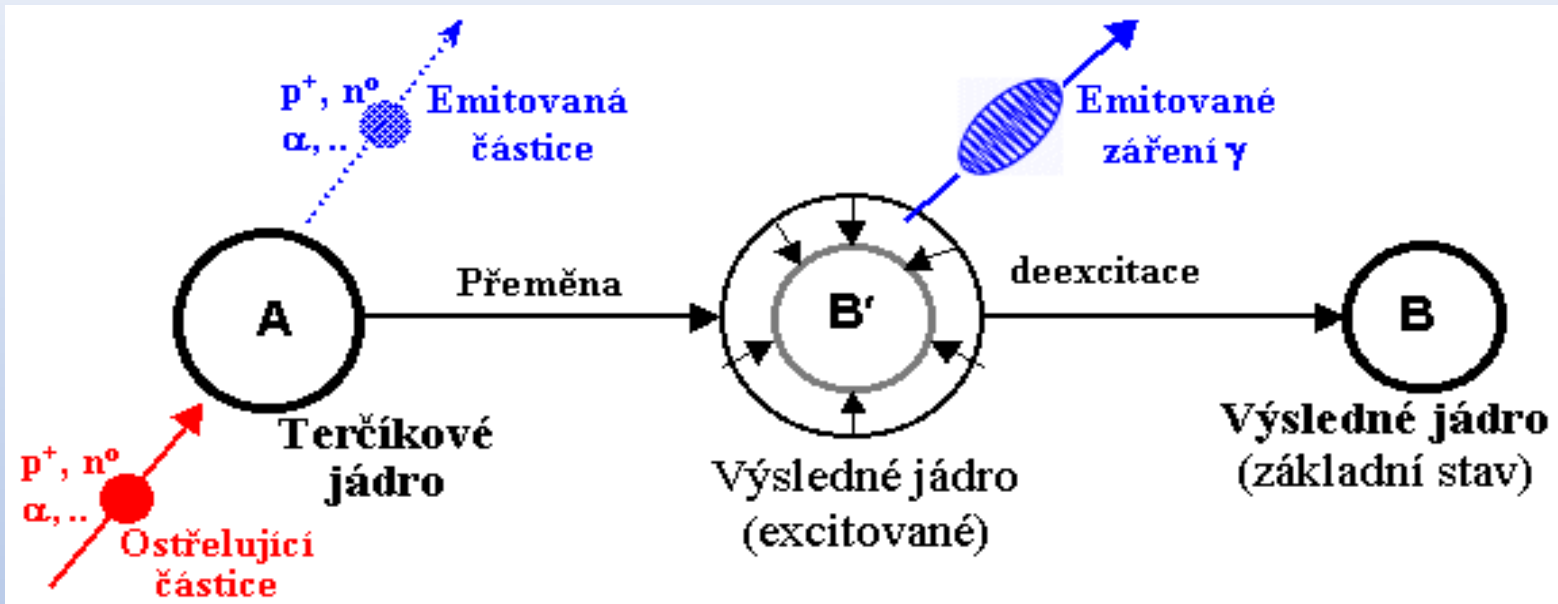


6. JADERNÉ REAKCE

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.

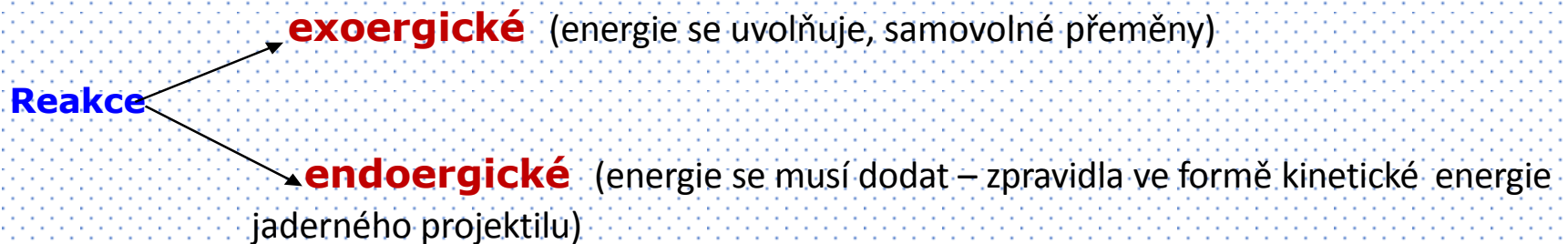


Platí zákony zachování:

- 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)

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

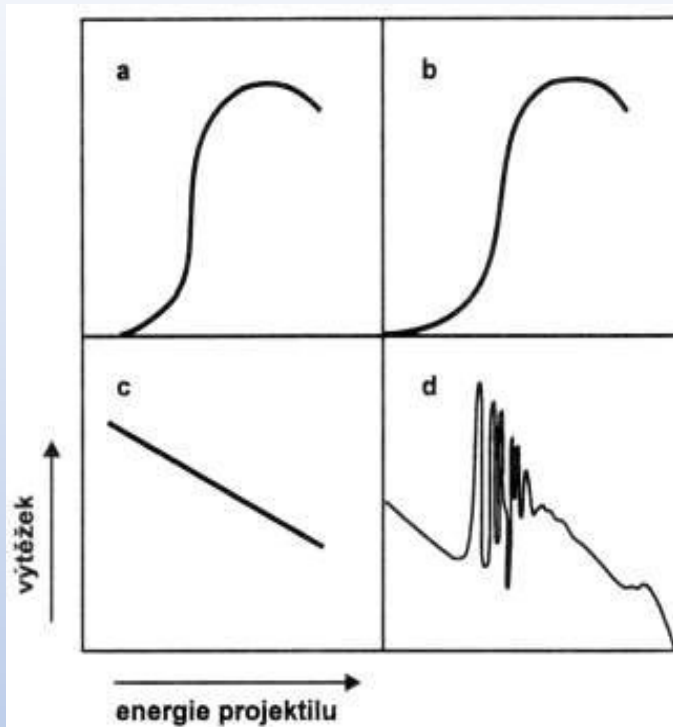
(v MeV)

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)



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.)



Charakteristiky jaderných reakcí

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

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

ϕ - **tok částic** (počet projektilů dopadajících na plošnou jednotku terče za časovou jednotku)

N - **počet terčových jader**

σ - **účinný průřez** [m^2], stará jednotka 1 barn = 10^{-28}m^2

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

σ **závisí:**

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

Reakce	σ (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)

$$A_s = \sigma\phi N$$

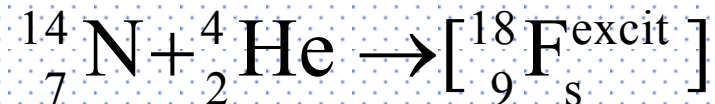
- delším ozařováním nelze získat delší aktivitu, není to ekonomické
- A_s je dána typem ozařovacího zařízení, terčem, druhem projektilu a jeho energií
- pokud vzniká radionuklid s dlouhým poločasem přeměny (tj. rychlost jeho přeměny je ve srovnání s rychlostí jeho vzniku malá), pak se soustava chová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



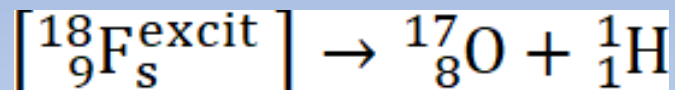


Průběh jaderné reakce

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



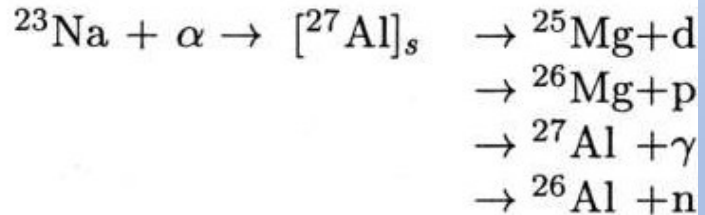
- excitační energie pochází z kinetické energie projektilu a z vazebné energie, která se uvolní při zachycení projektilu
- tato energie se rovnoměrně rozdělí mezi nukleony
- energie nukleonů se při vzájemných srážkách neustále přerozděluje
- může se stát, že některý nukleon získá takovou energii, která 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 (α, pn) , $(n, 2n)$, (těžký ion, $4n$)

- nadbytečná energie, která již nestačí k emisi nukleonu, se vyzáří jako fotony γ - záření (jediný způsob deexcitace u nízkých excitačních energií ... reakce typu (n, γ))
- 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

