

DOMÁCÍ POKUSY Z JADERNÉ FYZIKY
SOUČÁST VZDĚLÁVACÍHO PROGRAMU ENERGIE PRO KAŽDÉHO

NAPSALA ING. MARIE DUFKOVÁ
VYDALO ODD. KOMUNIKACE ČEZ, A. S.

© ČEZ, A. S., V ROCE 2004

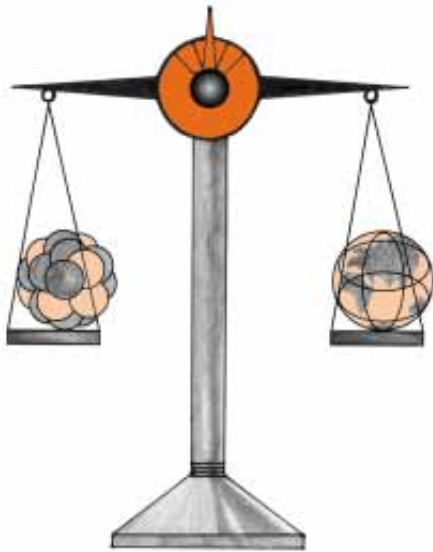
DOMÁCÍ POKUSY Z JADERNÉ FYZIKY



Jaderná fyzika pro každého

Mnoho lidí si myslí, že jaderná fyzika je strašně těžká a naprosto nepochopitelná. Tahle malá knížka vám ukáže, že základy jaderné fyziky je možné si vyzkoušet a objasnit i doma nebo ve škole při fyzikálních praktikách.

Uvidíte, že fyzika je velké, ale i dostupné dobrodružství, a že i s velmi jednoduchými pomůckami lze leccos dokázat.



Představa atomu

Začneme tím, co to vlastně je atom a atomové jádro. Fyzika učí, že atom se skládá z jádra a elektronového obalu. Průměr atomu je přibližně 10^{-10} m, průměr jádra přibližně 10^{-15} m. Spočítejte si pro názornost, jak daleko od středu atomu asi budou obíhat elektrony, když jádro zvětšíte na velikost makového zrnka (řekněme, že má průměr 1 mm). Teď vypočítejte, kde budou elektrony, bude-li atomové jádro velké jako hrášek (o průměru 5 mm), který položíte doprostřed vaší třídy.

A nakonec vypočítejte, kde bude elektronový obal, když bude jádro velké jako kopací míč ležet uprostřed fotbalového hřiště.

Na první pohled se to zdá neuvěřitelné, ale náš hmotný svět je z pohledu jaderné fyziky učiněným řešetím. A to si ještě představte, že téměř veškerá hmotnost atomu je soustředěna v jádře. Vždyť hmotnost protonu je $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg a hmotnost elektronu $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. Vypočítejte sami, kolikrát je elektron lehčí. Jeden příklad na závěr jsme vypočítali za vás: malá hrací kostka (asi 1 cm^3) vyrobená pouze ze samých atomových jader by vážila 400 milionů tun. K čemu by se taková hmotnost dala přirovnat?

Výpočet vlastního dávkového ekvivalentu

Přírodní radioaktivita (tzv. radiační pozadí), které provází planetu Zemi od jejího vzniku a nás tedy od narození, se liší podle místa, ve kterém pobýváme. Ve vysokých horách je vyšší podíl kosmického záření, v místech, kde jsou v zemské kůře ložiska radioaktivních minerálů, je vyšší podíl záření ze země. K přírodním podmínkám pak přistupují i různé umělé zdroje záření, které způsobil člověk svou činností. Jsme-li nemocní a musíme často chodit na rentgen, dostáváme dávky záření z lékařských aplikací, vysedáváme-li dlouhé hodiny před barevnou obrazovkou televizoru nebo počítače, také si svou „vlastní dávku“ zvyšujeme. Sečtete podle tabulky veškeré možnosti ozáření, které jste v tomto roce podstoupili. Jak se liší od průměrné světové hodnoty? (Dávkový ekvivalent se měří v jednotkách sievert. Průměrná světová hodnota je 2,5 až 3 mSv za rok.)

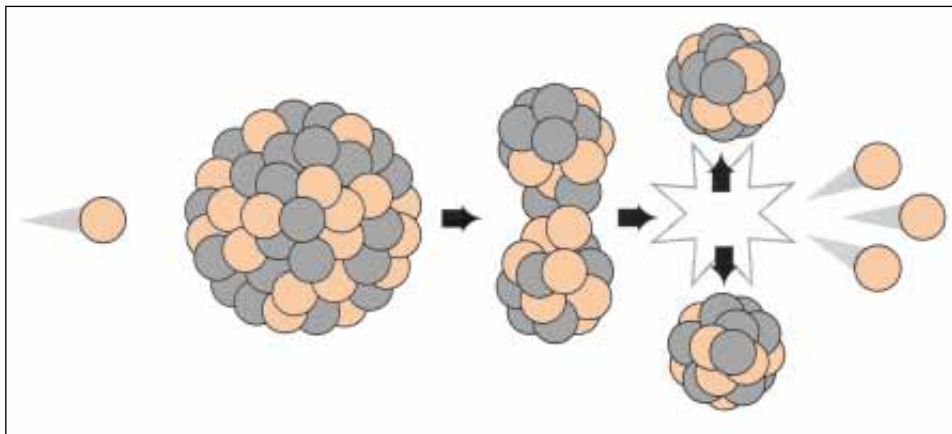
| | |
|---|----------------|
| Bydlíte-li v úrovni moře | 0,3 mSv |
| ve výšce 300 m nad mořem | 0,325 mSv |
| ve výšce 600 m nad mořem | 0,375 mSv |
| ve výšce 1000m nad mořem | 0,45 mSv |
| jíte běžné potraviny a nápoje | 0,35 mSv |
| průměrné ozáření z půdy a z radonu představuje | 1,35 mSv |
| bydlíte-li v dřevěném domku, odečtete | - 0,135 mSv |
| bydlíte-li v žulou obloženém domě, přičtete | + 1,35 mSv |
| pokud nevětráte, přičtete | + 1,35 mSv |
| topíte uhlím, nebo bydlíte poblíž uhelné elektrárny | + 0,04 mSv |
| bydlíte na hranici pozemku jaderné elektrárny | + 0,002 mSv |
| bydlíte 1,5 km od jaderné elektrárny | + 0,000 2 mSv |
| bydlíte 5 km od jaderné elektrárny | + 0,000 02 mSv |
| byl jste na rentgenu plic | + 0,5 mSv |
| byl jste na rentgenu trávicího traktu | + 4 mSv |
| byl jste na radiofarmaceutickém vyšetření | + 0,3 mSv |
| díváte se denně 1 hodinu na barevnou televizi | + 0,002 mSv |
| pracujete denně 1 hodinu s počítačem | + 0,002 mSv |
| cestoval jste 1x letadlem na vzdálenost 4000 km | + 0,025 mSv |
| používáte starší hodinky s luminofory | + 0,01 mSv |

Je potřeba poznamenat, že na Zemi existují místa s velmi rozdílným přírodním pozadím. V některých lokalitách v Indii nebo Brazílii přesahuje přírodní pozadí světový průměr až 200krát. Žijí zde zcela normálně tisíce lidí a žádné zdravotní újmny způsobené zářením u nich nebyly pozorovány.

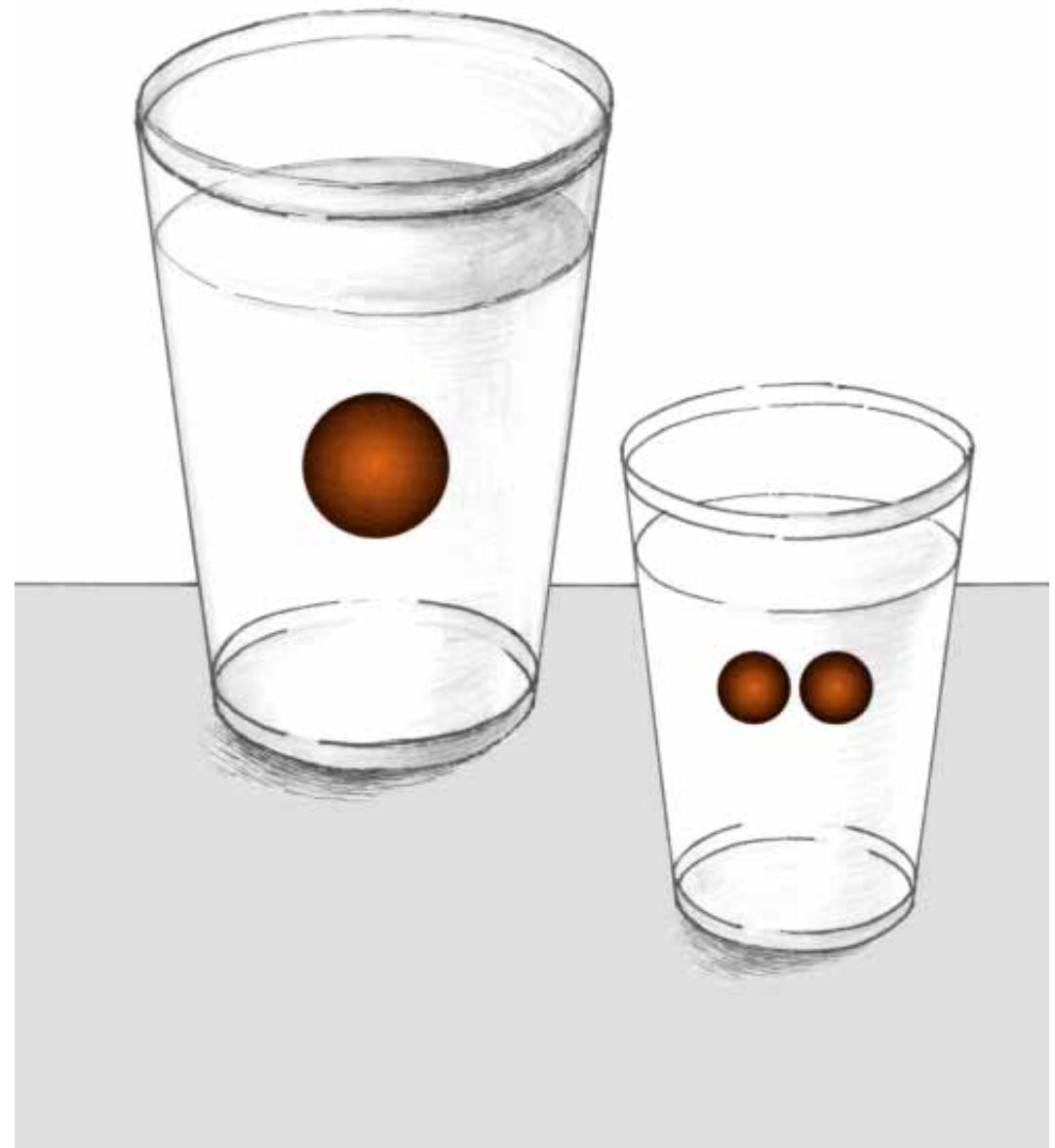
Štěpení atomu ve sklenici vody

K pochopení složitých vlastností atomu, atomového jádra a jeho chování si fyzici vymysleli mnoho modelů, které s větším či menším úspěchem vysvětlují pozorované jevy. Kapkový model atomu představuje jádro atomu jako kapku kapaliny a vypočítává jeho chování na základě podobných rovnic, které platí pro povrchové napětí kapalin.

Naplňte malou sklenici do poloviny čirým alkoholem (např. lihem) a přidejte trochu vody, aby byla sklenka naplněná asi ze 2/3. Pak do čisté čajové lžičky nalijte olej, přiblížte lžičku těsně nad hladinu a opatrně ji naráz vyklopte. Pokud se vám to povedlo, je teď ve sklenici krásná kulička oleje. Klesla-li ke dnu, přidejte trochu vody, plave-li na povrchu, přidejte trochu alkoholu.



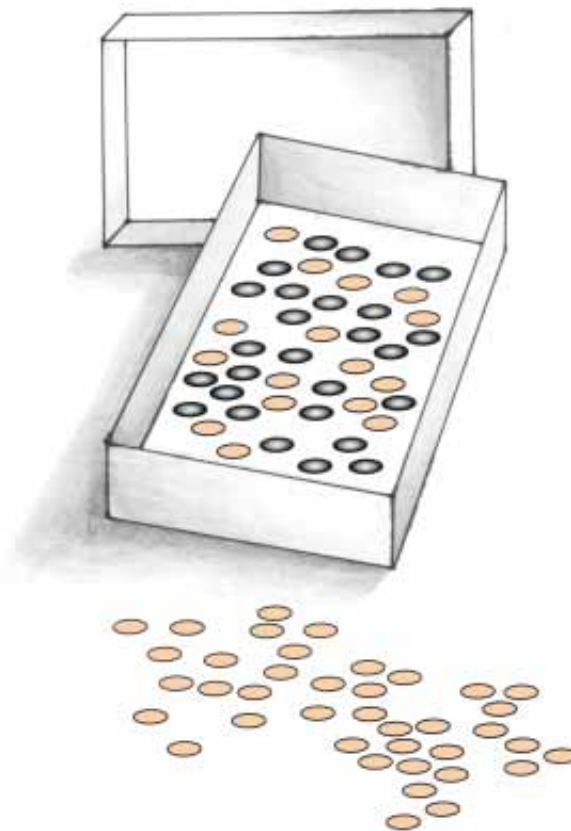
Kapka, vznášející se uprostřed sklenky, je váš experimentální atom. Všimněte si, jak je perfektně kulatá - síly, které ji drží pohromadě, se chovají podobně jako síly, které drží pohromadě atom. Nyní vezměte kulatý nůž a opatrně kapku rozdělte. Nejdříve se bude jen protahovat a deformovat, teprve když překročíte určitou mez - kritickou deformaci, rozdělí se. Vzniknou dvě nové, opět perfektně kulaté kapky. Rozštěpili jste váš první experimentální atom.



Čočkový poločas rozpadu

Nerozumíte tomu, proč radioaktivita nějakého prvku ubývá za stejnou časovou jednotku vždy o polovinu? Tak si to vyzkoušíme. Vezměte hrst čočky (aspoň 200 kusů, ale raději více). Jednu stranu zrnka obarvíte, druhou ponechte přírodní. Po zaschnutí barvy vložte čočku do větší ploché krabice s víkem. Krabici důkladně zatřepete, aby se zrnka dokonale promíchala. To je **první poločas** rozpadu. Krabici otevřete a odstraňte všechna zrnka, která leží barevnou stranou nahoru. Spočítejte je a napište si číslo do tabulky. Pak znovu uzavřete krabici a dobře protřepete - to je **druhý poločas** rozpadu. Otevřete, vyberte zrnka ležící obarvenou stranou nahoru a s počítejte je.

Proces opakujte tak dlouho, dokud vám v krabici nějaká zrnka zbývají. Z tabulky čísel, kterou jste takto získali, sestrojte graf. Dostali jste křivku, která se velmi podobá křivce poločasu rozpadu. Z tabulky zjistíte, kolik poločasů rozpadu bylo potřeba k tomu, aby „radioaktivita“ zmizela.



| | |
|----|--|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |
| 11 | |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |
| 15 | |
| 16 | |



Kosmické záření v zavařovačce

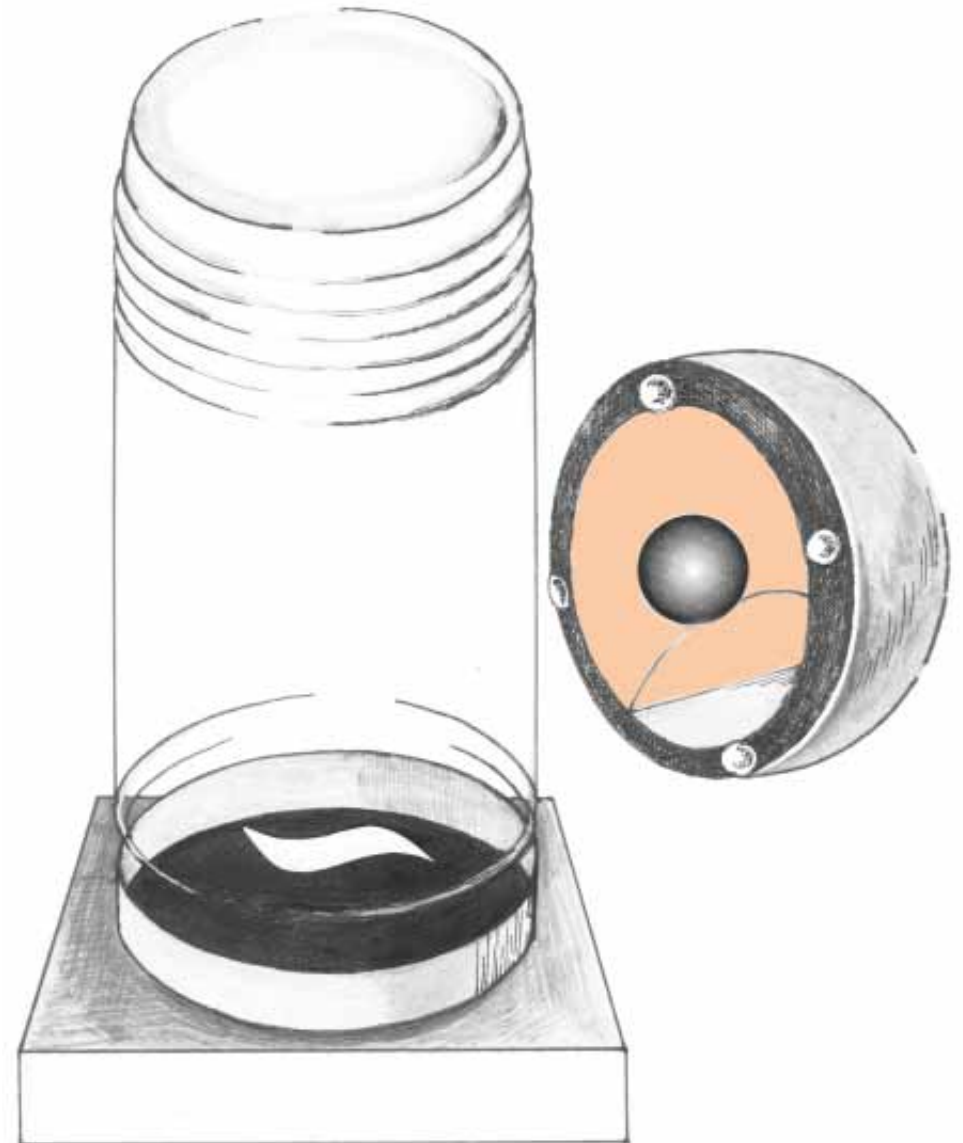
Zkuste chytit neviditelné záření. Potřebujete k tomu kus suchého ledu (dosáhne teploty - 30 °C, obyčejný led s 0 °C je příliš „teplý“), líh, čistou zavařovací sklenici s plechovým uzávěrem, filtrační papír, černý samet a silný zdroj světla. Pokus je třeba provádět v zatemněné místnosti.

Z černého sametu vystříhnete kolečko a vlepte ho dovnitř plechového víčka od sklenice. Na dno zavařovací sklenice vlepte kolečko vystřížené z filtračního papíru. Pak do sklenice nakapejte tolik lihu, aby se papír nasýtil, ale nedělaly se loužičky. Sklenici pevně uzavřete a postavte ji víčkem dolů na



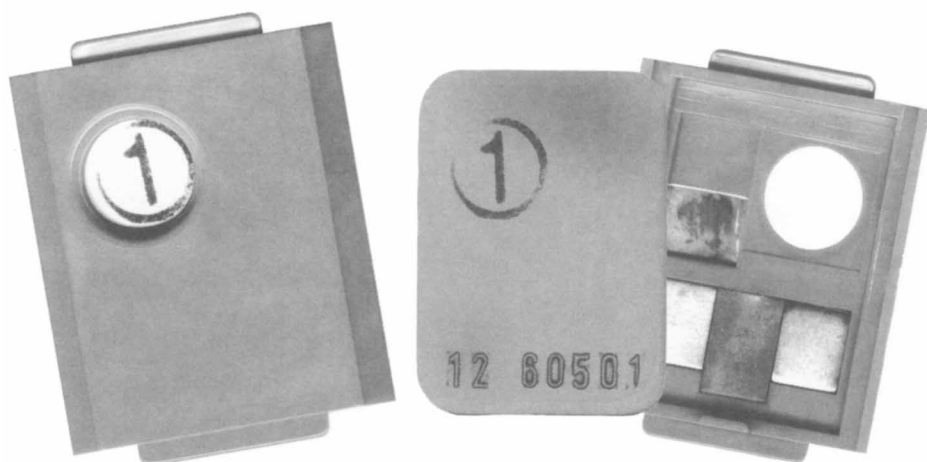
kus suchého ledu. Zhasněte a v naprosté temnotě posviťte z boku na sklenici. Trpělivě počkejte několik minut, než se z lihových par ve sklenici vytvoří lehounká mlha. Budete-li mít štěstí, objeví se v kuželu světla poblíž černého dna občas bílá stopa. Právě jste na vlastní oči viděli neviditelné kosmické

záření, které prošlo vaší experimentální mlžnou komorou. Přesněji řečeno, viděli jste dráhu, kterou částice prolétla. Ionty vzniklé průletem ionizující částice se staly kondenzačními jádry, na kterých se srazila pára, a dráha částice vytvořená z drobulinkých kapiček kapaliny se tak stala viditelnou.



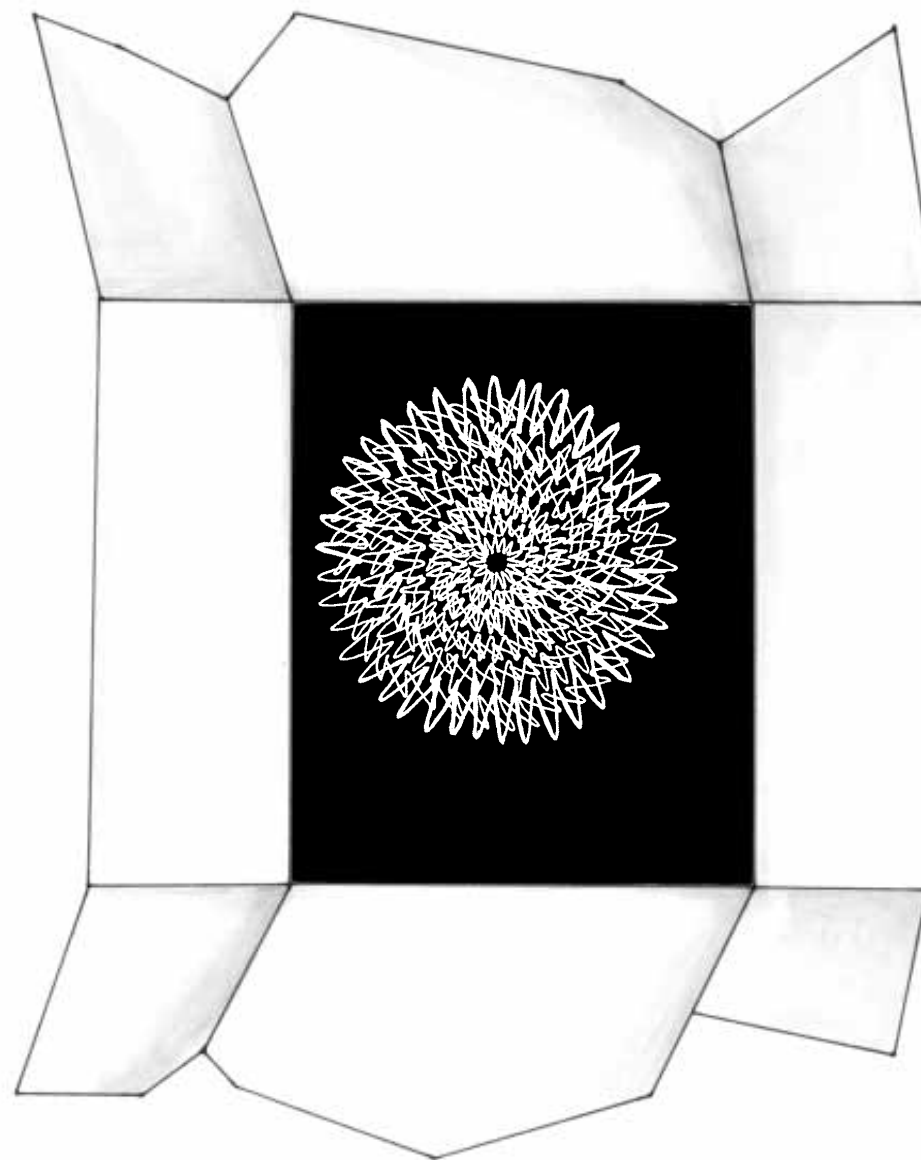
Radiografie

Zdroj ionizujícího záření může být snadno zjištěn pomocí fotografického filmu. Je to metoda, která se používá v osobní dozimetrii. Osobní filmové dozimetry, malé červené visačky, nosí na pláštích např. lékaři - rentgenologové, nebo jiní pracovníci, zacházející se zářením. Podle stupně zčernání filmové emulze se dá velmi přesně vyhodnotit, jaké dávce byl pracovník s ionizujícím zářením vystaven. K experimentu potřebujete velmi citlivý fotografický film (nebo papír) a punčošku na plynovou lampu (koupíte v železářství).



V naprosté tmě rozbalte film, položte na něj punčošku a pečlivě zabalte do neprůsvitného černého papíru a uzavřete, aby k filmu nemohlo světlo. Ponechte takto alespoň 1 měsíc. Pak film dejte vyvolat - a najdete na něm obraz síčky punčošky. Právě jste udělali svůj první experimentální radiogram.

Jak to, že se nám punčoška sama „vyfotografovala“? Je to proto, že je nasycena speciální sloučeninou, která zesiluje jas plynové lampy. Sloučenina obsahuje prvek thorium, který je radioaktivní. Podobný radiogram byste mohli udělat i z ciferníku hodinek, který má čísla namalována tzv. luminiscenční barvou, aby čísla ve tmě světélkovala, protože také ta obsahuje radioaktivní přísadu.



Model řetězové štěpné reakce

V jaderném reaktoru probíhá tzv. řízená řetězová štěpná reakce.

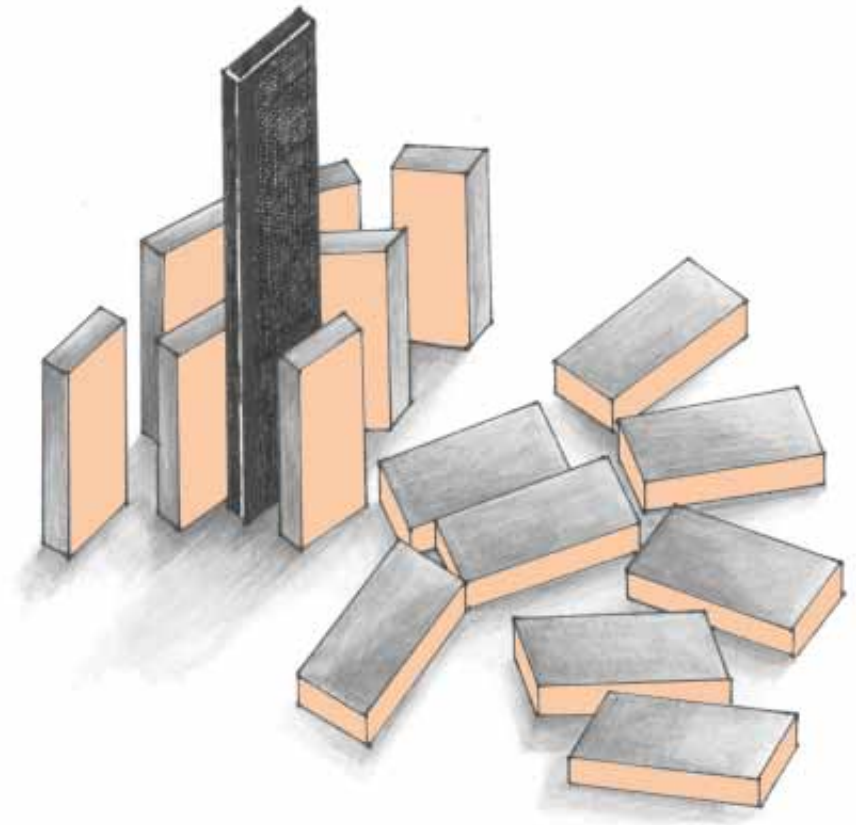
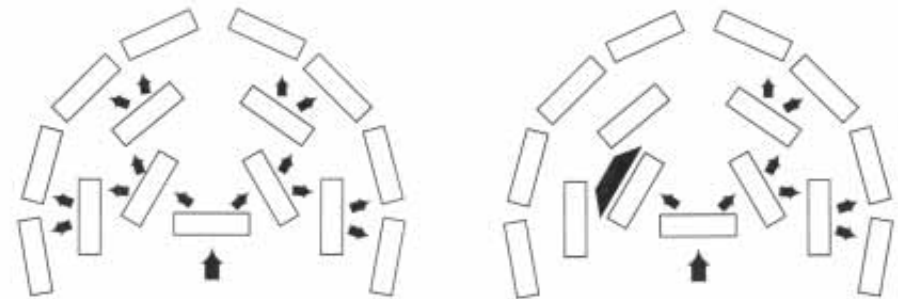
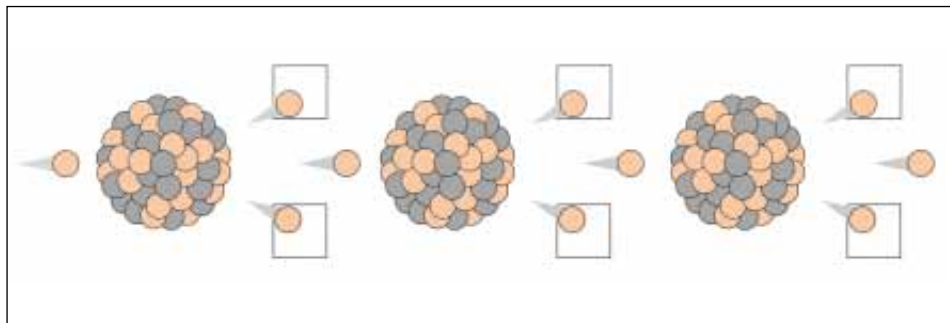
Co to je?

Při vlétnutí neutronu o správné energii do jádra atomu uranu 235 se jádro rozdělí a vylétnou dva nebo tři další neutrony. Ty na své cestě rozštěpí další jádra uranu 235 a tak dále, a tak dále...

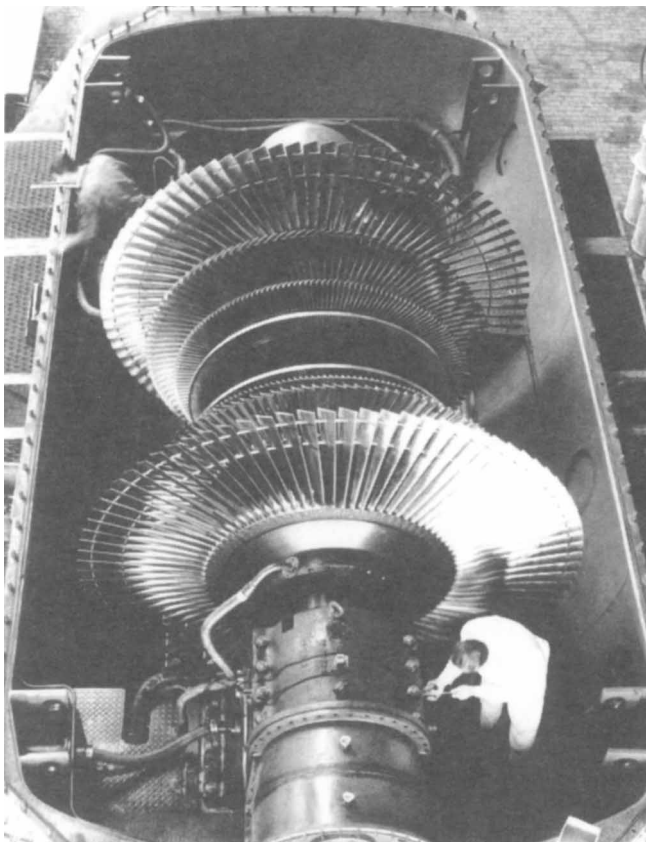
Vezměte si obyčejné hrací domino, to jsou teď vaše experimentální atomy a neutrony. Postavte je podle nákresu, pak ťukněte do první kostičky a pozorujte, co se bude dít. Spustili jste experimentální neřízenou řetězovou reakci.

Jak by se dala řídit? Tak, že některé neutrony zastavím, aby nemohly štěpit další jádra. Postavte si domino znovu a před jednou z kostek přidržte pevně třeba pravítko. Ťukněte do první kostičky a porovnejte výsledek. Část kostek zůstala stát. Teď už umíte řetězovou štěpnou reakci řídit. Pravítko zafungovalo jako regulační tyč vašeho experimentálního dominového reaktoru.

Ve skutečném reaktoru zastávají funkci pravítka atomy tzv. absorbátory, které pohltí přebytečné neutrony. Absorbátor obsahují řídicí tyče a podle toho, jak velká část řídicích tyčí je zasunuta do aktivní zóny reaktoru, se reakce buď rozbíhá, nebo tlumí a zastavuje. V jaderném reaktoru elektrárny Temelín jsou řídicí tyče ze slitiny stříbra, kadmia a tabletek karbidu bóru.



Turbína jaderné elektrárny



Veźměte tenkou kovovou fólii, např. alobal, špendlík, dva korálky, dřevěnou tyčku a sestrojte větrník. To je vaše turbína. Veźměte konvici na vodu s hubičkou - čím užší hubička, tím lepší. To je váš parogenerátor. Veźměte vařič, lihový, plynový nebo elektrický - to je váš jaderný reaktor.

Postavte konvici na vařič, nalijte do ní trochu vody a uveďte do varu. V proudu horké páry, která tryská z hubičky, podržte turbínu dokud se neroztočí. V principu totiž všechny tepelné elektrárny fungují stejně - horká pára roztáčí turbínu a je lhostejno, zda zdrojem tepla pro výrobu páry je uhelný kotel, plynový hořák nebo jaderný reaktor. V tomto experimentu byl jaderným reaktorem váš vařič.

