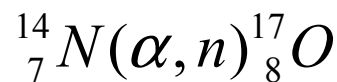
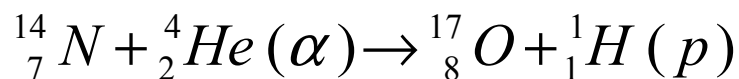
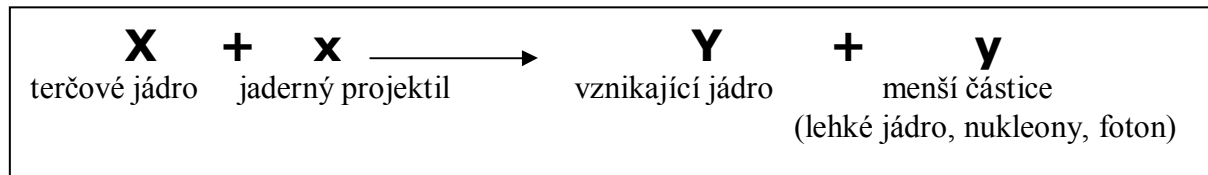


## 6. JADERNÉ REAKCE

Jadernou reakcí se rozumí **binukleární proces přeměny jádra**.

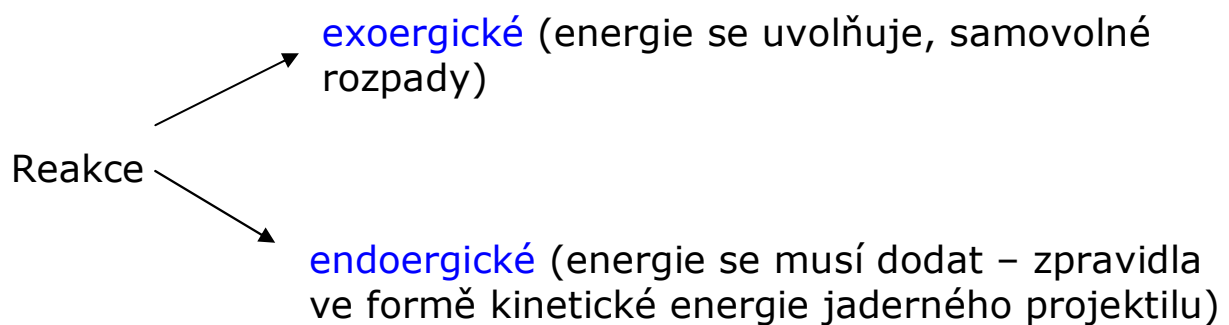


### Platí:

- zákony zachování nábojového, nukleonového, protonového čísla
- energie
- hybnosti

Zkrácený zápis jaderných reakcí umožňuje snadné členění reakcí na reakce typu: **( $\alpha, p$ ); ( $\alpha, n$ ); ( $n, \gamma$ ); ( $d, p$ ),** aj.

### A) Energetika jaderných reakcí



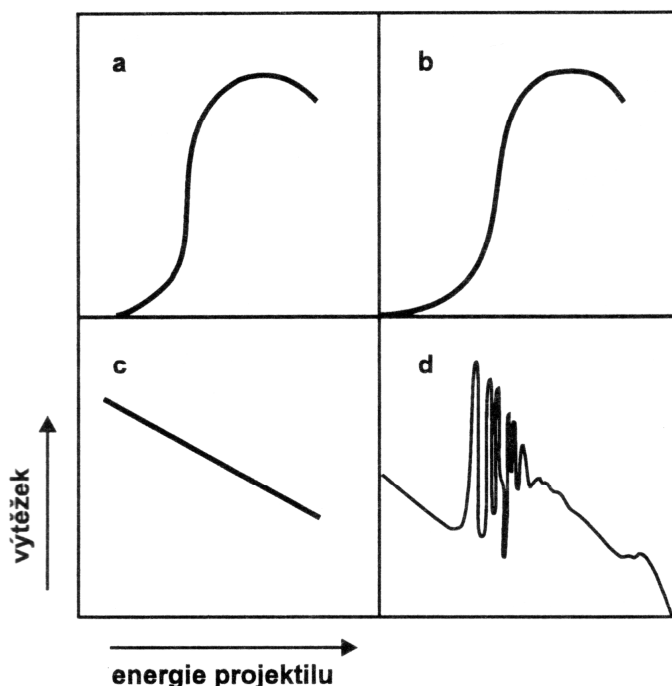
Rozhodující je porovnání klidových hmotností částic před reakcí a po ní:

$$Q = -931,5 \Delta m \quad (\text{v MeV})$$

**(energie 931,5 MeV je ekvivalentní hmotnostní jednotce)**

Reakce proběhne, jestliže má projektil tzv. **prahovou energii** – (její velikost lze odvodit ze zákona zachování hybnosti)

- výtěžek jaderné reakce při prahové energii projektilu je malý
- prakticky se reakce provádí s jaderným projektilem o vyšší energii, než je energie prahová
- výtěžek jaderné reakce je funkcí energie jaderného projektilu (excitační funkce)



Excitační funkce jaderných reakcí: a – endoergická reakce; b – exoergická reakce kladných projektilů; c – exoergická reakce neutronů; d – reakce s rezonancemi.

- exoergické reakce nemívají prahovou energii

- u kladných projektilů je však nutná jistá kinetická energie, aby se překonala coulombická bariéra
- exoergické reakce neutronů probíhají s největším výtěžkem při nulové kinetické energii neutronů
- někdy se pravděpodobnost reakce zvyšuje – rezonance (odpovídá např. energetickým hladinám nukleonů apod.)

## B) Charakteristiky jaderných reakcí

**Okamžitá rychlost jaderné reakce** = časová změna (přírůstek) počtu atomů vznikajícího nuklidu ( $N^*$ )

$$R = \frac{dN^*}{dt} \sigma \phi N$$

$\phi$  - tok částic (počet projektilů dopadajících na plošnou jednotku terče za časovou jednotku)

$N$  - počet terčových jader

$\sigma$  - účinný průřez [ $m^2$ ] – závisí na energii projektilu, na typu jaderné reakce a na excitační funkci (zpravidla se liší svou hodnotou od geometrického průřezu)  
-vyjadřuje pravděpodobnost zásahu terč. jádra

Reakce	$\sigma$ ( $m^2$ )	Pozn.
$^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$	$3,8 \cdot 10^{-25}$	pomalé neutrony
$^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{U}$	$2,7 \cdot 10^{-28}$	pomalé neutrony
$^{249}\text{Cf}(^{15}\text{N},4n)^{260}\text{Rf}$	$3 \cdot 10^{-33}$	vliv coulombické bariéry

**Výtěžek jaderné reakce** = poměr počtu vznikajících atomů k počtu projektilů dopadajících na terč (plocha terče je  $S$ )

$$B = \frac{dN^*}{dt} \cdot \frac{1}{\phi S} = \frac{\sigma N}{S}$$

- velké výtěžky jsou typické pro exoergické reakce pomalých neutronů
- výtěžek reakce se zpravidla vyjadřuje **aktivitou** vzniklého radionuklidu

**Kinetika jaderné reakce** = závislost počtu atomů vzniklých jadernou reakcí ozařováním ( $N^*$ ) na době ozařování

$$N^* = Rt = \sigma \phi N t$$

Vzniká-li radioaktivní nuklid, dochází během ozařování k jeho rozpadu

$$\frac{dN^*}{dt} = R - \lambda N^*$$

---

$N^* = \frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$	$A = R(1 - e^{-\lambda t})$
------------------------------------------------	-----------------------------

---

- aktivita vznikajícího nuklidu roste zpočátku poměrně rychle
- během delšího ozařování člen  $(1 - e^{-\lambda t}) \rightarrow 1$  a aktivita limituje ke konstantní hodnotě – **nasycená aktivita  $A_s$**  (obdobu trvalé radioaktivní rovnováhy)

$$A_s = \sigma \phi N$$

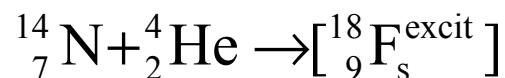
- delším ozařováním nelze získat delší aktivitu

- $A_s$  je dána typem ozařovacího zařízení, terčem, druhem projektilu a jeho energií
- pokud vzniká radionuklid s dlouhým poločasem rozpadu (tj. rychlost jeho přeměny je ve srovnání s rychlostí jeho vzniku malá), pak se soustava chová jakoby vznikl stabilní nuklid – delší ozařování se tedy projeví větším výtěžkem

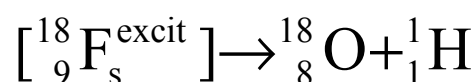
## Průběh jaderné reakce

Složené jádro (vychází z kapkového modelu jádra)

Vzniká při pohlcení jaderného projektilu terčovým jádrem



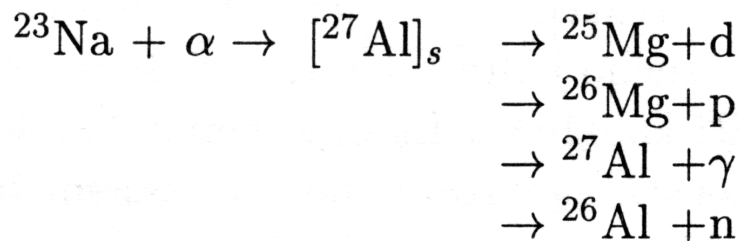
- excitační energie pochází z kinetické energie projektilu a z vazebné energie, která se uvolní při zachycení projektilu
- tato energie se rovnoměrně rozdělí mezi nukleony
- energie nukleonů se při vzájemných srážkách neustále přerozděluje
- může se stát, že některý nukleon získá takovou energii, která mu umožní opustit složené jádro  $\Rightarrow$  nastává druhá fáze procesu (**rozpad složeného jádra**)



- excitační energie složeného jádra se zmenší o vazebnou a kinetickou energii emitované částice
- je-li excitační energie složeného jádra značná, může se uvolnit i více nukleonů

reakce typu ( $\alpha, pn$ ), ( $n, 2n$ ), (těžký ion,  $4n$ )

- nadbytečná energie, která již nestačí k emisi nukleonu, se vyzáří jako fotony  $\gamma$ -záření (jediný způsob deexcitace u nízkých excitačních energií ... reakce typu ( $n, \gamma$ ))
- doba života složeného jádra je  $10^{-16} - 10^{-14}$  s – doba dostatečná k přerozdělení energie
- osud složeného jádra nezávisí na jeho vzniku a při rozpadu složeného jádra mohou vznikat různé produkty



- různými reakcemi může vznikat tentýž nuklid

