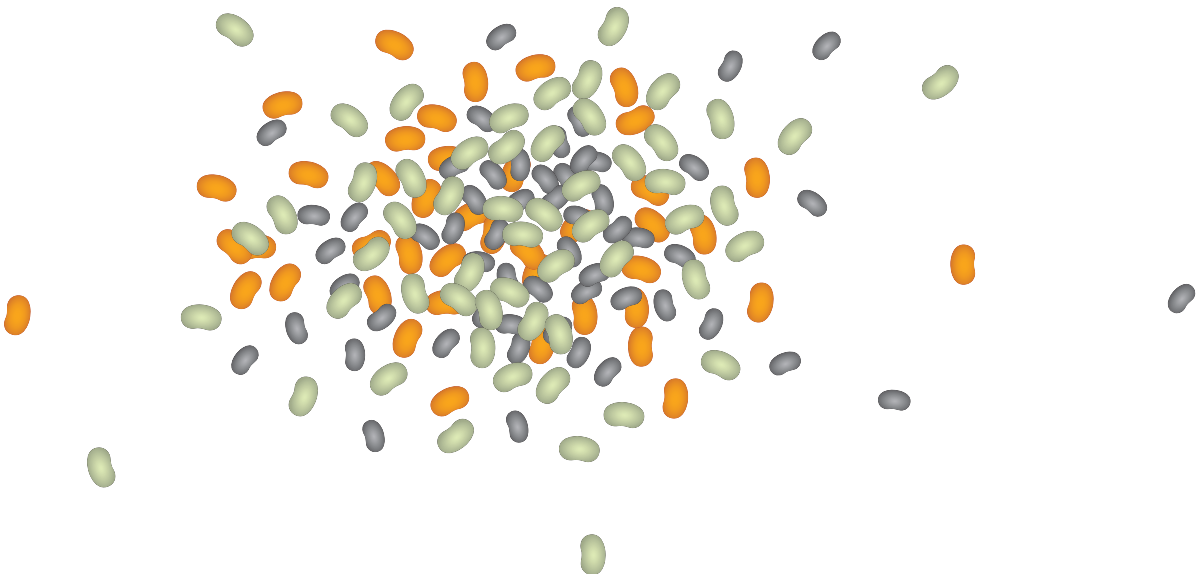
CO BUDEME POTŘEBOVAT

- směs různých typů fazolí – alespoň tři různé druhy (malé bílé, velké tmavé, ledvinovité, ...), hrst nebo dvě od každého druhu
- přesnou kuchyňskou váhu

JAK NA TO

Atomy jednoho prvku se vyskytují v různých variantách – tzv. **izotopech**. Naše fazole teď představují jednotlivé atomy prvku „fazolia“ a jak vidíme, naše „fazolium“ má také izotopy, atomy několika různých druhů.

- Náš první úkol bude určit průměrnou hmotnost jednoho atomu „fazolia“. Zvažte celou fazolovou směs a získaný údaj vydělte počtem fazolí.



celková hmotnost.....

počet fazolí.....

průměrná hmotnost atomu „fazolia“

- V druhém kroku se zaměříme na izotopové složení „fazolia“. Spočítejte počet kusů fazolí každého druhu a určete jeho zastoupení ve směsi v procentech.

$$\text{zastoupení v procentech} = \frac{\text{počet kusů daného druhu}}{\text{celkový počet fazolí}} \cdot 100 \%$$

získané údaje zapište do tabulky

druh	počet kusů daného druhu	zastoupení v procentech	hmotnost 1 kusu tohoto druhu

- Ted' nám zbývá ještě určit hmotnost každého typu atomu „fazolia“. Vážení jedné fazole by bylo na kuchyňských vahách velmi nepřesné. Pečlivě odpočítejte např. 100 kusů daného typu, zvažte je a výsledek vydělte 100. Tím získáte hmotnost jedné fazole. Získané údaje doplňte do předchozí tabulky.

Porovnejte průměrnou hmotnost jednoho atomu „fazolia“ a hmotnosti fazolí jednotlivých typů. Je velmi nepravděpodobné, že by se průměrná hmotnost rovnala hmotnosti jedné fazole některého druhu.

A úplně stejně to dopadne i s atomy. Jak jsme si již řekli, skoro každý prvek má atomy několika různých druhů – tzv. **izotopů**, které se liší v tom, kolik je v jádře neutronů. Protonů mají všechny atomy daného prvku stejně. To znamená, že relativní hmotnost každého typu atomu (každého izotopu) je opravdu velmi blízká celému číslu. V přírodě se však prvky vyskytují ve směsi svých izotopů, a proto stejně jako u fazolí se průměrná hmotnost atomu tohoto prvku liší od hmotnosti jednotlivých typů. Takže průměrná relativní hmotnost atomu uvedená v tabulkách vůbec nemusí být celé číslo.

Poznámka pro experty: Možná jste slyšeli o něčem, čemu se říká **hmotnostní úbytek**. Ve skutečnosti je hmotnost jádra trochu menší, než by odpovídalo součtu hmotností protonů a neutronů, které ho tvoří. Kousek hmotnosti se totiž přemění na energii, která jádro drží pohromadě (na vazbovou energii). Velikost tohoto hmotnostního úbytku je menší než setina hmotnosti jádra, proto celkovou hmotnost atomu příliš nezmění. Dá se ale dobře využít v jaderných elektrárnách.

JAK SE DÁ SPOČÍTAT PRŮMĚRNÁ HMOTNOST JEDNOHO ATOMU „FAZOLIA“?

Pokud známe hmotnosti jednotlivých typů fazolí (atomů „fazolia“) a složení směsi, můžeme průměrnou hmotnost spočítat pomocí vzorečku:

$$\begin{aligned}
 &= (\text{hmotnost 1. typu}) \cdot \frac{(\text{procentuální zastoupení 1. typu})}{100} + \\
 &+ (\text{hmotnost 2. typu}) \cdot \frac{(\text{procentuální zastoupení 2. typu})}{100} + \\
 &+ (\text{hmotnost 3. typu}) \cdot \frac{(\text{procentuální zastoupení 3. typu})}{100} + \dots
 \end{aligned}$$

Zkuste si dosadit zjištěné hodnoty pro jednotlivé typy fazolí. Vyšla vám průměrná hmotnost jednoho atomu „fazolia“?

Ted' uděláme totéž s atomy. Například zinek má atomy hlavně těchto 4 druhů:

procentuální zastoupení	relativní hmotnost
49 %	64
28 %	66
4 %	67
19 %	68

Zkuste se dopočítat k průměrné relativní hmotnosti zinku uvedené na začátku kapitoly.



ROZPAD ČOČKY

Nejspíš jste už slyšeli, že se některá jádra přeměňují (rozpadají). Odborně se říká, že jsou **nestabilní** nebo také **radioaktivní**. Co to přesně znamená? Takové nestabilní jádro se najednou přemění na jádro úplně jiné. Tím je splněn dávný sen alchymistů – transmutace prvků!

Při přeměně jádro obvykle vyzaří ještě nějakou částici, proto se místo o přeměně také často mluví o **rozpadu jádra** (na nové jádro a vyzářenou částici). Proud těchto částic tvoří tzv. **radioaktivní záření**, které nám může uškodit, ale při správném použití nám může i velmi dobře sloužit.

Kdybychom pečlivě pozorovali postupně několik nestabilních jader a čekali, za jak dlouho dojde k jejich přeměně, tak zjistíme, že to nejsme schopni předpovědět. Chování rozpadajících se jader je náhodné. Můžeme určit pravděpodobnost, s jakou se přemění za nějakou dobu, ale kdy přesně se tak stane, to opravdu není možné určit. Je ale možné předpovídat a přesně popsat chování velkého množství nestabilních jader. Víme, že některá jádra z této „hromady jader“ se přemění dříve a některá později, ale nevíme, která to budou. Pro každý typ nestabilního jádra můžeme najít dobu, za kterou se přemění polovina původního počtu jader. Této době se říká **poločas přeměny (rozpadu)**. Tento čas nezávisí na počátečním počtu jader.

Představte si, že pozorujeme hromadu nestabilních jader. Po uplynutí jednoho poločasu se přemění zhruba polovina jader a polovina jich tedy ještě zbývá. My budeme pozorovat dál a zjistíme, že po uplynutí druhého poločasu se přemění polovina té poloviny, co zbývala – tedy další čtvrtina, a na naší hromadě zbyla ještě čtvrtina nepřeměněných jader. A tak dál. Jako by si jádra nepamatovala, že už předtím měla možnost se přeměnit.

Pojďme si to namodelovat např. pomocí čočky.

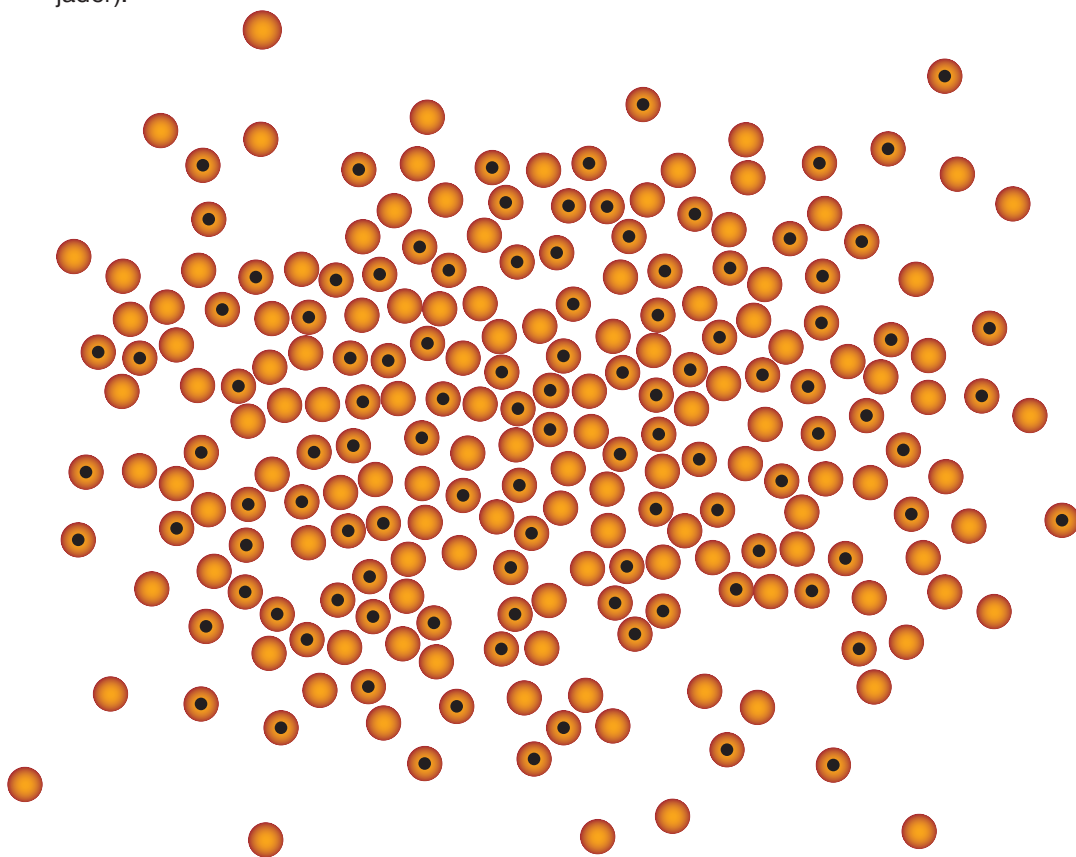
CO BUDEME POTŘEBOVAT

- velký počet plochých předmětů (alespoň 200 kusů), které mají nějakým způsobem odlišené strany – velmi dobře funguje čočka, pokud si na jednu stranu zrníček uděláte lihovou fixou tečky, ale můžou to být např. mince, žetony z nějaké hry, můžete si nastříhat čtverečky (nebo kolečka) z kartónu, lentilky M&M (mají vyražený nápis na jedné straně)... – tyto předměty budou představovat naše nestabilní atomová jádra
- krabici nebo sáček, ve kterém půjde tyto předměty dobře promíchat
- tužku a papír pro zaznamenávání výsledků

JAK NA TO

Nejprve je třeba se rozhodnout, která strana našich předmětů bude představovat původní a která přeměněná jádra. Např. jestliže čočka leží tak, že je vidět strana, na které je udělána tečka, znamená to, že toto „jádro“ se přeměnilo, v opačném případě se jedná o původní jádro.

Vložíme všechny předměty do krabice nebo sáčku a pořádně zatřepeme. Potom předměty vysypeme na stůl. Pohledem na naše „jádra“ vidíme, že některá se „přeměnila“ a některá ne. Pokud jsme jádra opravdu dobře protřepali, tak pravděpodobnost, že se nějaké jádro přemění nebo ne, je stejně velká. To znamená, že by v naší „hromadě“ měla být zhruba polovina jader původních a polovina již přeměněná. Jedno protřepání tedy představuje jeden poločas přeměny (přeměnila se polovina jader).



Teď pečlivě spočítáme, kolik jader se přeměnilo, a kolik jich ještě zbývá. Jejich počty si zapíšeme do následující tabulky. Odstraníme přeměněná jádra, protože ta se už dále rozpadat nemohou. Vezmeme nerozpadlá jádra a zopakujeme s nimi celý postup – protřepeme v krabici, vysypeme, spočítáme a odstraníme přeměněné. To byl druhý poločas přeměny.

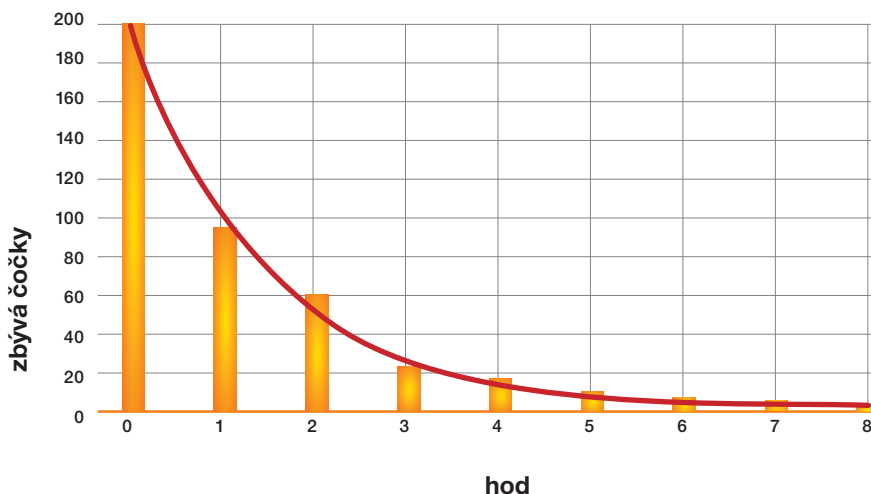
Takto budeme postupovat, dokud se nepřemění všechna jádra. Pokud by připravená tabulka byla krátká, přidejte si další řádky.

Tabulka pro vyplňování

	zbývá původních jader	právě se přeměnilo	celkem se již přeměnilo
0	200	0	0
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Teď si získané hodnoty vyneseme do grafu. Na vodorovnou osu budeme vynášet pořadí hodů a na svislou osu počet zbývajících nepřeměněných jader.

POSTUPNÝ ROZPAD ČOČKY



Do grafu na obrázku jsme nakreslili i křivku, kterou předpovídá teorie. Vaše získané hodnoty se od této křivky mohou odlišovat – to je normální. Čím více jader je na počátku experimentu, tím jsou odchylky menší.

SHRNUTÍ

Z našeho modelového experimentování můžeme udělat několik závěrů o chování přeměňujících se jader:

- Za dobu, které se říká poločas přeměny, se přemění přibližně polovina z jader, která jsme měli na začátku této doby.

V našem experimentování představovalo jedno promíchání, vysypání a spočítání čocky jeden poločas přeměny bez ohledu na to, jak dlouho tento krok trval.

A nejspíš každý krok trval i různou dobu. Při skutečné radioaktivní přeměně jader je ale poločas přeměny pořád stejně dlouhý. Pokud se podíváte do tabulek, zjistíte, že pro skutečné nestabilní prvky mají poločasy přeměny velmi různé hodnoty.

Některé prvky se přeměňují velmi rychle, poločas přeměny je roven zlomkům sekundy. Některé naopak velmi pomalu a jejich poločasy přeměny jsou tisíce let.

- Z tabulky i grafu vidíme, že počet nepřeměněných jader klesá nejprve rychle, později pomalu. Pokud se podíváme na vyplněnou tabulku podrobněji, můžeme si všimnout, že počet jader, která se v daném hodě přeměnila, je úměrný jejich počtu před hodem. Tj. čím víc jader mám, tím víc se jich přemění.
V našem pokusu si čočka nepamatuje, kolikrát jsme s ní již zatřáslí. Pokud bychom sledovali jedno konkrétní zrníčko, tak i když několikrát za sebou padne nepuntíkovanou stranou nahoru, tak v dalším pokusu je pravděpodobnost, že bude ležet nahoře zase stranou bez tečky, stejná jako v kterémkoli jiném hodě. Podobně si ani mince nepamatuje, kolikrát jsme s ní již hodili a co padlo, ale při každém dalším hodě je pravděpodobnost toho, že padne rub i líc, stejná. I kdyby předtím padaly samé panny, tak v dalším hodě není pravděpodobnost panny menší než pravděpodobnost orla. Právě tak si jádra nepamatují, kolik času uplynulo od jejich vzniku, a za dobu rovnou jednomu poločasů přeměny se jich přemění vždy polovina.

DALŠÍ ZKOUMÁNÍ PRO EXPERTY:

Máte ještě trošku času a chcete se dozvědět o náhodě při radioaktivní přeměně více? Pojd'me se vrátit ještě k odchylkám získaných počtů od teoretické křivky.

- Zopakujte několikrát celý proces. Co myslíte – přemění se v jednotlivých krocích vždy stejný počet jader? Jak moc se budou výsledky v jednotlivých pokusech odlišovat?
- Pojd'me se ještě přesvědčit o tom, že popsaná pravidla přeměny jader opravdu vyžadují, abychom pracovali s velkým množstvím jader.

Nejprve použijeme předchozí výsledky. Ke každému kroku spočítáme, kolik jader by mělo zbývat, pokud by se opravdu za každý poločas přeměny přeměnila přesně jejich polovina. A zjistíme odchylky našeho experimentu od těchto „teoretických“ údajů.

Asi cítíte, že pouhý rozdíl není úplně vhodnou mírou odlišnosti. Pokud máme 101 jader místo 100, je to přece jenom mnohem menší chyba, než kdybychom místo 10 jader měli 11. Přitom nám ale v obou případech přebývá jedno jádro. Proto vyjádříme v procentech, o kolik se zjištěné hodnoty liší od teoretických předpovědí.

Vzoreček pro výpočet „procentuální odlišnosti“ je:

$$\frac{(\text{naměřený počet jader}) - (\text{teoreticky spočtený počet jader})}{\text{teoreticky spočtený počet jader}} \cdot 100 \%$$

Vytvoříme si tedy tabulku podle následujícího vzoru:

	zbývá původních jader	teorie předpovídá původních jader	odlišnost (%)
0	200	200	0 %
1		100	
2		50	
3		25	

Ted' pokus i výpočty zopakujte jen s 20 kusy jader na začátku. Liší se v tomto případě naměřené hodnoty víc nebo míň od spočtených v porovnání s případem, kdy jsme začínali s 200 jádry? A jak by to asi dopadlo, pokud bychom začínali s 2 000 jádry? Pokud jste opravdu velmi trpěliví, můžete to s čočkou vyzkoušet.

SHRNUTÍ

Čím více jader máme, tím přesněji se počet jader přeměněných za poločas přeměny rovná jejich polovině.

Zkuste odpovědět na následující otázku:

- Kolik poločasů (hodů) je třeba na to, aby počet radioaktivních jader hodně klesl oproti jejich původní hodnotě?

Při formulaci odpovědi jste asi narazili na problém, co znamená „hodně“.

Musíme si uvědomit, že radioaktivita je přirozenou součástí Země, v půdě i ve vzduchu jsou nestabilní atomy, které se neustále rozpadají a tvoří tzv. **přírodní radioaktivní pozadí**. Aktivitu (počet jader, která se rozpadnou za jednu sekundu) radioaktivních materiálů porovnáváme právě s tímto přírodním radioaktivním pozadím. V naše „čočkovém experimentu“ to odpovídá okamžiku, kdy nám zbývá jen několik posledních zrněk čocky.

POLOČAS POKLESU PIVNÍ PĚNY

V předchozí kapitole jsme se seznámili s tím, co znamená **poločas přeměny**. Víme, že za jeden poločas se přemění („ztratí“) právě polovina původního počtu jader. V našem předchozím modelování jsme si ale po každém poločasu přeměny udělali „přestávku“ na přepočítání jader. Ve skutečnosti proces přeměny nelze zastavit. Protože experimentovat přímo s radioaktivními jádry by bylo obtížné, zkusíme si vše předvést na něčem jiném. Určitě jste si již někdy všimli, že když se nalije pivo do sklenice, tak se na něm udělá mnoho pěny, která postupně klesá. Při podrobnějším pozorování zjistíme, že na začátku, kdy je pěny hodně, klesá rychleji, a později mnohem pomaleji. To je podobné jako u jader. Na začátku, když jich bylo hodně, se za jeden poločas rozpadu přeměnilo mnoho jader, později jak klesal jejich počet, klesal i počet přeměněných jader. To nás může přivést k myšlence (**hypotéze**), že pokles pивní pěny by mohl mít podobný charakter jako pokles přeměněna radioaktivních jader. Pojd' me to proměřit.

CO BUDEME POTŘEBOVAT

- větší odměrný válec nebo vysokou sklenici, která se ani nerozšiřuje ani nezužuje
- stopky
- pravítko
- nealkoholické pivo
- tužku a papír na zaznamenávání měření

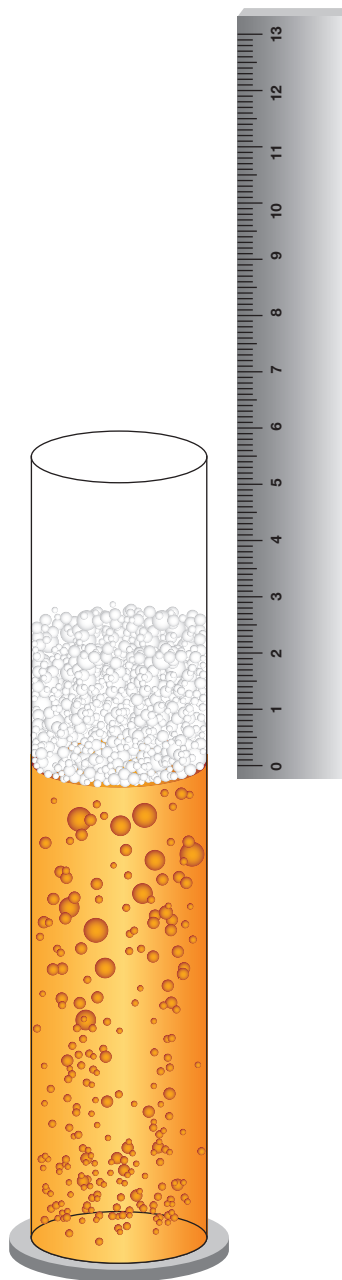


JAK NA TO

Než se pustíte do vlastního měření, přečtete si pečlivě, co je třeba změřit a dobře si rozmyslete, jak to provedete. Ihned po otevření lahve (nebo plechovky) nalijete pivo do odměrného válce nebo do sklenice. Pozor, při nalévání pivo velmi pění. Během několika málo sekund výška pěny přestane růst a začne mnohem pomaleji klesat. Vaším úkolem bude proměřit právě tento pokles. To znamená, že budeme v pravidelných intervalech měřit množství pěny. K tomu lze použít stupnici odměrného válce (pak měříte ve skutečnosti objem pěny a odečítat musíte horní i spodní údaj) nebo pravítko přiložené ke sklenici (potom měříme výšku pěny). Měření je třeba provést velmi často a přesně. Šikovné je provádět ho ve trojici. Jeden hlídá stopky a oznamuje čas měření – např. každých 15 sekund řekne „ted“. Druhý přesně v daný okamžik změří výšku pивní pěny pravítkem a nadiktuje hodnotu třetímu, který ji zapíše do tabulky.

Odečítání výšky pěny vyžaduje určitý cvik a praxi v rozpoznání její hranice. Doporučujeme vám udělat si jedno cvičné měření, na kterém si vyzkoušíte, zda váš postup měření funguje, a naučíte se odečítat výšku pěny. Měření můžete také několikrát zopakovat a použít výsledky z toho měření, které se vám podaří nejpřesněji.

Máte rozmyšleno a připraveno? Pusťte se tedy měření.



Máte naměřeno? Sestavte si z naměřených údajů graf, ve kterém budete na vodorovnou osu nanášet čas a na svislou osu naměřenou výšku nebo objem pивní pěny. Porovnejte tento graf s grafem přeměny radioaktivních jader uvedeným v předcházející kapitole. Mají podobný tvar?

Další možné experimentování: Zkuste vyzkoušet různé značky piva, každé pěni trochu jinak. Podobně jako pivo pěni i některé limonády, ale jejich pěna poklesne mnohem rychleji. Je tedy jejich poločas poklesu kratší nebo delší? A co třeba pěna, kterou lze vytvořit pomocí vody a saponátu na mytí nádobí. Zkuste ji pozorovat. Jak klesá?

ANALÝZA NAMĚŘENÝCH HODNOT ANEB JAK URČIT POLOČAS PŘEMĚNY

V předchozí části jsme naměřili hodnoty a sestrojili graf, ve kterém vidíme postupný pokles pивní pěny. Stále jsme ale neurčili poločas jejího poklesu. Asi vás napadlo, že by šlo přímo změřit čas, za který výška pěny poklesne na polovinu. V předchozí kapitole jsme ale zjistili, že radioaktivní přeměna je náhodný proces, tedy že za jeden poločas přeměny se rozpadne průměrně polovina jader. To samé předpokládáme i u poklesu pивní pěny. To znamená, že bychom museli takových měření udělat mnoho a spočítat z nich průměrnou hodnotu.

Zkusíme to udělat trochu jinak. Pokusíme se zjistit, zda pokles pěny má stejný charakter jako rozpad jader, a přitom určíme poločas poklesu tak, že využijeme všechny naměřené hodnoty. Protože provádět veškeré výpočty ručně by bylo nudné a zdlouhavé, použijeme při naší analýze počítač. V tomto textu naleznete, jak potřebné kroky provést v programu MS Excel, který je u nás velmi rozšířený. Pokud ale používáte jiný tabulkový procesor, snadno postup upravíte. Nejde o nic komplikovaného. Začněte tím, že naměřené hodnoty přepíšete do počítače. Na jeden řádek tabulky budeme vždy psát hodnoty, které se týkají jednoho konkrétního časového okamžiku. To znamená, že vytvoříme dva sloupce hodnot – čas od počátku měření a výšku pěny v tomto čase. Nakonec necháme program nakreslit graf.

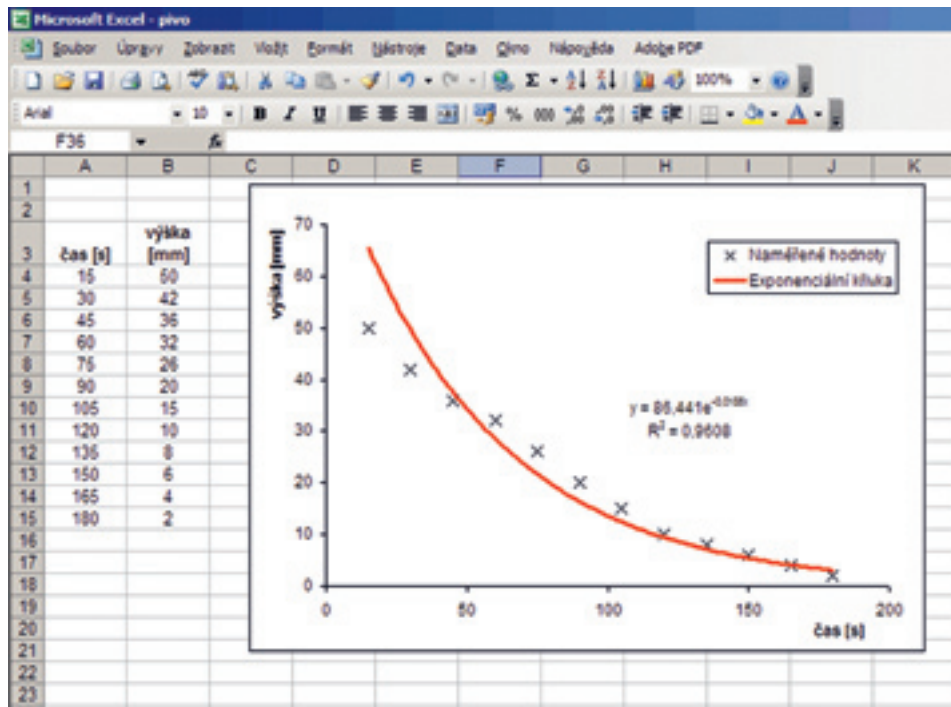
Přeměna jader je popsána tzv. **exponenciálním zákonem**, tj. vzorcem, $N = N_0 e^{-\lambda t}$ kde $e = 2,718$, N_0 je počet jader na počátku, N je počet jader v čase t a λ je tzv. rozpadová konstanta, ze které lze lehce spočítat poločas rozpadu T podle vztahu:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,69}{\lambda}$$

Předpokládejme, že pěna klesá také exponenciálně. (To je zatím jen naše hypotéza!) To znamená, že by body v našem grafu měly ležet na nějaké klesající exponenciální křivce. Protože jsme zcela určitě nenaměřili všechny hodnoty dokonale přesně, není možné očekávat, že hledaná křivka bude procházet přímo všemi naměřenými body. Měli bychom se ale snažit najít takovou exponenciální křivku, která „jde co nejlíže“ kolem naměřených bodů (tomu se odborně říká „proložení naměřených bodů křivkou“).

Proložení exponenciální křivky body umí program MS Excel automaticky. Klikněte pravým tlačítkem myši na naměřené body v grafu a ze zobrazené nabídky zvolte Přidat spojnici trendu... Na panelu vyberte, že chcete exponenciální typ křivky

a v záložce Možnosti zaškrtněte, že chcete zobrazit rovnici regrese a hodnotu spolehlivosti. Do grafu bude přidána příslušná křivka a její rovnice. Výsledek pro naše hodnoty vidíte na následujícím obrázku.



Ve vzorci křivky vidíme hodnotu konstanty λ a z ní podle uvedeného vztahu spočítáme poločas poklesu pěny. V našem případě je $\lambda = 0,0185\text{ s}^{-1}$ a poločas poklesu by byl $T = 37\text{ s}$.

To, zda je pokles opravdu exponenciální, lze posoudit buď jednoduše „okem“ podle toho, jak moc se proložená křivka blíží naměřeným údajům, nebo pomocí tzv. koeficientu spolehlivosti R . Čím více se jeho hodnota přibližuje 1, tím více je daná závislost opravdu exponenciální. Na obrázku je vidět, že námi měřená pивná pěna klesala dost odlišně od nalezené exponenciální křivky.

ŠTĚPENÍ JÁDRA

Jak si fyzici představují atomové jádro? Jedním z používaných teoretických modelů je tzv. **kapkový model jádra**. Protony a neutrony, které tvoří atomové jádro, se podobně jako malé kapičky spojí do jedné velké kapky, jádra. Tento model je postaven na výsledcích zkoumání, podle kterých se zdá, že některé vlastnosti jádra jsou podobné vlastnostem kapaliny, např. vody nebo oleje.

Jednou z těchto vlastností je **povrchové napětí**. Nevíte, co to je? Vezměte si sklenici vody a pokuste se položit na hladinu padesátník. Po chvíli zkoušení se vám jistě podaří ho na hladinu položit tak, že se neponoří. Pozorně si prohlédněte hladinu kolem něho. Je prohnutá. Připomíná gumovou blánu, na kterou někdo položil něco těžkého. Hladina kapaliny se gumové bláně podobá ještě v tom, že ji lze prorhnout (má jen omezenou nosnost) a také se stejně jako guma snaží smršťovat. Díky povrchovému napětí si můžeme hrát např. s bublinami.

Zkusme si, jak probíhá slučování a štěpení jader v kapkovém modelu jádra.

CO BUDEME POTŘEBOVAT

- hluboký talíř nebo mělkou misku
- vodu
- olej
- příborový nůž

JAK NA TO

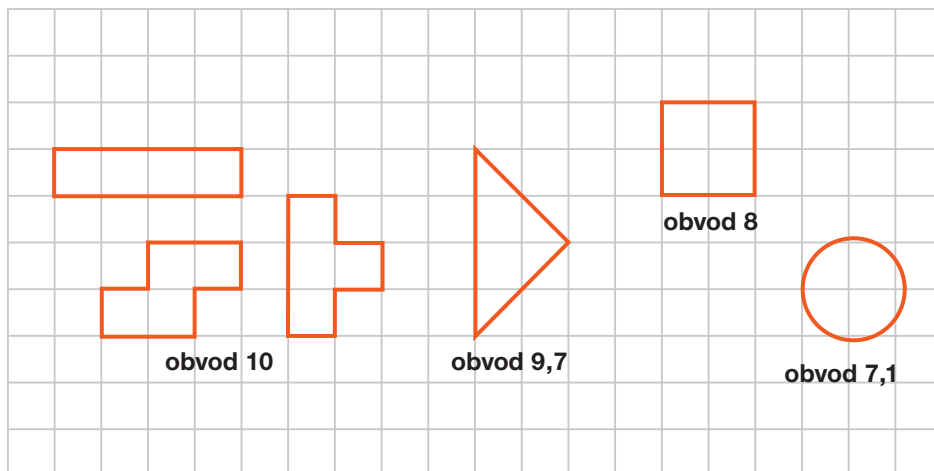
Naplňte talíř nebo misku vodou a kápněte do ní z velmi malé výšky kapičku oleje. Protože olej má menší hustotu než voda, vytvoří na hladině vody „mastná oka“ podobně jako na polévce. Pro naše hraní budou představovat jádra. Prohlédněte si jejich tvar.

Pomocí příborového nože se pokuste jedno „placaté jádro“ rozdělit na dvě – rozštěpit. Potom naopak zase dvě spojit – sloučit. Než budete číst dál, pozorujte a popište, jak se při tom mění tvar polévkových „jader“.



VÝSLEDKY POZOROVÁNÍ

Pokud jste neudělali na hladině příliš mnoho ok, mají jednotlivá oka přibližně kruhový tvar. Proč? Díky povrchovému napětí se každé oko snaží mít co nejmenší obvod. Podívejte se na následující obrázek, který naznačuje, že právě kruh má ze všech útvarů se stejným plošným obsahem obvod nejmenší.



(všechny útvary mají obsah 4 čtverečky)

Pokud jste pečlivě sledovali chování oleje, tak jste si jistě všimli, že olejová skvrna nešla „přeříznout“ podobně jako třeba chléb, ale že se při „překrajování“ postupně protahovala a protahovala, až došlo k překročení „pevnosti“ jejího okraje a roztrhla se na dvě části. Dále je zajímavé, že každá z částí původního oka získala opět rychle kruhový tvar.

Podobně se chovají kapky i při slučování. Kapky se většinou nesloučí jen při náhodném vzájemném nárazu, ale je třeba nožem narušit v místě setkání jejich okraje. Sloučená kapka je po chvíli zase kruhová.

TROJROZMĚRNÉ ŠTĚPENÍ

Zatím jsme pracovali s dvojrozměrnými (placatými) modelovými jádry. Skutečné jádro je ale trojrozměrné. Zkusme si tedy jeho vlastnosti i ve třech rozměrech. Následující pokus je trošku náročnější na šikovnost.

Než se ale do něj pustíme, řekneme si ještě, proč se budeme snažit „zrušit“ vliv gravitace na olejovou kapku. Vědci zjistili, že v rozměrech, které jsou tak malé, že jsou srovnatelné s atomovým jádrem, působí další, mnohem větší síly než v našem makrosvětě. Těmito silám se říká jaderné a drží atomové jádro pohromadě. V porovnání s jadernými silami je gravitační síla strašně malá – zanedbatelná, a proto se ji budeme snažit „zrušit“. Na druhou stranu, i když jsou jaderné síly obrovské, nedosáhnou příliš daleko. Působí pouze na vzdálenostech srovnatelných s atomovým jádrem, proto na nás, narozdíl od gravitace, nepůsobí.

CO BUDEME POTŘEBOVAT

- malou skleničku
- vodu
- čirý (průhledný) alkohol (např. líh)
- čajovou lžičku
- příborový nůž

JAK NA TO

Gravitaci „zrušíme“ tak, že kapku oleje necháme vznášet v jiné kapalině. Podle Archimédova zákona, který asi znáte ze školy, musí mít tato kapalina stejnou hustotu jako olej. Vhodnou kapalinu si připravíme smícháním vody a alkoholu.

Sklenici naplňte do poloviny alkoholem a potom doplňte do 2/3 jejího objemu vodou. Opatrně zamíchejte. Čistou lžičku naplňte olejem, přiblížte ji těsně nad hladinu a opatrně ji naráz vyklopte do kapaliny. Pokud jste měli velké štěstí, tak se vám teď ve sklenici vznáší krásná kulička oleje. Je ale mnohem pravděpodobnější, že kulička klesla ke dnu nebo naopak vystoupala k hladině. Pokud je olej u dna, přilijte opatrně trochu vody, pokud naopak plave při povrchu, přidejte trochu alkoholu. Postupným přidáváním vody nebo alkoholu po chvíli docílíte, že se olej opravdu bude vznášet ve sklenici.



Jakmile máme připravené naše experimentální „jádro“, můžeme ho začít štěpit a následně slučovat. Pozorujte, jak se jádro protahuje, když se ho snažíme nožem rozštěpit, a jak se každé nové jádro rychle zakulatí.

Důvod pro kulatost jader je stejný jako v případě mastných ok. Koule má nejmenší povrch ze všech prostorových útvarů se stejným objemem.

SHRNUTÍ

Při vysvětlování některých jevů si fyzici představují jádro jako kapku. Stejně jako olej nebo voda je i tato modelová jaderná kapalina nestlačitelná a má povrchové napětí, které je příčinou kulatosti jádra. Tato představa se ukázala jako vhodná pro vysvětlení celkové energie jádra nebo mechanismu štěpení jádra, ale některé jevy (např. jaderné záření) vysvětlit nedokáže.

ŘETĚZOVÉ ŠTĚPENÍ A JEHO ŘÍZENÍ

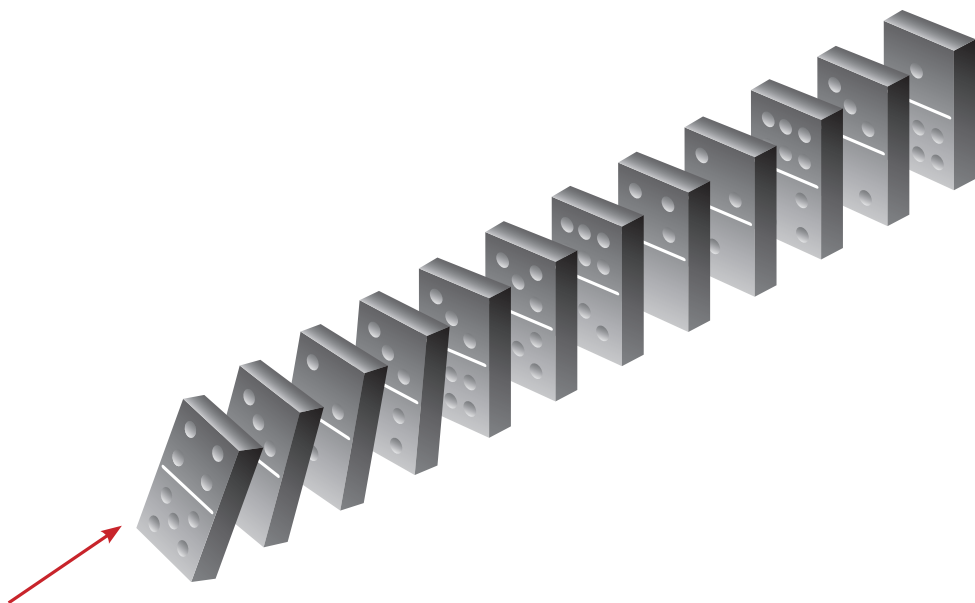
Ukázali jsme, jak si fyzikové představují štěpení jádra. Pro nás je v současné době nejzajímavější štěpení uranu ^{235}U . Pokud do jádra tohoto izotopu uranu vletí neutron o správné energii, způsobí jeho rozštěpení na dva kusy. Přitom dojde k uvolnění poměrně velkého množství energie. Při štěpení zároveň vylétnou z jádra dva až tři jiné neutrony, které mohou být zachyceny dalšími jádry, jež rozštěpí, a tak dál. Pojd'me si to namodelovat.

CO BUDEME POTŘEBOVAT.

- dominové kostky nebo jiné podobné předměty (např. krabičky od sirek, sušenky, ...)
- pravitko (ne trojúhelník)

JAK NA TO

Dominové kostky budou představovat naše pokusná jádra. Rozštěpení jádra znázorníme pokácením kostky. A stejně jako rozštěpení jednoho jádra způsobuje štěpení dalších, tak i kostky domina se mohou navzájem kácet.



Postavte si kostky do řady a do první šfouchněte. Jedna kostka shodí další, až budou ležet všechny. Toto by odpovídalo situaci, že z každého jádra vylétl právě jeden neutron, který rozštěpil další jádro. V normální štěpné reakci ale vylétávají obvykle dva nebo tři neutrony.

A to je úkol pro vás! Poskládejte kostky domina tak, aby každá shodila dvě nebo tři další. Pokud by se vám to nedařilo, je jeden z možných nákresů uveden na konci brožury. Zkuste vymyslet další rozestavení kostiček, které by mělo podobný charakter.

Jak jsme viděli, počet shozených kostiček v čase prudce roste. Stejně rychle roste i počet rozštěpených jader. Z každého jádra se uvolní energie, takže množství uvolněné energie bude také velmi rychle růst. Abychom ji mohli využívat, např. k výrobě elektrické energie v jaderných elektrárnách, je třeba najít nějaký způsob, jak řetězovou štěpnou reakci řídit, jak regulovat počet rozštěpených jader, ale hlavně jak reakci v případě potřeby zastavit.

Zkuste se zamyslet nad tím, jak pomocí nějaké překážky, např. pravítka, docílit toho, aby spadla pouze polovina kostek. Nesmíte ale měnit uspořádání z minulé části! Pravítko můžete vložit libovolně mezi dominové kostky a rukou ho podržet. Řešení je opět uvedeno na konci brožury.

REGULACE A MODERACE

Pokud se vám podařilo vyřešit předchozí úkol, tak jste viděli, že pravítko zachytilo padající kostku a tím ochránilo další kostky před pádem. Ve skutečnosti (v jaderném reaktoru) roli pravítka hraje něco, co je schopno zachytit neutron dříve, než rozbije další jádro. Tím dojde k zastavení celé jedné větve štěpné reakce. Pokud do reaktoru vložíme dost „zachytávače“ = absorbátoru neutronů, můžeme řetězovou reakci zpomalit nebo dokonce úplně zastavit. Z praktických důvodů má absorbátor tvar tyčí (tzv. **regulační tyče**), které se mohou do aktivní zóny reaktoru zasunovat.

Kontrolní otázka: Myslíte si, že pro snížení výkonu reaktoru musíme tyto regulační tyče do něj zasunout nebo je naopak vytáhnout?

Poznámka: Jaderná štěpná reakce se v jedné věci liší od kácení dominových kostek. Padající kostka porazí vždy ty nejbližší další kostičky a nemůže žádnou „přeskočit“, tj. nechat ji stát a pokácet až kostičku za ní. Z rozštěpeného jádra ale vylétnou neutrony s obrovskou rychlostí a uletí určitou vzdálenost, než jsou zachyceny nějakým dalším jádrem, které rozštěpí. Navíc ke štěpení jsou mnohem vhodnější neutrony pomalé, proto je v reaktoru ještě „zpomalovač“ neutronů = **moderátor**.

STOPOVÁNÍ ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC

Kolem nás neustále létají spousty různých maličkých částic. Fyzici o nich hovoří jako o záření. Pocházejí např. z rozpadajících se nestabilních jader (**jaderné záření**) nebo přilétají z vesmíru (**kosmické záření**). Vědci si dlouhou dobu lámali hlavy, jak tyto částice, které jsou příliš malé a nejsou vidět ani mikroskopem, stopovat. Jak vidět, kudy letí. Až jednou několik fyziků sedělo odpoledne u svačiny a ...

... ale pojďme si to vyzkoušet nejprve sami.

CO BUDEME POTŘEBOVAT

- vysokou průhlednou sklenici
- perlivou stolní vodu
- trošku soli

JAK NA TO

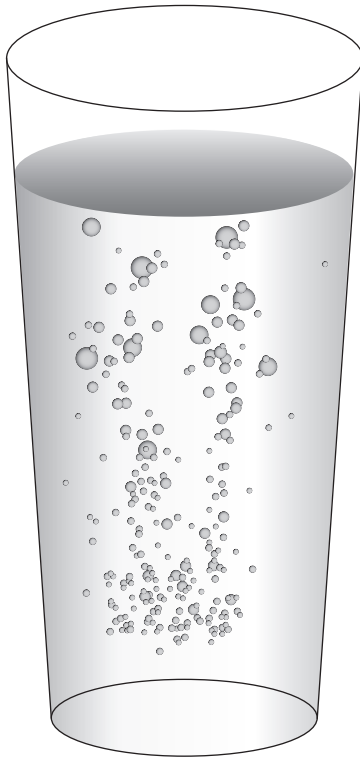
Nejprve nalijte perlivou vodu do sklenice a počkejte, až se uklidní. Po chvíli již nebudou ve sklenici putovat téměř žádné bublinky nahoru. Uklidnění lze urychlit mírným poklepáním sklenice o stůl, ale pokus bude fungovat, i když vodu necháte ustát několik desítek minut. Potom vhodte do sklenice několik zrníček soli a pozorujte, co se bude dít.

Pozorování bublinek je jednodušší, pokud si sklenici postavíte před nějaké tmavší pozadí a díváte se na ni z boku. Pokud by vám pokus nefungoval, zkuste menší zrníčka soli.

POZOROVÁNÍ

Jistě jste si povšimli, že za padajícím zrníčkem soli se vytvoří stopa bublinek, které ukazují, kudy malé zrníčko padalo. Bublinky se zvětšují a stoupají k hladině. Tyto bublinky jsou vidět mnohem lépe než samotné padající zrníčko soli. Proč se ale bublinky objeví?





Bublínky v perlivých nápojích jsou tvořeny plynem – oxidem uhličitým, který se do nich při výrobě přidává a je v nich rozpuštěný. Dokud je láhev uzavřená, je v ní zvýšený tlak. O tom svědčí např. zasyčení = uniknutí rozpínajícího se plynu při otevření lahve. Po otevření tlak v láhvi klesne.

Při nižším tlaku se ale ve vodě „neudrží“ takové množství rozpuštěného plynu jako při vyšším tlaku. Proto po otevření lahve začne z vody unikat velké množství bublinek. Pokud necháte stát sklenici v klidu, bude trvat velmi dlouho, než unikne všechen nadbytečný plyn. I když se nám po několika minutách zdá, že voda se již zcela uklidnila, je v ní ještě velké množství plynu, který „se chystá“ uniknout. Proto stačí velmi malý podnět, aby se vytvořila bublinka plynu. Takovým podnětem může být i padající zrno soli, které na své dráze vytvoří spoustu malinkých bublinek.

PROFESIONÁLNÍ BUBLINOVÉ A MLŽNÉ KOMORY

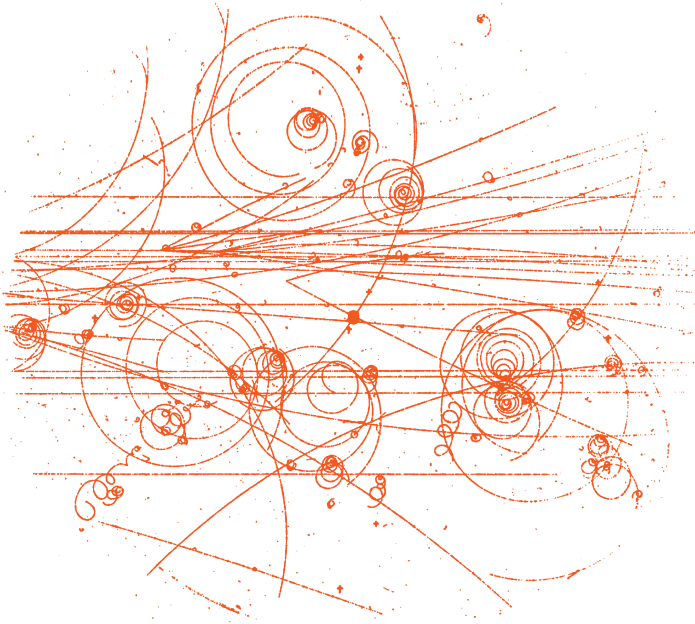
Pokračování úvodu:

... několik fyziků sedělo odpoledne u svačiny a jeden z nich hodil špetku soli do své sklenice s minerálkou, aby snížil její „perlivost“. Oči všech jaderných fyziků se obrátily ke sklenici a fascinovaně sledovaly proužky bublinek, které se vytvořily za každým padajícím zrníčkem.

Inspirace přichází při podivuhodných příležitostech.

Podobná událost údajně opravdu inspirovala autora jednoho z prvních detektorů částic, tzv. **bublinové komory**. Základ bublinové komory netvoří minerálka, ale přehřátá kapalina. Přehřátou kapalinu získáme tak, že v nádobě, v níž je kapalina zahřátá až k bodu varu, se sníží tlak. Teplota kapaliny se nesníží, ale bod varu je při nižším tlaku nižší. Takto je teplota kapaliny vyšší než bod jejího varu. Takový stav kapaliny není příliš stabilní a stačí malinký impuls, jako je průchod nabitě částice jaderného nebo kosmického záření, a v kapalině se začnou vytvářet malinké bublinky, podobně jako v sodovce za zrníčkem soli. Tyto bublinky jsou na rozdíl od částice viditelné i pouhým okem. Bublinové komory používané v reálném experimentu byly cyklicky ohřívány a ochlazovány, aby se nezahtily vznikajícími bublinkami, a také opatřeny fotoaparátem, který zachycoval stopy částic pro pozdější zpracování.

Umístíme-li k bublinkové komoře magnet, dráhy nabitých částic se v magnetickém poli stáčí.

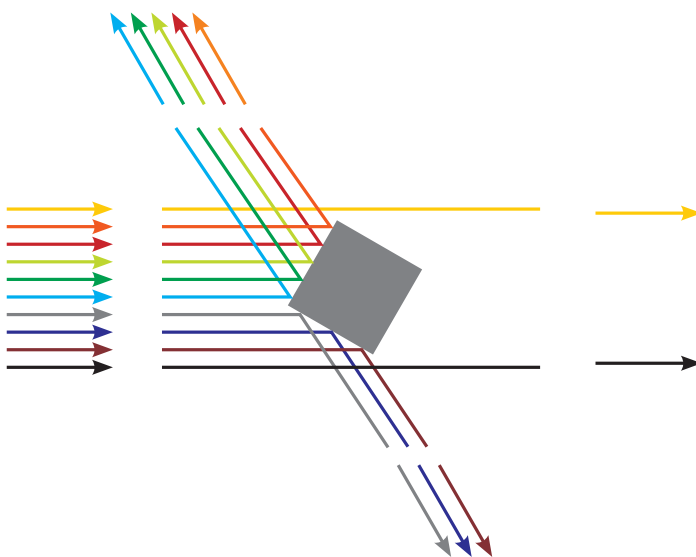
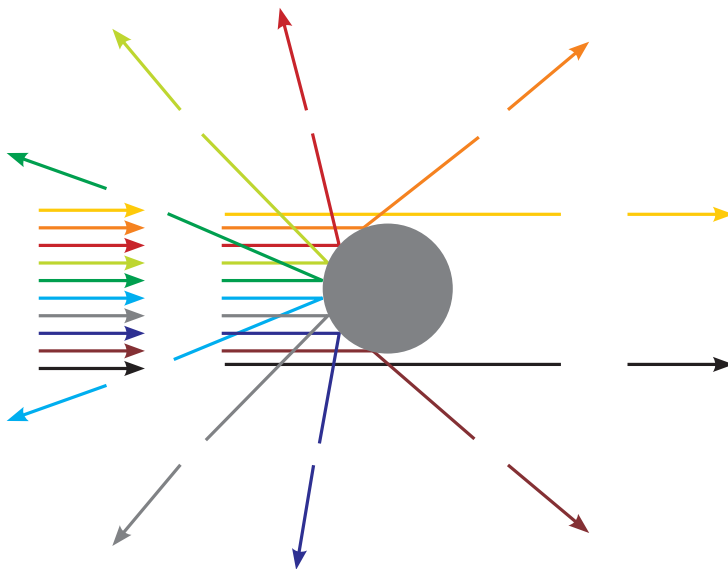


Na podobném principu pracuje i další detektor částic – tzv. **mlžná komora**. Místo přehřáté kapaliny je v ní podchlazená pára, ve které průchod nabitě částice způsobí kondenzaci. To znamená, že v mlžné komoře dráhu částice ukazují malinké kapičky, které za ní při průletu vznikají.

ŘEŠENÍ

ROZPTYLOVÁNÍ

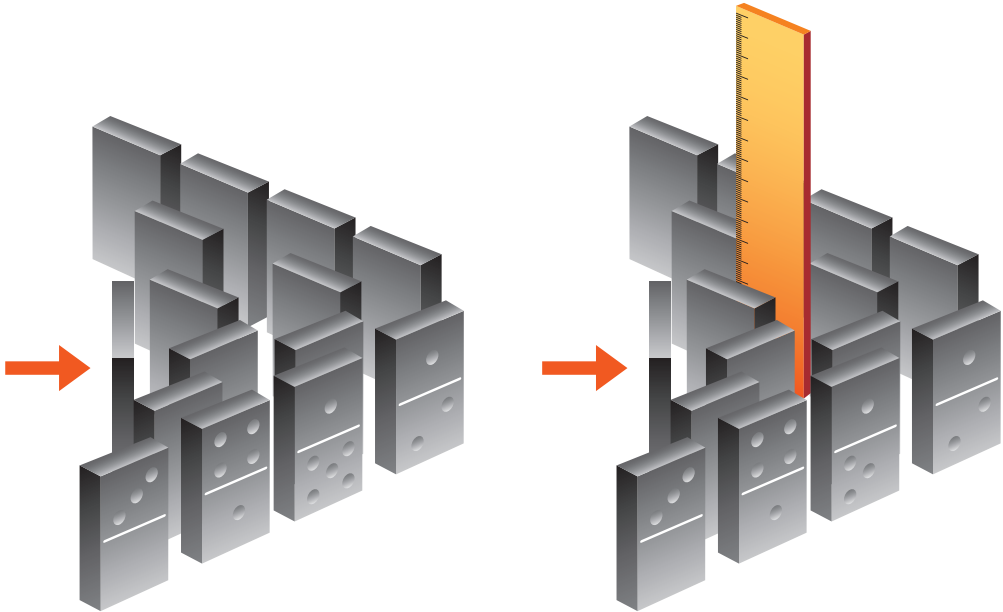
Řešení úkolu pro jednotlivce: Na prvním obrázku se skrývá kruhový terčík, na druhém čtvercový. Podívejte se na obrázky, jak se kulička odrážela.



ŘETĚZOVÉ ŠTĚPENÍ A JEHO ŘÍZENÍ

Neřízená řetězová reakce: Postavte si dominové kostky podle uvedeného nákresu a Źukněte do kostičky ve směru šipky. Pozorujte, co se bude dít. Zkuste vymyslet další rozestavení.

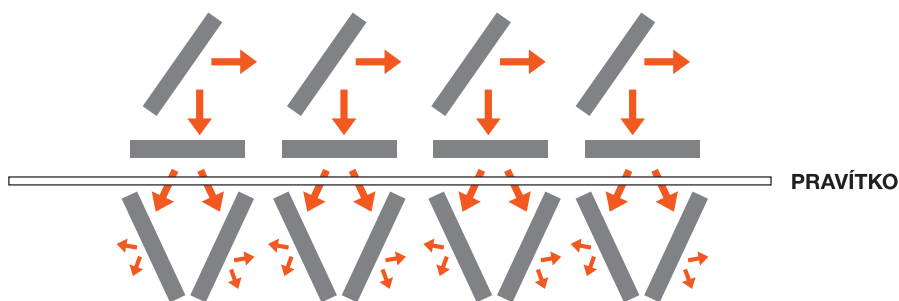
Řetězová reakce se zastavenou jednou větví: Pokud podržíte pravítko, aby se nemohlo skácat, ochrání všechny kostičky, které jsou za ním. Zkuste vymýšlet další rozestavení.



Řízená řetězová reakce: Na následujícím obrázku se díváme na dominové kostky shora. Červené šipky naznačují směr, ve kterém kostka pokácí další kostku. V našem modelu řetězové reakce tyto šipky vlastně představují neutrony, které vylétly z jádra a mohou rozštěpit další jádro.

Jak vidíme, pravitko (regulační tyč) zachytává „neutrony“ postupně, a proto počet padajících kostek v čase neroste, ale zůstává stejný.

Hurá! Umíme řídit řetězovou reakci.



Odpověď na kontrolní otázku: Aby se snížil výkon reaktoru, musí probíhat méně štěpných reakcí, je tedy třeba zachytávat více neutronů. Správná odpověď je tedy, že musíme regulační tyče do reaktoru zasunout.

DOPORUČENÁ LITERATURA

Augusta P. a kol. (2001): **Velká kniha o energii**, Praha

Halliday D., Resnick R., Walker J. (2000): **Fyzika – část 5, Moderní fyzika**, Vutium, Brno

Sedláček K., Tůma J. (1986): **Atom skrývá naději**, Praha

Pišút, J., Zajac R. (1983): **O atómech a kvantování**, Alfa, Bratislava

Encyklopedie energie: www.energyweb.cz

FyzWeb – fyzikální stránky pro každého: fyzweb.cuni.cz

