

## 5. JADERNÁ ENERGIE

### 5.1. JADERNÉ SÍLY A JADERNÁ ENERGIE

**Protonové číslo** – počet protonů v jádře atomu

**Nukleonové číslo** – počet nukleonů (protonů a neutronů) v jádře atomu

**Prvky** – látky složené z atomů se stejným protonovým číslem.

**Nuklidy** - látky složené z atomů se stejným nukleonovým číslem.

**Izotopy** – atomy téhož prvku lišící se nukleonovým číslem.



Proč se atom nerozpadne? V jádře přece na jednotlivé protony působí odpuzivé síly! Přesto drží pohromadě. Ukazuje to na fakt, že v jádře musí působit obrovské přitažlivé jaderné síly, které jsou milionkrát větší než síly odpuzivé a svědčí o obrovské energii uvnitř jádra.

V roce 1896 francouzský fyzik **A. H. Becquerel** objevil, že uranová ruda zvaná smolinec (z českého Jáchymova) vyzařuje neviditelné záření – zjistil to po expozici fotografické desky, na kterou ten smolinec položil. Manželé **Curieovi** porovnali záření vycházející z čistého uranu a ze smolince a usoudili, že smolinec musí obsahovat ještě nějaké další prvky schopné vyzařovat toto záření. Objevili tak další dosud neznámé prvky – polonium a radium. Všichni tři dostali roku 1903 Nobelovu cenu.



Schopnost některých prvků vyzařovat toto záření se nazývá **radioaktivita** – přirozená nebo umělá.

Některé nuklidy mají schopnost samovolně toto záření vyzařovat a mění se tak na jiné prvky. Jsou to **přirozené radionuklidy** – uran, radium, v přírodě je jich asi 50.

Některé nuklidy k přeměně lze donutit nebo je lze vyrobit – **umělé radionuklidy** – je jich několik tisíc (problematické plutonium) a hojně se využívají ve vědě, technice a lékařství.

Důležitou vlastností radionuklidů je **poločas přeměny** – doba za kterou se přemění polovina z celkového počtu jader v daném množství radionuklidu.

Radon – 3,8 dne

Radium – 1 620 let

Uran 238 – 4,5 miliardy let

Jedovaté plutonium 239 – 24 000 let

Radiouhlík C 14 – 5 730 let

## 5.2. ŠTĚPENÍ JADER URANU

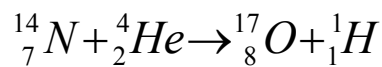
Při chemických reakcích se atom nemůže přeměnit na jiný atom, prvky se nemohou měnit v jiné, proto sen alchymistů měnit obyčejné kovy ve zlato byl nemožný.

Při srážkách atomových jader letících proti sobě obrovskou rychlostí však může docházet k jaderným reakcím. Při nich se jedno jádro může měnit na jiné. Přitom se uvolní obrovské množství jaderné energie ve formě radioaktivního záření. Tuto energii se snažíme získat.

Jaderné reakce dělíme na:

### PŘEMĚNA

Anglický fyzik Rutherford – 1908 Nobelova cena za chemii za výzkum radioaktivity  
1911 objevil atomové jádro a stal se zakladatelem jaderné fyziky  
1919 - první jaderná reakce – přeměnil dusík na kyslík



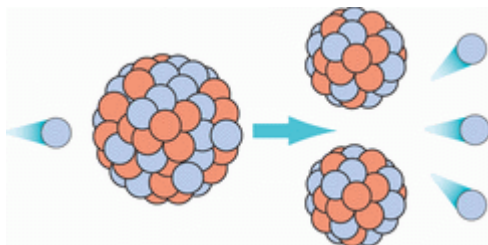
tato reakce nebyla moc efektivní neboť získaná energie byla menší než vynaložená energie na přeměnu, navíc to bylo velmi nákladné.

### SYNTÉZA

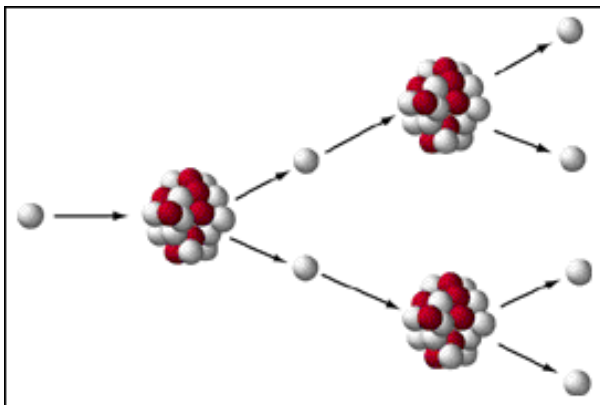
Probíhá v jádře Slunce, dva prvky se slučují v jeden (vodík) a přitom uvolňují obrovské množství energie, je potřeba vysokých teplot (asi milion °C) – na Zemi nerealizovatelné. Za zemských podmínek probíhá slučování (termonukleární reakce) při výbuchu vodíkové bomby.

### ŠTĚPENÍ

Jde o jadernou reakci, při které se atom prvku srazí s nějakou částicí, ta pronikne do jádra atomu, rozdělí ho a prvek se rozštěpí na dva jiné atomy.



### 5.3. ŘETĚZOVÁ REAKCE, JADERNÝ REAKTOR



Při štěpení se mohou uvolňovat další štěpící částice - neutrony. Ty pak mohou po zpomalení narážet do dalších prvků a štěpit je ... vzniká **řetězová reakce**. K zahájení reakce je potřeba tzv. kritické množství štěpného materiálu. Pro uran 235 to je asi 44,5 kg. Reakcemi se uvolňuje kolem 200 MeV energie.

1939 – němečtí vědci objevili řetězovou reakci

Uran 238 není štěpná látka, obsahuje ovšem uran 235 (0,7%), který je pro štěpení ideální. Stejně jako plutonium 239 nebo uran 233, který vzniká v jaderných reaktorech z thoria 232 (to se vyskytuje běžně v přírodě a při jeho štěpení nevzniká nebezpečné plutonium).

Řetězovou reakci je možno uskutečnit jen s uranem 235 a 233 a s plutoniem 239 a 241. V přírodní směsi uranu 235 a uranu 238 obvykle bývá kolem 0,72 % uranu 235. Je to málo, proto se uran obohacuje na vyšší koncentraci uranu 235. Další štěpné materiály se vyrábějí ozařováním neutrony v jaderných reaktorech.



Při štěpení vniká do jádra uranu 235 neutron, rozštěpí ho na dvě jádra přibližně poloviční velikosti, kromě toho se uvolní 2 až 3 další neutrony, ty mohou štěpit další jádra uranu. Celý proces má podobu laviny – štěpení probíhá čím dál rychleji.

Je-li množství štěpné látky dostatečné (větší než kritické), má řetězová reakce charakter jaderného výbuchu.

Při kritickém množství je průběh řetězové reakce kontrolovatelný a lze zpomalit. Přitom ale vzniká nebezpečný radioaktivní odpad.

Štěpení jader atomů uranu se stalo základem činnosti **jaderných reaktorů**.

První jaderný reaktor - 1942 američtí vědci pod vedením italského fyzika E. Fermiho.

Jaderný reaktor pracuje při teplotě několika set °C a obsahuje:

PRIMÁRNÍ OKRUH

**aktivní zóna** ... místo, kde dochází k samotné řetězové reakci, je umístěná v tlakové nádobě a obsahuje:

- **palivové články** – uranové tyče nebo tablety zabudované do kovových pouzder
- **moderátor** (voda nebo grafit) – zpomalují velmi rychlé neutrony, aby měli čas proniknout do jádra a rozštěpit ho
- **regulační tyče** (z kadmia nebo oceli s příměsí boru) – ovládají rychlost řetězové reakce pohlcováním nadbytečných neutronů. Zasouváním a vysouváním těchto tyčí z aktivní zóny se mění výkon reaktoru.
- **havarijní tyče** – v případě velkého nárůstu počtu neutronů nebo jiného ohrožení se automaticky zasunou do aktivní zóny a zastaví řetězovou reakci uvolněná energie ohřívá vodu, ta koluje uzavřeným





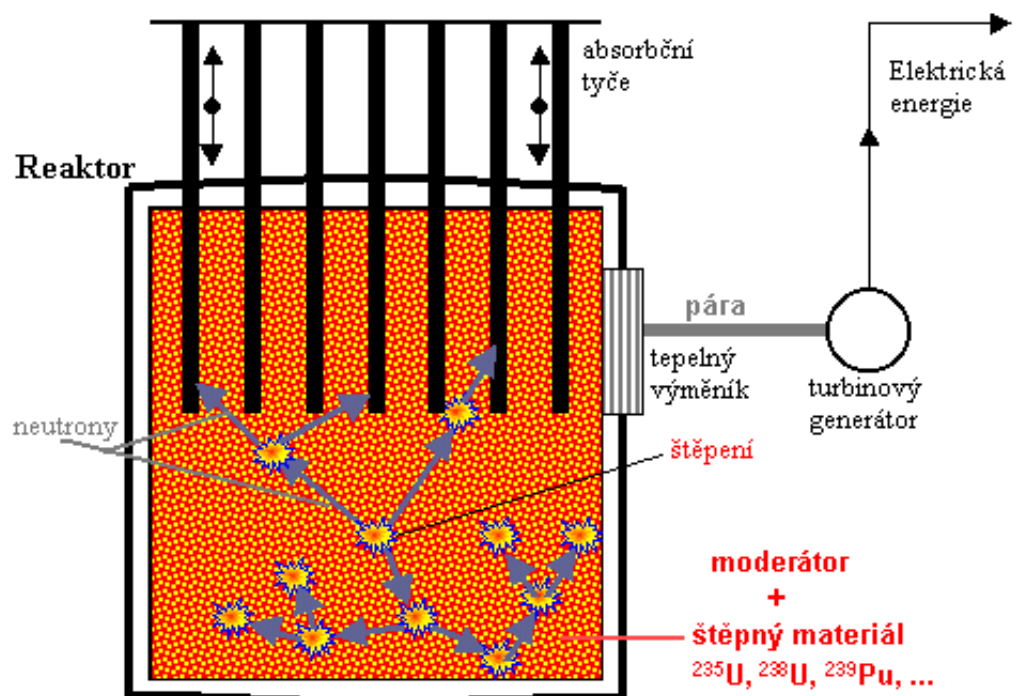
primárním okruhem a odevzdává část své energie v parogenerátoru a vrací se zpátky do aktivní zóny mírně ochlazená.

#### SEKUNDÁRNÍ (PARNÍ) OKRUH

v parogenerátoru vznikla pára, která je vedena na turbíny, ty roztáčejí a vyrábí tak elektřinu, pára opouštějící turbínu se zkapalňuje a ochlazuje uvnitř vysokých chladících věží, vznikající teplá voda se pak dá ještě použít na např. vytápění domů, ...

Pozn. 1kg uranu uvolní tolik energie co 25 tun uhlí

Při jaderných reakcích se uvolňuje asi jen 1% energie obsažené v látce. Fyzika teoreticky ví jak získat všechno – reakcí částice s antičásticí (opačný dvojník), obě totiž zaniknou a všechna jejich energie se uvolní (+gama záření)



## 5.4. POUŽITÍ ŠTĚPENÍ V PRAXI

Kromě toho, že se radionuklidy využívají v jaderných reaktorech k jejich štěpení a následnému získání energie, lze je použít i v jiných oborech.

Lékařství:

- diagnostika nemocí
- kontrola správné činnosti orgánů – plíce ... radioaktivní indikátor ... pacient vdechne malé množství nezávadného radionuklidu a jeho průchod plícemi se sleduje
- vyšetřování a léčení štítné žlázy
- ozařování zhoubných nádorů
- léčba revmatických chorob
- výroba léčiv
- sterilizace chirurgických nástrojů, obvaziva, ...



Zemědělství:

- ozařování potravin – ničení látek způsobující kažení potravin ... plísně, bakterie jako je salmonela, ...
- zjišťování přítomnosti toxických látek v potravinách z blízkosti silnic, ...
- metoda značených atomů – zjišťování koloběhu některých prvků v rostlinách a živých organismech .. stačí použít malé množství radionuklidu a měřit záření, které na své cestě organismy vydává (přítomnost draslíku v rostlinách, jódu ve štítné žláze, krevní oběh, ...)
- sledování pohybu škodlivých látek v životním prostředí



Archeologie a historie:

- Zjišťování stáří hornin, vykopávky, ověřování pravosti starých předmětů pomocí radiouhlíkové metody ... zjišťuje se množství radiouhlíku v látce a z toho lze usoudit na stáří

Chemie:

- chemické složení látek
- barvení skel ozářením vhodným radionuklidem

Technika:

- struktura materiálu, odhalování skrytých vad materiálu ... defektoskopie
- opotřebenosti součástí strojů
- ověřování kvality výrobků
- správně svařené spáry u potrubí
- měření objemového průtoku vody v potrubí
- čistota vody
- hlásiče požárů – čidlo nebo radioaktivní zářič
- svítící součástky hodinek
- jaderné elektrické baterie ... použití v kosmu a na odlehlých místech, kde není k dispozici jiný zdroj, staví na tom, že se radionuklidy samy zahřívají
- dozimetrie – kontrolní měřicí přístroje zaznamenávají sílu radioaktivního záření

## 5.5. DRUHY JADERNÉHO ZÁŘENÍ, NIČIVÉ ÚČINKY.

### Záření alfa:

- je tvořeno alfa částicemi, což jsou jádra atomu hélia
- málo pronikavé
- zastaví ho list papíru nebo tenká vrstva vzduchu
- nebezpečné při vdechnutí či sněžení
- hromadí se v nevětraných prostorech zděných budov (radioaktivní radon)

### záření beta:

- je tvořeno zápornými elektrony nebo kladnými pozitrony
- pronikavější a nebezpečnější než alfa
- zastaví ho tenká vrstva hliníku (alobal)

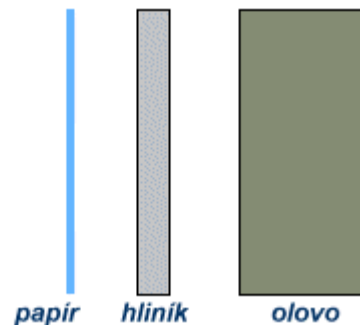
### záření gama:

- obdoba roentgenova záření
- pronikavější a nebezpečnější než beta
- zastaví ho např. vrstva olova

### záření neutronové:

- nejpronikavější a nejnebezpečnější
- je tvořeno neutrony
- vzniká v jaderných bombách i reaktorech
- pohltí ho silná vrstva vody nebo betonu

$\alpha$   
 $\beta$   
 $\gamma$



## NIČIVÉ ÚČINKY A KATASTROFY

### Jaderný výbuch:

- představuje velmi rychle proběhlou jadernou reakci (štěpení), při které se uvolní obrovské množství energie.
- má ničivé účinky na rozsáhlé okolí místa, kde k němu došlo.
- je to způsobeno vysokou teplotou, prudkými změnami tlaku (tlaková vlna) a radioaktivním ionizujícím zářením.

### Princip jaderné bomby:

- 2 kusy uranu nebo plutonia o hmotnosti menší než kritická jsou udržovány od sebe vhodným mechanickým zařízením
- explozí klasické výbušniny jsou oba kusy vrženy proti sobě, po spojení vznikne nadkritické množství a řetězová reakce proběhne ve zlomku sekundy, uvolní se obrovské množství energie a látka se zahřeje na teplotu mnoha milionů °C

### Havárie:

1957 – Velká Británie ... bez ztrát na životech

1979 – USA ... bez ztrát na životech

26. 4. 1986 – Černobyl (UKR) – výbuch 4 bloku, zahynulo několik set lidí, převážně požárníků, spousta dalších ozářena

### Jaderné zbraně:

1945 – Nagasaki a Hirošima – vyžádaly si asi 200000 až 300000 obětí, někteří zemřeli přímo, další na následky ozáření

1951 – vodíková bomba – USA

1953 - vodíková bomba – SSSR

1964 – mezinárodní konference – dohodnut zákaz zkoušek jaderných zbraní



## L4 - POLOČAS ROZPADU (poločas přeměny)

### Příprava:

Radionuklidy se dělí na:

1. ....
2. ....

Poločas rozpadu je .....

Poločas rozpadu závisí na .....

Hodnota poločasu rozpadu:

Uhlík  $^{14}\text{C}$

Uran  $^{235}\text{U}$

Uran  $^{238}\text{U}$

Plutonium  $^{239}\text{Pu}$

Radon  $^{222}\text{Rn}$

### Pomůcky:

#### Postup a řešení (provedení pokusu):

Radioaktivní rozpad probíhá bez vnějšího zásahu, a proto se dá modelovat házením mincí. V obou případech totiž může nastat jen jedna ze dvou možností: jádro se buď rozpadne (při hodu mincí padne "hlava"), nebo se nerozpadne (padne "orel").

Nachystej si tabulku pro počty mincí po jednotlivých hodech (každý hod představuje jeden proběhlý poločas rozpadu, pokud bude potřeba více sloupců, doděleš si je).

	0T	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T
1. pokus								
2. pokus								
3. pokus								
4. pokus								

Připravte si 64 mincí, které představují počáteční počet radioaktivních, tj. dosud nerozpadlých jader. Do prvního sloupce tabulky запиšte jejich počet.

Pokus pak bude probíhat takto: postupně hodiš všemi mincemi a ty mince, na kterých padla "hlava", odložíš stranou - jedná se o rozpadlá jádra. Mince, na kterých padl "orel", sečti a výsledek запиš do druhého sloupce tabulky. Těmito mincemi budeš opět házet a mince, na kterých padla "hlava", zase odložíš stranou. Mince, na kterých padl "orel", sečteš a výsledek запиšeš do třetího sloupce tabulky. Takto budeš pokračovat tak dlouho, dokud na všech mincích nepadne "hlava" (i poslední jádro z původního souboru se rozpadlo).

Celkem to zopakuješ čtyřikrát, a ne vždy to vyjde stejně!!!

### Výpočty:

Jak dlouho bude tedy daná látka radioaktivní? Vypočítej, za jak dlouho přestane být 64 radionuklidů dané látky radioaktivní - k tomu je potřeba vědět jen počet proběhlých přeměn a poločas rozpadu dané látky (vyber si jednu z látek uvedených v přípravě a vypočítej časy u jednotlivých pokusů)

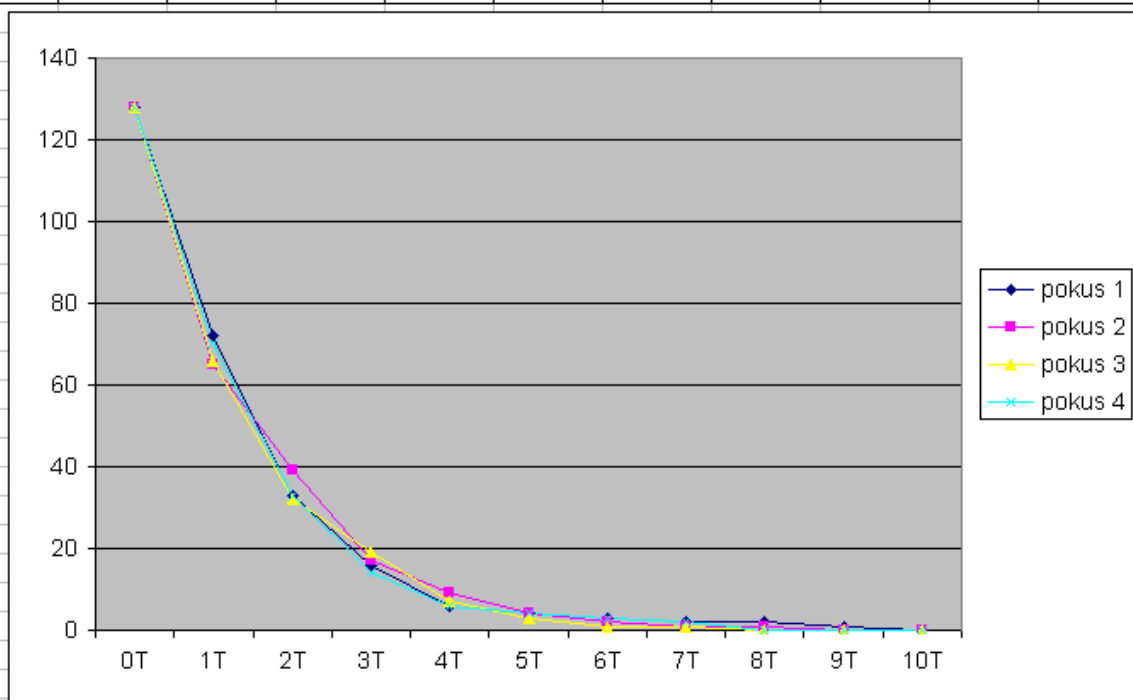
### Graf:

V Excelu si nachystej tabulku, a k ní pak vytvoř graf, který bude znázorňovat jednotlivé pokusy na rozpady radionuklidů.

Graf odevzdáš v elektronické podobě nebo jej přilož k protokolu.

Graf s tabulkou můžou vypadat např. takto (platí pro 128 mincí):

	0T	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T	10T
<b>pokus 1</b>	128	72	33	16	6	4	3	2	2	1	0
<b>pokus 2</b>	128	65	39	17	9	4	2	1	1	0	0
<b>pokus 3</b>	128	66	32	19	7	3	1	1	0	0	0
<b>pokus 4</b>	128	70	33	14	6	4	3	2	0	0	0



### Závěr - napiš:

Co platí pro poločas rozpadu? K čemu přitom dochází? Je vždy stejný? Pouvažuj, co tedy plyne z naměřených hodnot pro dané radionuklidy v jednotlivých pokusech? Jak se změní doba nebezpečnosti při větším množství radionuklidu?



## Jaderná fyzika

Různé atomy se liší počtem jednotlivých částic. Atomy různých prvků se liší svým protonovým číslem, atomy jednoho prvku se mohou lišit nukleonovým číslem.

protonové číslo Z označuje - .....

nukleonové číslo A označuje - .....

**Nuklid** je látka složená z atomů, které mají .....

**Izotop** je látka složená z atomů, které mají .....

Které síly nazýváme jaderné síly?

Mění se jádro atomu při:

- chemické reakci
- jaderné reakci

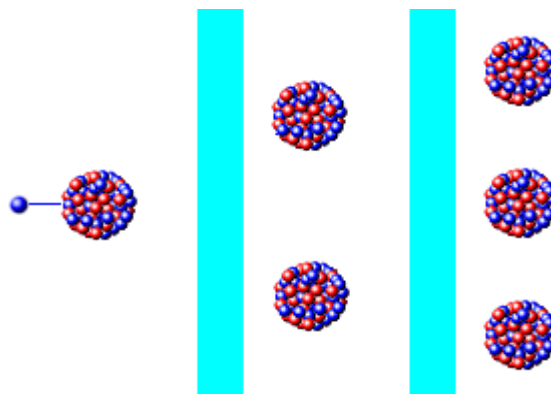
Co je to radioaktivita?

Jak dělíme radionuklidy? Uveď i příklady.

Jaderné reakce můžeme rozdělit podle různých kritérií, například podle vztahu mezi původními a vzniklými jádry, a to na:

- ..... ,  
přišel na ni ....., jeho reakce byla  ${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \ggg {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{p}^1$
- ..... ,  
je základem jaderné energetiky, např.:  ${}_{92}\text{U}^{235} + {}_0\text{n}^1 \ggg {}_{56}\text{Ba}^{144} + {}_{36}\text{Kr}^{89} + 3 {}_0\text{n}^1$
- ..... ,  
probíhají velmi dobře na Slunci, potřebuje velmi vysokou teplotu, např.:  ${}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^2 \ggg {}_2\text{He}^3$

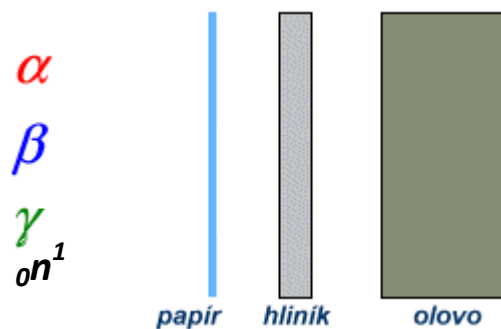
Vysvětli štěpení a řetězovou reakci pomocí obrázku.



## Druhy jaderného záření a jaderné elektrárny



Jaké jsou druhy jaderného záření? Čím jsou tvořeny? Jakou mají pronikavost? Naznač do obrázku.



Ionizující záření našlo uplatnění v nepřeberném množství různých aplikací. Používané radionuklidy se získávají buď z materiálů vykazujících přírodní radioaktivitu, nebo se připravují ozařováním v reaktorech nebo urychlovačích. Kromě toho je možné radionuklidy získat i z vyhořelého paliva jaderných reaktorů.

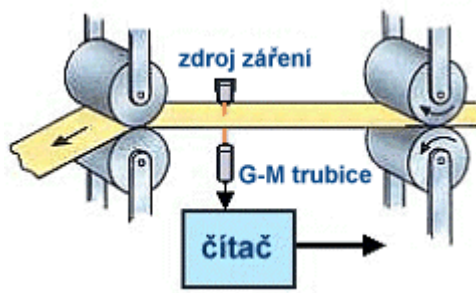
- využití v průmyslu - .....



Radioaktivní zářič



Hlásič kouře



Měření tloušťky

- využití ve zdravotnictví - .....



Počítačový tomograf

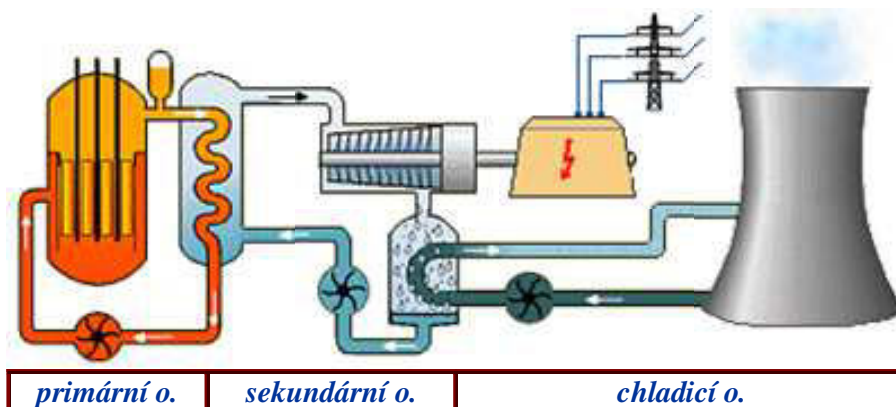
- využití v zemědělství - .....

- využití v archeologii - .....

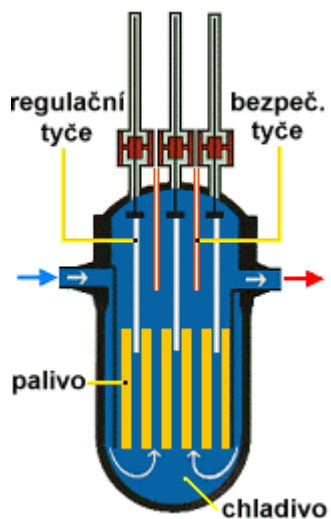
- využití v dalších oblastech - .....

Popiš přeměny energie v jaderné elektrárně.

Popiš složení jaderné elektrárny, vyjmenuj, z čeho se skládají jednotlivé okruhy:



Popiš funkci věcí v reaktoru. Náповěda je na obrázku.

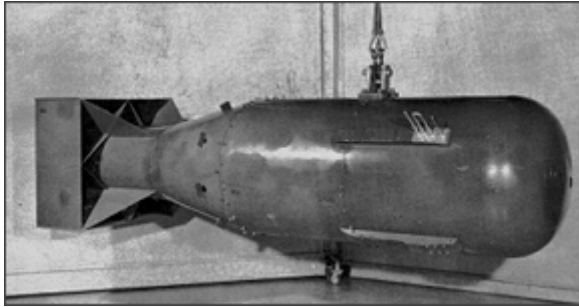


## Účinky

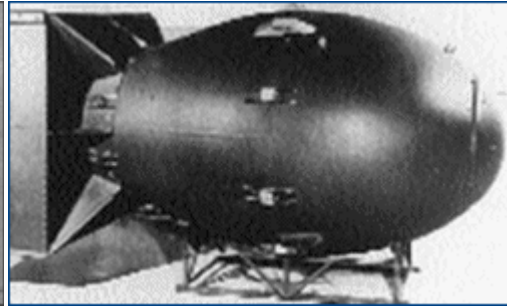
Při výbuchu jaderné bomby vznikají ničivé účinky. Vyjmenuj je.



V historii byly použity dvě jaderné bomby, které vidíš na obrázcích. Na které města byly svrženy a jaké účinky měly.



**Little Boy**



**Fat Man**

Které nežádoucí účinky má provoz jaderné elektrárny a tepelné elektrárny na životní prostředí?

## Poruchy a havárie

Bezpečnost jaderných elektráren a jiných jaderných zařízení je pod neustálou a velmi přísnou mezinárodní kontrolou. I když v jaderných elektrárnách dochází k nepatrnému počtu poruch a nehod, jsou mnohem sledovanější než daleko častější a závažnější poruchy a neštěstí v jiných oblastech (průmysl, doprava). Jaderné události se hodnotí sedmibodovou stupnicí Mezinárodní agentury pro atomovou energii ve Vídni:

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....

- 5. ....
- 6. ....
- 7. ....

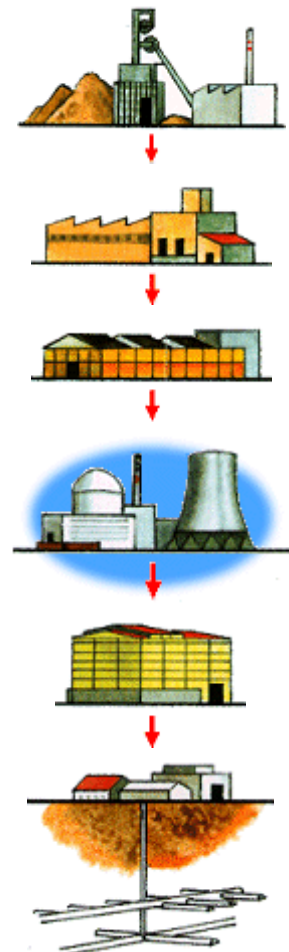
## Stín Černobyly

V noci ..... došlo v Černobylské jaderné elektrárně na Ukrajině k závažné havárii nejvyššího stupně. Vinou nesmírně riskantního a neodborně provedeného experimentu s vyřazeným bezpečnostním systémem reaktoru došlo k prudkému zvýšení tepelného výkonu, přehřátí a explozi páry v reaktoru. Do vzduchu se při následném požáru dostalo 5 tun radioaktivních látek, které větry rozšířily až nad Skandinávii, střední Evropu a Balkán. Katastrofa si vyžádala 31 obětí, přes 200 lidí onemocnělo nemocí z ozáření a vysoké dávky zasáhly další tisíce lidí.

Jak to tam vypadá v současnosti?

Které další katastrofy znáš?

Popiš palivový cyklus, nápověda je na obrázcích.





## Odpověz na otázky:

1. Chemický prvek je určen ...
2. Během 2 poločasů přeměny se přemění ...
3. Záření alfa je ...
4. Záření beta vzniká ...
5. Náboj elektronu je stejně velký ...
6. Izotopy téhož prvku se liší ...
7. Defektoskopie je ...
8. Elektron objevil ...
9. Existenci atomového jádra dokázal ...
10. V neutrálním atomu je počet elektronů ...
11. Rychlost světla ve vakuu je ...
12. Moderátor v reaktoru slouží ...
13. Regulační a bezpečnostní tyče ...

## Doplň pár fakt z historie:

- 1895 ▶ Wilhelm Conrad Röntgen objevil .....
- 1896 ▶ Antoine Henri Becquerel objevil ..... uranových solí.  
▶ Rentgenové záření se začalo využívat v .....
- 1898 ▶ Marie a Pierre Curieovi objevili nové .....
- 1899 ▶ Ernest Rutherford objevil dva typy záření - .....
- 1911 ▶ Ernest Rutherford dokázal, že atom má .....
- 1932 ▶ James Chadwick objevil .....
- 1934 ▶ Irena a Frederic Joliot-Curieovi objevili .....
- 1938 ▶ Otto Hahn **rozštěpil** .....
- 1942 ▶ V USA byly zahájeny práce na zkonstruování .....
- ▶ 2. prosince uvedl E. Fermi do provozu .....
- 1952 ▶ Pokusný výbuch první .....
- 1954 ▶ První ..... začala dodávat elektřinu do veřejné sítě.
- 1985 ▶ Jaderná elektrárna ..... zahájila provoz.
- 1986 ▶ ..... (Ukrajina).
- 2002 ▶ První blok jaderné elektrárny ..... byl uveden do zkušebního provozu.

## Umíš odpovědět – jaderná energie

1. Co je to radioaktivita?
2. Jaký je rozdíl mezi přirozenou a umělou radioaktivitou?
3. Co je to izotop? Co je to nuklid? Co je to prvek?
4. Jaké druhy jaderných reakcí známe? Co o nich víš?
5. Co je to řetězová reakce a jak probíhá?
6. Jaké jsou druhy jaderného záření?
7. Kde se v praxi používá jaderné záření?
8. Z čeho se skládá jaderný reaktor?
9. Jaké jsou ničivé účinky jaderných zbraní?
10. Jaké znáš jaderné katastrofy?

## Znáš odpověď?

1. Jádra hélia tvoří záření \_\_\_\_\_.
  - a. alfa
  - b. beta
  - c. gama
  - d. neutronové
2. Mezi objevitele radioaktivity nepatří \_\_\_\_\_.
  - a. Becquerel
  - b. Rutherford
  - c. Currie
  - d. Einstein
3. První jadernou bombu vyrobili v \_\_\_\_\_.
  - a. Velké Británii
  - b. USA
  - c. Německu
  - d. Číně
4. Mezi jaderné reakce nepatří \_\_\_\_\_.
  - a. štěpení
  - b. syntéza
  - c. transmutace
  - d. oxidace
5. První jaderný reaktor vyrobil \_\_\_\_\_.
  - a. Fermi
  - b. Einstein
  - c. Bohr
  - d. Currie
6. Látka, jejíž atomy mají stejný počet protonů se nazývá \_\_\_\_\_.
  - a. prvek
  - b. sloučenina
  - c. směs
  - d. molekula
7. Jak se nazývá izotop vodíku  ${}^2_1\text{H}$ ?
  - a. deuterium
  - b. tritium
  - c. deuterium
  - d. nonium