

# ATOMOVÉ JÁDRO

## ATOM

- základní stavební částice hmoty dále již chemickými postupy nedělitelná
- skládá se z jadra a obalu

### Atomové teorie:

- o DÉMOKRITOS & LEUKIPPOS (řečtí filosofové; 5. stol. př.n.l.)
  - vyslovili názor, že hmota se skládá z nedělitelných částíček – atomů (řecky *atomos* = nedělitelný)
- o John DALTON (britský chemik; 1803) - **1. ATOMOVÁ TEORIE**
  - a) Prvky jsou složeny z velmi malých nedělitelných částíček – atomů. Atomy jednoho prvku jsou stejné, atomy různých prvků se liší svými vlastnostmi (hmotnost, ...).
  - b) V průběhu chemických reakcí dochází ke spojování, přeskupování nebo oddělování atomů aniž by se při tom atomy měnily na atomy jiného prvku, vznikaly či zanikaly.
  - c) Slučováním atomů dvou nebo více prvků vznikají molekuly chemické sloučeniny. V určité sloučenině připadá na atom jednoho prvku vždy stejný počet atomů jiného prvku. (např. ve vodě připadají na jeden atom kyslíku vždy dva atomy vodíku)

### Historie poznávání atomu - Modely atomů

- o Ernest RUTHERFORD (novozélandský fyzik; 1911) - **2. MODEL ATOMU = Planetární MA**
  - **objevitel jádra** atomu a **protonů**; atom rozdělil na velmi malé jádro ( $10^{-15}$  m) s prakticky veškerou hmotností atomu (99,9 %) a podstatně větší elektronový obal ( $10^{-10}$  m) se zanedbatelnou hmotností
  - kolem kladně nabitého jádra obíhají záporně nabitě elektrony, a to po kružnicích
  - nedostatky této teorie: podle zákonů klasické fyziky, by pohyb elektronu kolem jádra musel být doprovázen vyzařováním elektromagnetického vlnění, energie elektronu by klesala, zmenšoval by se poloměr dráhy, elektron by byl nakonec jádrem pohlcen, atom by zanikl;
  - !atom je ale velmi stabilní částice!

## ATOMOVÉ JÁDRO

- skládá se ze dvou elementárních částic – *protonů* & *neutronů*, ty společně tvoří jaderné částice – nukleony (kromě nich je známo více než 250 druhů dalších elementárních částic: foton, mezony, pozitrony, neutrino ...)

*Ve skutečnosti protony a neutrony nejsou elementární částice, jsou složeny z jednodušších částic – kvarky, známe 6 druhů kvarků, předpokládá se, že elementární částice z nichž se skládá svět kolem nás jsou kvarky a leptony (elektrony, pozitron, neutrino)*

- velikost:  $10^{-14}$  -  $10^{-15}$  m (relativní porovnání velikosti jádro-atom, třeba jako zrníčko máku a fotbalové hřiště)
- hmotnost: 99,9 % hmotnosti celého atomu

### PROTONOVÉ ČÍSLO ... Z

- udává počet protonů v jádře & elektronů v obalu u neutrálního atomu
- udává též pořadí prvků v PSP

### Proton ... ${}^1_1\text{p}$

- kladně nabitá částice
- náboj protonu:  $Q_p = e = 1,6021 \cdot 10^{-19}$  C
- klidová hmotnost protonu:  $m_p = 1,6725 \cdot 10^{-27}$  kg
- objevitel Rutherford 1920  
(termín proton-proton – první, jádro lehkého vodíku je proton)

Pozn.: e ... elementární náboj

- nejmenší samostatně existující náboj v přírodě (každý jiný je jeho násobkem)
- menší je parciální (částecný) náboj ...  $\delta$ 
  - vzniká v důsledku posunu vazby jako  $\delta^+$  a  $\delta^-$  tyto dva náboje bez sebe samostatně neexistují

### Elektron ... ${}^0_{-1}e$

- !!! není součástí jádra !!!
- záporně nabitá částice
- náboj elektronu:  $Q_e = -e = -1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- klidová hmotnost elektronu:  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  (v porovnání s hmotností nukleonu zanedbatelná asi 2000 krát menší)
- objevitel  $e^-$  Thomson 1897 (termín elektron znamená řecky – jantar)

### NEUTRONOVÉ ČÍSLO ... N

- udává počet neutronů v jádře (obvykle se neuvádí)
- neutronů může být v jádře odlišný nebo stejný počet jako protonů

### Neutron ... ${}^1_0n$

- částice bez náboje (neutrální)  $Q_n = 0$
- klidová hmotnost neutronu:  $m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  (o něco větší než u protonu)
- objevitel Chadwick 1932 (termín neutron odvozeno od *neuter* v překladu znamená žádný z obou)

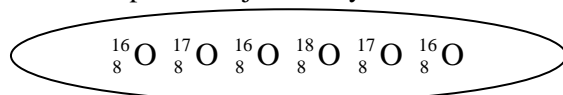
### NUKLEONOVÉ ČÍSLO ... A

- udává součet protonů + neutronů v jádře
- platí:  $A = Z + N$
- zápis:  ${}^A_ZX$  (např.  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{238}_{92}\text{U}$ , ...)

- na základě hodnoty N a Z lze rozlišit:

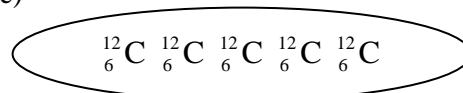
**PRVEK** – látka složená z atomů, jejichž jádra mají stejný počet protonů (stejný Z)

- neutronů při tom u jednotlivých atomů této látky může, nebo nemusí být stejný počet



**NUKLID** – látka složená z atomů, jejichž jádra mají určitý stejný počet protonů a určitý stejný počet neutronů (látka, jejíž atomy jsou naprosto shodné)

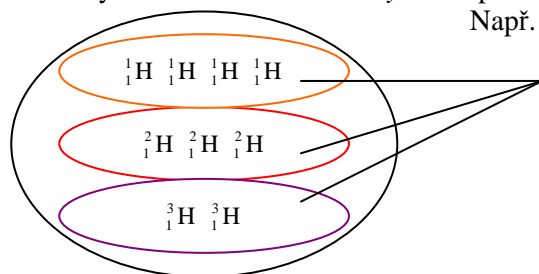
- atomy mají stejný náboj i hmotnost



**IZOTOPY** – atomy téhož prvku, které se od sebe liší pouze počtem neutronů v jádře □ souboru takových atomů se říká *nuklidy* téhož prvku

Např. **VODÍK**

3 nuklidy vytvořené ze 3 izotopů vodíku



${}^1_1\text{H}$  ..... *protium* (lehký vodík)

${}^2_1\text{H}$  ..... *deuterium* (těžký vodík)

${}^3_1\text{H}$  ..... *tritium* (*super těžký vodík*)

- většina prvků se v přírodě vyskytuje jako směs několika izotopů, z nichž jeden převažuje (vyjímka fluor- tvořen pouze jedním izotopem- MONONUKLIDICKÝ PRVEK)
- izotopy mají stejně chemické vlastnosti (díky stejnému Z, stejný počet protonů a hlavně elektronů, stejná konfigurace valenční vrstvy, která rozhoduje o chemických vlastnostech) ale mírně odlišné fyzikální vlastnosti (př. Hmotnost, t.v..)
- z % zastoupení izotopů daného prvku lze určit Ar (  ${}^{35}\text{Cl}$  – 75.4%,  ${}^{37}\text{Cl}$  – 24.6%)—výsledek 35.45

# STABILITA ATOMOVÉHO JÁDRA

## Hmotnostní úbytek (defekt) jádra ... $\Delta m$

- rozdíel teoreticky zjištěné hmotnosti jádra (součet hmotností jednotlivých nukleonů v jádře) a skutečné hmotnosti jádra (naměřené experimentálně)
- bylo zjištěno, že skutečná hmotnost jádra je vždy menší než součet hmotností nukleonů v jádře  
 $m_j'$  ... teoretická hmotnost jádra  
 $m_j$  ... skutečná hmotnost jádra

$$m_j' = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$$

$$m_j' > m_j$$

$$\Delta m = m_j' - m_j$$

- vysvětlení: *Einsteinova SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY* (STR), platí zde vztah mezi energií a hmotností téhož objektu:
- HMOTNOST A ENERGIE JSOU JEN RŮZNÉ VLASTNOSTI STEJNÉ HMOTY

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad c = 2.997\,924 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1} \quad \text{rychlost světla ve vakuu}$$

- při každé změně hmotnosti tělesa  $\Delta m$  se změně i energie tělesa o  $\Delta E$
- tvorba at. jádra z elementárních částic je proces při kterém se uvolňuje velké množství energie
- z Einsteinova vztahu vyplývá, že malému úbytku hmotnosti spojujících se částic odpovídá obrovské množství uvolněné energie
- při formování nového jádra z jednotlivých nukleonů dochází ke vzniku stabilnějšího (těsnějšího) útvaru, dochází ke změně (úbytku) hmotnosti, která je podle STR doprovázená vyzařením energie:

$$E_v = \Delta m \cdot c^2$$

## Vazebná energie jádra ... $E_v$

- veličina, která charakterizuje stabilitu jádra (všechna atomová jádra nejsou stejně stálá, o jejich stálosti rozhoduje poměr počtu neutronů a protonů; nejstabilnější jádra jsou jádra s  $A = 30$  až  $130$ )
- je to energie, která se uvolní při vzniku jádra z jednotlivých nukleonů nebo kterou je nutno dodat k rozštěpení jádra na jednotlivé nukleony
- jednotka: eV (elektrovolt) =  $1,6^{-19}$  J
- **čím je  $E_v$  větší, tím je jádro stabilnější**
- energie vazebná je neskutečně velká (milionkrát větší, než energie uvolňovaná při běžných reakcích), člověk ji dokáže využívat zatím jen částečně
- **je mírou stability jádra, čím je větší, tím je jádro stabilnější** a tím více se při jeho vzniku uvolní energie

# RADIOAKTIVITA

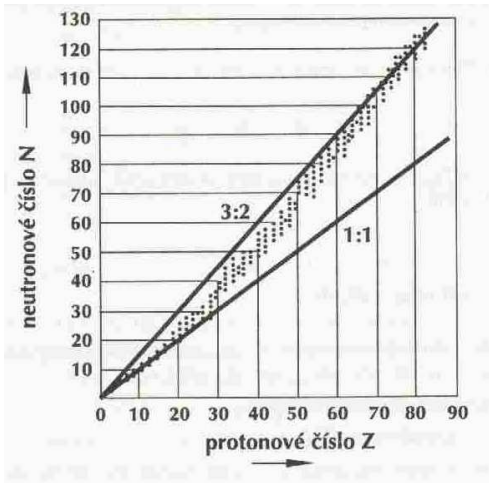
- jev, kdy se nestabilní jádra atomů SAMOVLNĚ rozpadají na stabilnější a vyzařují při tom NEVIDITELNÉ – PRONIKAVÉ – radioaktivní (JADERNÉ) záření
- v přírodě převažují stabilní prvky (neradioaktivní), ale existuje asi 50 radioaktivních nuklidů – **radionuklidů**
- **přírozená radioaktivita:**
  - týká se radioaktivních nuklidů, které se nachází volně v přírodě
  - objevitel: H. Becquerel (1896) – objevil ji v jáchymovském smolinci při zkoumání fluorescence při studiu minerálů obsahujících uran zjistil, že tyto látky vysílají záření, které proniká hmotou, působí na fotografickou desku, způsobuje ionizaci a tím i vodivost vzduchu

M. Curie-Sklodowská – zkoumala radioaktivitu a objevila další prvky (Po, Ra)

- spolu se svým manželem začali opoužítvat pojem radioaktivita
- záření  $\alpha$  a  $\beta$

- **umělá radioaktivita:** 1934 Irena Joliot Curie s manželem (Al + alfa záření --- radioak. P + n)
  - týká se radioaktivních nuklidů uměle připravených, nevyskytujících se v přírodě (známe více než 1000 umělých radionuklidů, vznikají působením záření na stabilní nuklidy)
  - záření  $\beta^+$  pozorované u těchto uměle připravených radionuklidů

- nukleony jsou k sobě v jádře vázány ohromnými **jadernými silami** (jejich podstata není úplně objasněna) s malým dosahem (asi  $10^{-15}$  m), mají odlišný charakter než elektrostatické síly, předpokládá se, že vazbu mezi nukleony zprostředkovávají elem. částice- mezony
- stálost jader závisí na poměru  $N$  a  $Z$
- s výjimkou vodíku a helia platí  $A \geq 2Z$ , 1:1 pro lehčí prvky (do  $Z=20$ ), 3:2 pro těžší prvky---
- **ŘEKA STABILITY JADER**

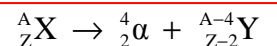


- PLATÍ: NESTABILNÍ JÁDRA: mají malý nebo naopak větší počet neutronů vzhledem k počtu protonů

## Radioaktivní záření – 3 druhy

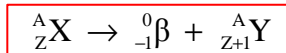
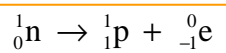
### ZÁŘENÍ $\alpha$

- **proud heliových jader ( $\alpha$  částic)** ...  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^4_2\alpha$  (kladně nabitá jádra helia složená ze dvou protonů a dvou neutronů)
- malá pronikavost- zachytí ho i list papíru či tenká hliníková folie
- malý dosah 2-8 cm, rychlost 10% rychlosti světla
- nejsilnější ionizační účinky (nebezpečné v trávicím ústrojí)-biologicky největší negativní účinky
- nuklid X vyzáří  $\alpha$  záření a vzniklý nuklid Y má A menší o čtyři jednotky a Z menší o dvě jednotky leží v PSP o dvě místa zpět oproti původní poloze (o dvě místa vlevo vzhledem k původní poloze)
- přeměna typická pro jádra těžkých kovů, (zapiš alfa přeměnu  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ )



### ZÁŘENÍ $\beta$

- asi stokrát pronikavější než záření  $\alpha$ , ale s menšími ionizačními účinky
- a)  $\beta^-$  ... **proud (záporně nabitých) elektronů**  ${}^0_{-1}e$
- elektrony se uvolňují z jádra přeměnou neutronu (jenž je sám o sobě nestabilní), ze kterého se stane proton, který zůstane v jádře, zatímco elektron jádro opouští jako  $\beta^-$  částice



- vzniklý nuklid má nezměněné A, ale o jeden proton navíc, je posunut o jedno místo vpravo oproti původní poloze
- typické pro jádra s nadbytečným počtem neutronů (zapiš: Pa s  $A=223$ ,  $Z=91$ )

b)  $\beta^+$  ... proud kladně nabitých elektronů = pozitronů (částic o stejné hmotnosti jako elektron nesoucí ale kladný náboj)  ${}^0_1e$

- Kladně nabitě elektrony se uvolňují z jádra přeměnou protonu, ze kterého se stane neutron, který zůstane v jádře, zatímco kladný elektron = pozitron jádro opouští jako  $\beta^+$  částice



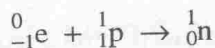
- vzniklý nuklid má nezměněné A, ale o jeden proton méně je posunut o jedno místo vlevo oproti původnímu
- typické pro jádra s nedostatkem neutronů tedy relativním nadbytkem protonů
- z lehčího protonu vzniká těžší neutron, nutno dodat energii, vyvoláno uměle- u uměle připravených radionuklidů (zapiš: beta + přeměnu: P, A=30, Z=15)

### ZÁŘENÍ $\gamma$

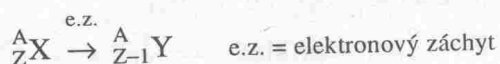
- elektromagnetické vlnění o velmi krátké vlnové délce (vysoké frekvenci) a s vysokou **E** – **proud fotonů** (můžeme se na ně dívat jako na „částice“, které mají nulovou klidovou hmotnost, pohybují se pouze rychlostí světla)
- nejpronikavější, nízko ionizující, z biologického hlediska není tak nebezpečné jako alfa, beta (obvykle však doprovází tato záření)
- uvolňuje se při výbuchu atomové bomby nebo elektrárny
- 50 % ho pohltí 1,3 cm tlustá vrstva olova (díky své velké hustotě)

### Elektronový záchyt

Přebytek protonů, diskutovaný v předcházejícím případě, může být odstraněn i tak, že proton, který je součástí jádra, zachytí některý elektron z elektronového obalu. Podle toho, ze které vrstvy byl elektron zachycen, je možné hovořit o záchytu K, záchytu L apod. (Jednotlivé vrstvy obalu se někdy označují písmeny K, L, M... , přičemž nejbližší jádru je vrstva K.) Probíhající děj vyjadřuje rovnice:



Celý proces přeměny jádra vyjadřuje následující obecná rovnice:



**Elektronovým záchytem vzniká nuklid, který je v periodické tabulce, vzhledem k původnímu prvku, posunut o jedno místo vlevo.**

■ **Tabulka č. 2.2: Charakteristika záření  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$**

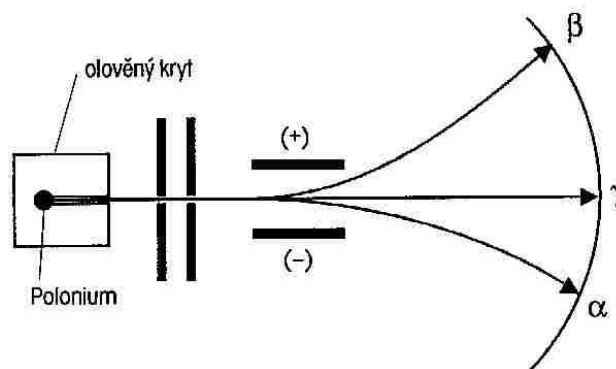
Druh záření	Složení	Náboj	Rychlost	Dolet	Pronikavost
záření $\alpha$	$2p + 2n$	+2	$10^7 \text{ m.s}^{-1}$	2 - 8 cm	malá, zadrží jej i list papíru
záření $\beta$	$e^-$	-1	30 - 99,8 % rychlosti světla	1- 100 cm	větší, zadrží jej vrstva Pb tloušťky 1,5 mm
záření $\gamma$	elektromagnetické vlnění	0	rychlost světla	desítky metrů	lze jen zeslabit olověnými deskami, betonovými kryty

## CHOVÁNÍ ZÁŘENÍ V EL. POLI:

$\alpha$  záření se odchyluje jen málo na jednu stranu směrem k záporné elektrodě. Jak prokázal Rutherford, je to proud částic identických s ionty helia  $\text{He}^{2+}$ .

$\beta$  záření se odchyluje mnohem více než záření  $\alpha$ , avšak na opačnou stranu. Jedná se o proud elektronů pohybujících se téměř rychlostí světla.

$\gamma$  záření se neodchylují v elektrickém poli vůbec. Podobně jako světlo představují elektromagnetické vlnění. Vlnová délka je velmi krátká, mají proto velkou schopnost pronikat hmotou.



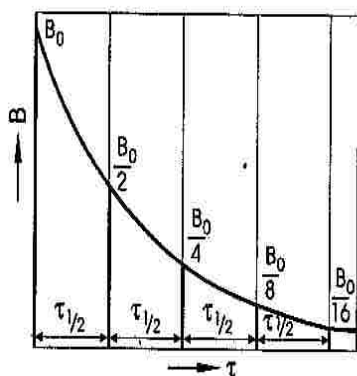
■ **Obr. č. 2.4: Chování záření  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  v elektrickém poli**

### Poločas rozpadu/přeměny ... $\tau$

- doba, za kterou se rozpadne polovina z přítomného počtu radioaktivních jader- je nezávislý na původním množství a není možné ho ovlivnit změnou vnějších podmínek např. teplotou, tlakem, závisí pouze na daném nuklidu,
- charakteristická konstanta každého radionuklidu (nezávisí tedy ani na fyzikálních ani na chemických vlastnostech, pouze na čase)

■ **Tabulka č. 2.3: Některé radionuklidy a jejich poločasy rozpadu**

Radionuklid	Poločas rozpadu	Radionuklid	Poločas rozpadu
$^{214}_{84}\text{Po}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1590 let
$^{210}_{81}\text{Tl}$	1,32 min	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,07 \times 10^8$ let
$^{206}_{81}\text{Tl}$	4,23 min	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,51 \times 10^9$ let
$^{210}_{83}\text{Bi}$	4,95 dní	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,39 \times 10^{10}$ let
$^{210}_{82}\text{Pb}$	22,3 let	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,25 \times 10^6$ let



schematické  
znázornění  
časového průběhu  
radioaktivní  
přeměny

#### zákon radioaktivní přeměny

- platí pro všechna záření
- počet částic vyzářených za jednotku času klesá, záření čím dál víc slabne
- čím rychleji se nuklid rozpadá, tím intenzivněji září

### Radioaktivní rozpadové řady

Při radioaktivním rozpadu mohou vznikat nuklidy, jejichž jádra ještě nejsou stálá, opět vysílají záření a dále se přeměňují. Tento proces trvá tak dlouho, dokud nevznikne neaktivní nuklid. Seřadíme-li jednotlivé radionuklidy vznikající jadernými přeměnami, získáme tzv. **radioaktivní rozpadovou řadu**. V přírodě existují tři rozpadové řady přirozené, čtvrtá rozpadová řada byla připravena uměle.

1. Uranová rozpadová řada začíná radioizotopem uranu  $^{238}_{92}\text{U}$  a končí stabilním izotopem olova  $^{206}_{82}\text{Pb}$ .
2. Aktinouranová (uran - aktiniová) rozpadová řada začíná radioizotopem uranu  $^{235}_{92}\text{U}$  a končí stabilním izotopem olova  $^{207}_{82}\text{Pb}$ .
3. Thoriová rozpadová řada začíná radioizotopem thoria  $^{232}_{90}\text{Th}$  a končí stabilním izotopem olova  $^{208}_{82}\text{Pb}$ .
4. Umělá neptuniová rozpadová řada začíná radioizotopem curia nebo plutonia  $^{241}_{96}\text{Cm}$  nebo  $^{241}_{94}\text{Pu}$  a končí stabilním izotopem bizmutu  $^{209}_{83}\text{Bi}$ .

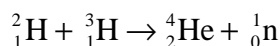
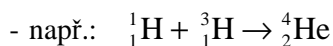
#### ▲ **Cvičení 2.2:**

▼ *Pokuste se sestavit uranovou rozpadovou řadu, ve které následují rozpady v tomto pořadí:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ .*

# JADERNÉ REAKCE – přeměny jader, které nastanou při srážkách jader s jinou částicí

## I) Syntéza jader- TERMONUKLEÁRNÍ REAKCE-FÚZNÍ REAKCE

- z jader lehčích (jádra s malým počtem nukleonů) vznikají jádra těžší (s velkým počtem nukleonů) a přitom se uvolní obrovské množství energie, mnohonásobně větší než při řetězových rcí



- jádra se k sobě přiblíží, převládají odpuzivé síly mezi jádry, k překonání tohoto jevu je zapotřebí dodat obrovské množství energie ( $10^7 - 10^9$  K), dochází k ionizaci látky na jádra, elektrony-  
PLAZMA

- probíhají zcela přirozeně uvnitř Slunce a hvězd, jsou pro ně obrovským zdrojem tepelné a světelné energie, na jejich základě vznikají prvky ve vesmíru

- k explozivní termonukleární reakci dochází ve vodíkové pumě, v níž se potřebné teploty dosáhne výbuchem atomové nálože

## II) Štěpení jader- ŠTĚPNÉ REAKCE

b) těžké jádro, ostřelované neutrony se po pohlčení neutronu okamžitě rozštěpí na dvě jádra lehčích prvků za současného vyzáření několika neutronů

c) uvolněné neutrony mohou za vhodných podmínek způsobit rozštěpení dalších jader těžkého prvku a vyvolat tak lavinovitou reakci, která má řetězový charakter

d) ve velmi krátkém čase se tak rozštěpí velké množství jader těžkého prvku a uvolní se obrovské množství energie

e) toto je podstata atomových explozí a atomové bomby

f) jako jaderné palivo se se využívají nuklidy U(235), Pu(239)

### a) řízená

✓ v atomových reaktorech probíhá řízená jaderná štěpná reakce

✓ štěpná reakce se stává zdrojem energie např. v atomových elektrárnách.

✓ Štěpení jader nuklidu  ${}^{235}\text{U}$  probíhá působením

pomalých neutronů-tzv. termické neutrony, které nejsou na rozdíl od rychlých neutronů pohlčeny jádrem bez jeho dalšího rozpadu

-- řídící tyče- pro řízenou reakci se používají různé materiály, které pohlcují neutrony – karbid boru, slitiny Cd

-- zpomalování neutronu- moderátory-grafit, těžká voda  $\text{D}_2\text{O}$

✓ štěpný materiál - v atomových reaktorech se používá - přírodní uran obohacený nuklidem  ${}^{235}\text{U}$  - přírodní uran je 99,3 %  ${}^{238}\text{U}$  a jen 0,7 %  ${}^{235}\text{U}$

- uvolněná tepelná energie se převádí na elektrickou

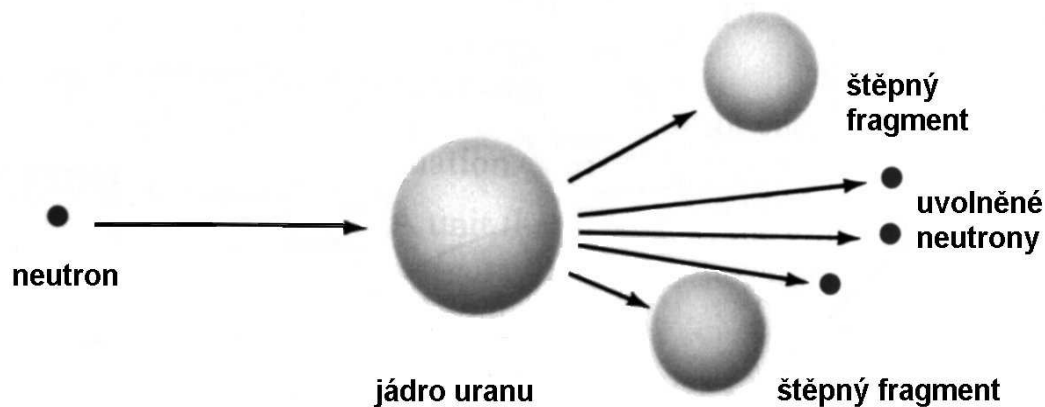
### b) neřízená

- v atomové bombě (poprvé vyzkoušena r. 1945, Hirošima a Nagasaki)

- vzniklé neutrony zahájí prudkou řetězovou reakci, exploze, uvolnění velké energie najednou

- např.: štěpení izotopu uranu  ${}_{92}^{235}\text{U}$





ostřelování  
neutrony

$k$  ... počet uvolněných neutronů (proměnlivý; většinou 3)

## Využití radionuklidů

- ✓ značkové sloučeniny- Na(23) – rychlost oběhu krve. místa hromadění tělních tekutin
- ✓ radiodiagnostika- lokalizace a zjištění rozsahu nádorového onemocnění P(32), I(131)- radioizotop se rychleji hromadí ve tkáni zhoubného nádoru než v tkáni zdravé
- ✓ radioterapie I(131)- hromadí se v štítné žláze, nádorové buňky jsou citlivější na záření než zdravé buňky
- ✓ sterilizace léčiv, která nesnášejí vysoké teploty-injekční stříkačky, jehly, obvazový materiál
- ✓ určení stáří materiálu C(14) 5730 let poločas rozpadu– vzniká rcí vzduš. N s neutrony- radiokarbonový test

- jaderné elektrárny, jaderné zbraně

- průmysl, defektoskopie = skryté vady materiálu (využívá se ten z izotopů Co, který vyzářuje záření  $\gamma$ )

**M.Haminger – BiGy - 2012**

