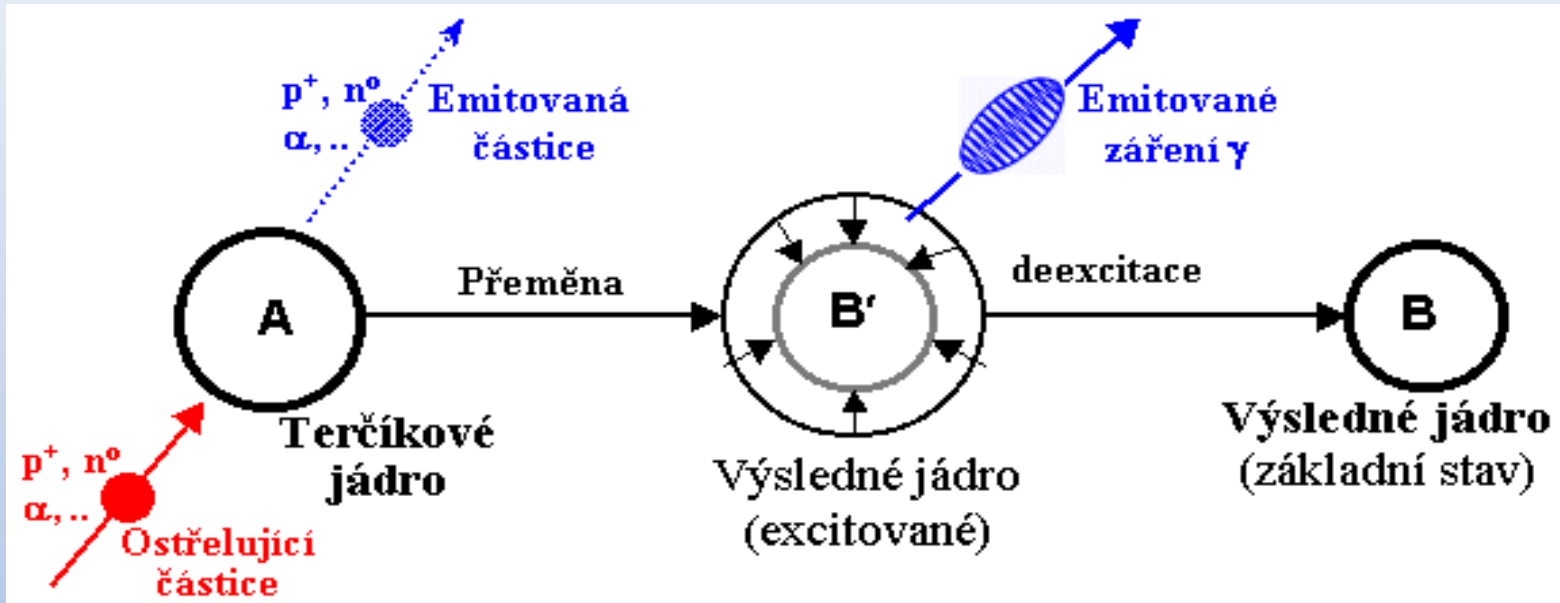


# 6. JADERNÉ REAKCE

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



Zkrácený zápis jaderných reakcí umožňuje snadné členění reakcí na reakce typu:

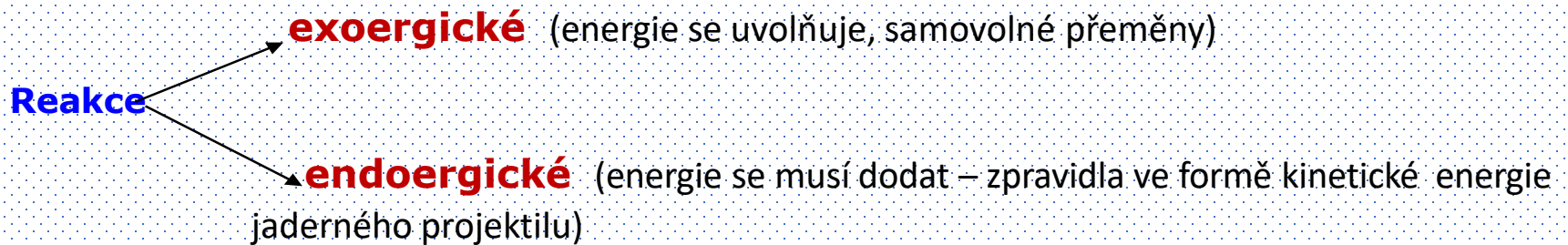
$(\alpha, p); (\alpha, n); (n, \gamma); (d, p)$ , aj.



**Platí zákony zachování:**

- nábojového, nukleonového, protonového čísla
- energie
- hybnosti

# Energetika jaderných reakcí



**Rozhodující pro určení energie procesu je porovnání klidových hmotností částic před reakcí a po ní:**

**(Energie je ekvivalentní hmotnostní jednotce)**

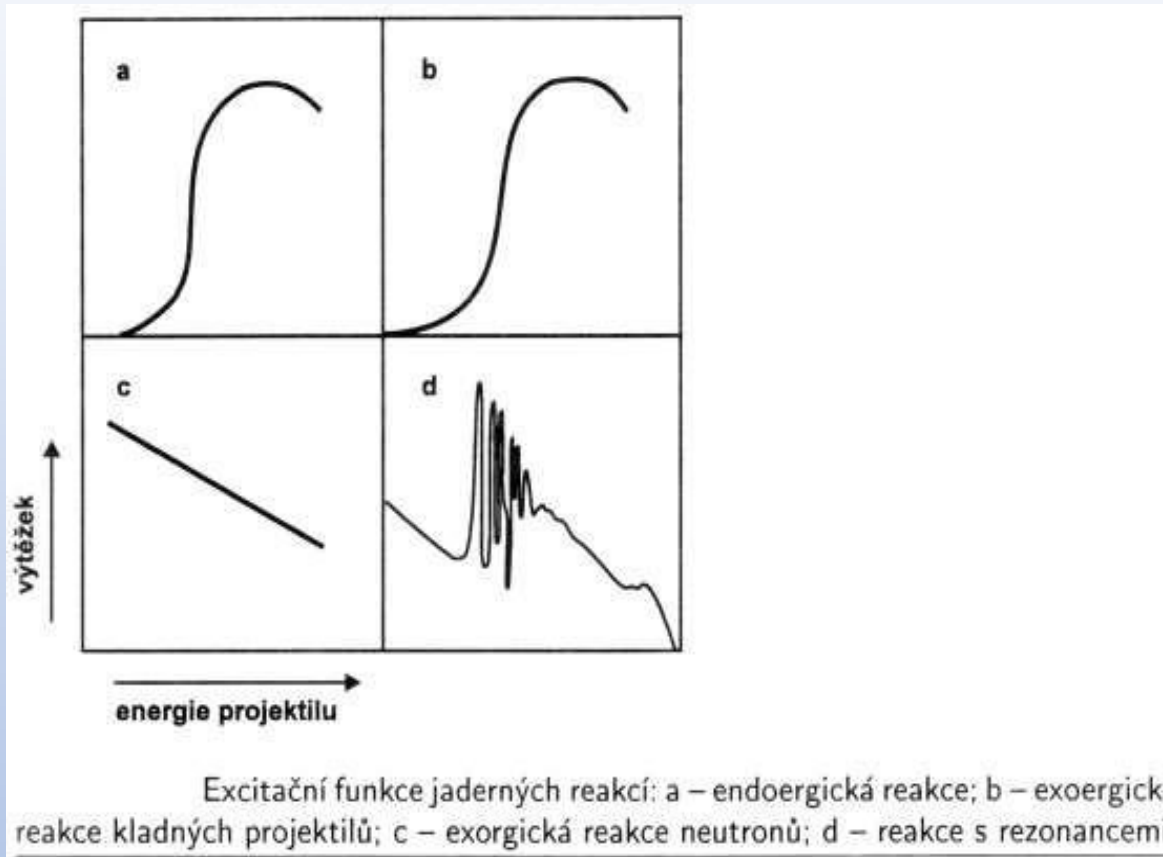
$$Q = -931,5 \Delta m$$

**(v MeV)**

**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)



- 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.)

## Charakteristiky jaderných reakcí

**Okamžitá rychlost jaderné reakce** - časová změna (přírůstku) počtu atomů ozařováním 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** [ $\text{m}^2$ ], stará jednotka 1 barn =  $10^{-28} \text{m}^2$

(vyjadřuje pravděpodobnost zásahu terčového jádra, zpravidla se liší svou hodnotou od geometrického průřezu).

$\sigma$  **závisí:**

- na energii projektilu,
- na typu jaderné reakce
- na excitační funkci

Reakce	$\sigma$ ( $\text{m}^2$ )	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  $B$**  = 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

**Závislost počtu atomů** vzniklých jadernou reakcí ozařováním ( $N^*$ ) **na době ozařování**,  $R$  je „rychlostní“ konstanta, vyjadřuje následující vztah

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

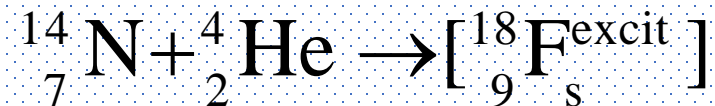
- aktivita vznikajícího nuklidu roste zpočátku poměrně rychle
- vzniká-li radioaktivní nuklid, dochází během ozařování k jeho úbytku vlastní přeměnou
- během delšího ozařování aktivita limituje ke konstantní hodnotě
  - nasycená aktivita  $A_s$  (obdobu trvalé radioaktivní rovnováhy)

$$A_s = \sigma\phi N$$

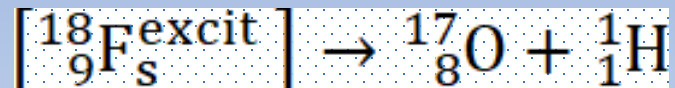
- delším ozařováním nelze získat delší aktivitu, není to ekonomické
- $A_s$  je dána typem ozařovacího zařízení, terčem, druhem projektilu a jeho energií
- pokud vzniká radionuklid s dlouhým poločasem přeměny (tj. rychlost jeho přeměny je ve srovnání s rychlostí jeho vzniku malá), pak se soustava chová jako by vznikal stabilní nuklid – delší ozařování se tedy projeví větším výtěžkem

## Průběh jaderné reakce

Při proniknutí projektilu do jádra vzniká **složené jádro** (vychází z kapkového modelu jádra). Vzniká při pohlcení jaderného projektilu terčovým jádrem



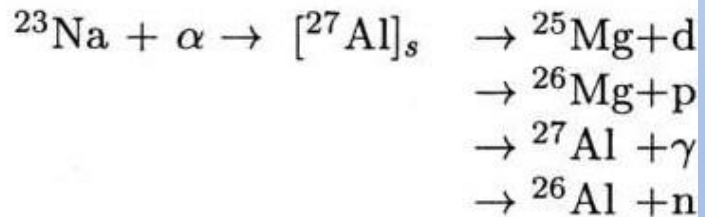
- excitační energie pochází z kinetické energie projektilu a z vazebné energie, která se uvolní při zachycení projektilu
- tato energie se rovnoměrně rozdělí mezi nukleony
- energie nukleonů se při vzájemných srážkách neustále přerozděluje
- může se stát, že některý nukleon získá takovou energii, která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



- různými reakcemi může vznikat tentýž nuklid

