NUKLEARNE REAKCIJE

Što je nuklearna reakcija?

Proces (događaj) u kojem sudjeluju atomske jezgre.

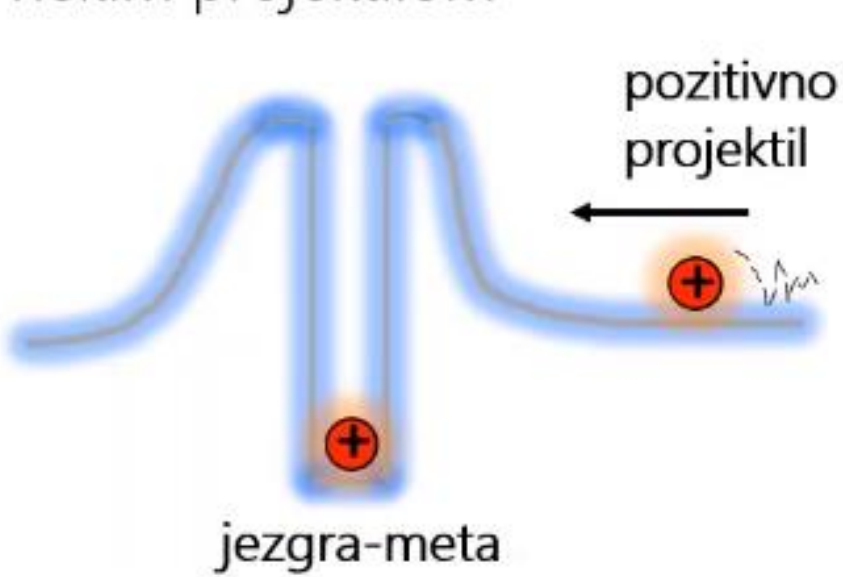
$$ {}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{A} + {}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{B} \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}\mathrm{C} + {}^{A_4}_{Z_4}\mathrm{D} $$

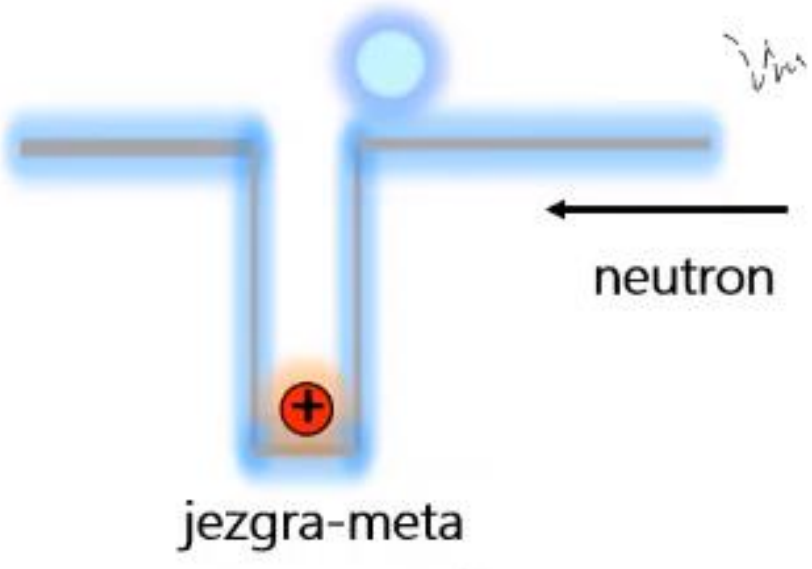
nuklearna rekacija ako je makar jedan od reaktanata A, B, C, D atomska jezgra

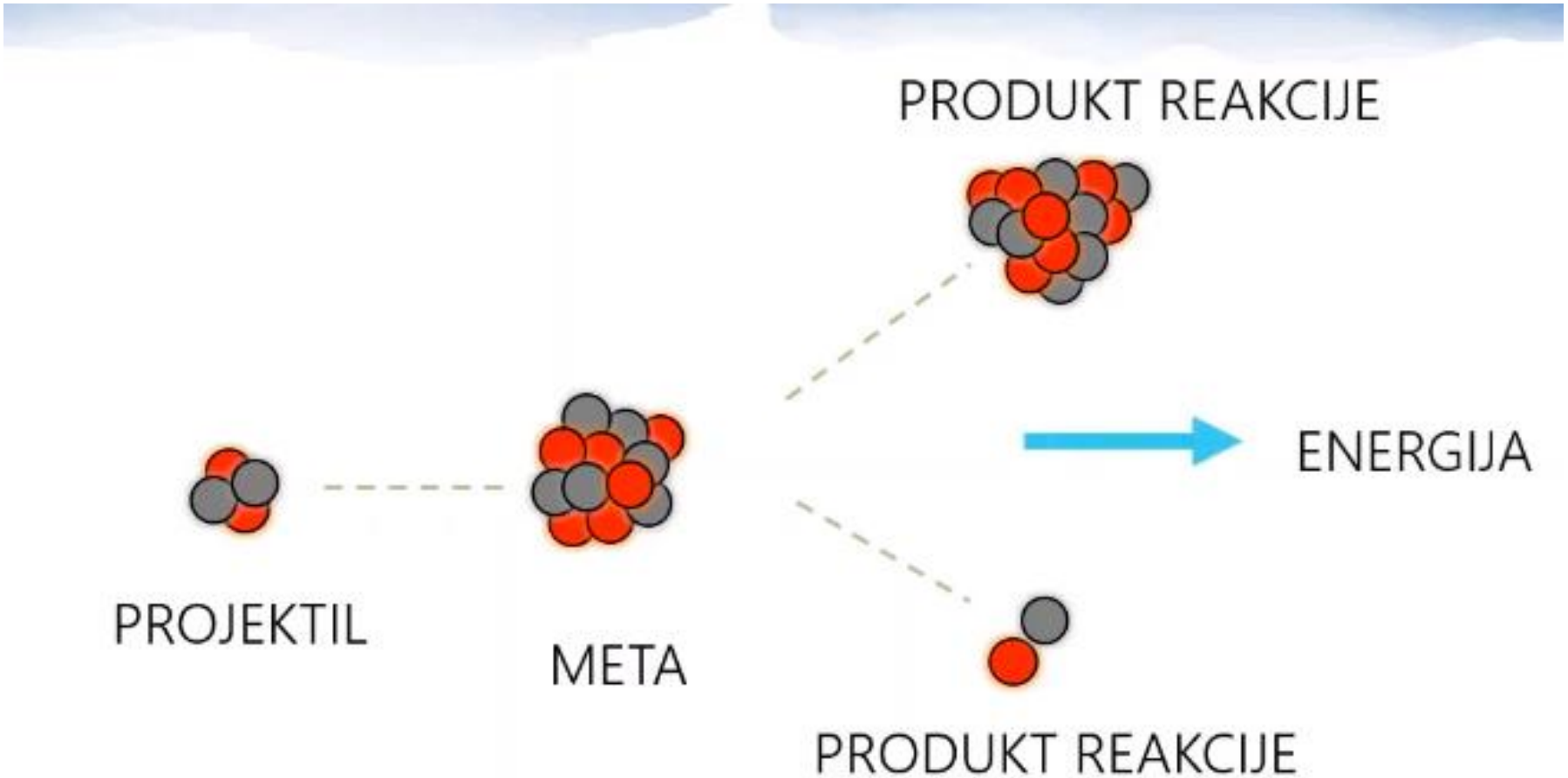
Što je nuklearna reakcija?

Spontane nuklearne reakcije – **radioaktivnost.**

Umjetne (izazvane, inducirane) – jezgru se destabilizira gađanjem nekim projektilom






PRODUKT REAKCIJE
ENERGIJA
PROJEKTIL
META
PRODUKT REAKCIJE

Zakoni očuvanja u nuklearnim reakcijama

Nuklearna reakcija: ${}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{A} + {}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{B} \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}\mathrm{C} + {}^{A_4}_{Z_4}\mathrm{D}$

Očuvanost

nukleona: $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$

električnog naboja: $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

količine gibanja: $\vec{p}_1 = \vec{p}_2$

energije-mase: $E_1 + m_1c^2 = E_2 + m_2c^2$

${}^{1}_{1}\mathrm{p}$

${}^{1}_{0}\mathrm{n}$

${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

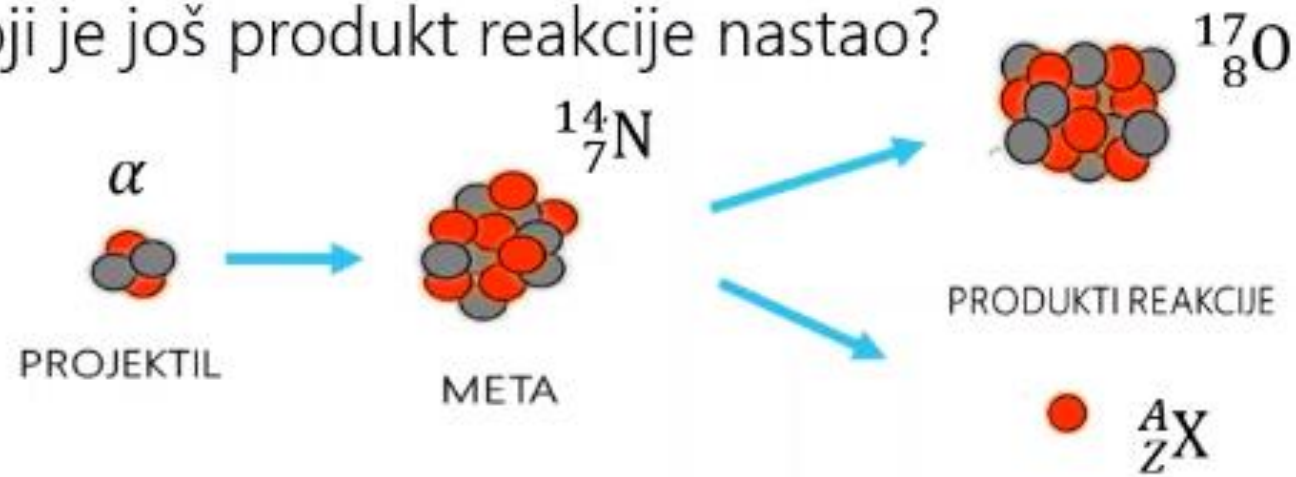
${}^{0}_{1}\mathrm{e}^{+}$

${}^{0}_{0}\gamma$

Primjer 1.

Prvu umjetno izazvanu nuklearnu reakciju izveo je E. Rutherford, bombardiranjem dušika ($^{14}_{7}\mathrm{N}$) α-česticama ($^{4}_{2}\mathrm{He}$) iz radioaktivnog izvora. Reakcijom je nastao kisik $^{17}_{8}\mathrm{O}$.

Koji je još produkt reakcije nastao?



Rješenje:

$$^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$$

Očuvanost naboja:

$$\underbrace{2+7}_{\text{prije reakcije}} = \underbrace{8+Z}_{\text{nakon reakcije}} \longrightarrow Z = 1$$

Očuvanost nukleona:

$$\underbrace{4+14}_{\text{prije reakcije}} = \underbrace{17+A}_{\text{nakon reakcije}} \longrightarrow A = 1$$

Produkt je $^{1}_{1}\mathrm{X}$, dakle proton (jezgra vodika)

Bilo je na Državnoj maturi (www.ncvvo.hr):

Koju česticu označava **X** u nuklearnoj reakciji?

$$^{44}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{41}_{19}\mathrm{K} + \mathrm{X}$$

A. elektron

B. neutron

C. jezgru vodika

D. jezgru helija

Rješenje:

$$^{44}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{41}_{19}\mathrm{K} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$$

Očuvanje naboja:

$$20 + 1 = 19 + Z \quad \rightarrow \quad Z = 2$$

Očuvanje nukleona:

$$44 + 1 = 41 + A \quad \rightarrow \quad A = 4$$

$^{4}_{2}\mathrm{He}$

Točno rješenje: D.

Primjer 2.

Za koje je vrijednosti *a* i *b* moguća sljedeća nuklearna reakcija?

$$ {}^{a}_{4}\mathrm{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{0}_{b}\mathrm{Y} + {}^{13}_{7}\mathrm{Li} $$

A. $a = 17, b = 1$
B. $a = 17, b = -1$
C. $a = 9, b = -1$
D. $a = 9, b = 1$

$a + 4 = 0 + 13 \rightarrow a = 9$

$4 + 2 = b + 7 \rightarrow b = -1$

Točan odgovor: C.

$$ {}^{9}_{4}\mathrm{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{Y} + {}^{13}_{7}\mathrm{Li} $$

$$ {}^{0}_{-1}\mathrm{e} $$

Primjer 3.

Koja čestica X sudjeluje u nuklearnoj reakciji $^{28}_{14}\mathrm{Si}(^{A}_{Z}\mathrm{X}, ^{4}_{2}\mathrm{He})^{24}_{12}\mathrm{Mg}$?

A. gama kvant
B. elektron
C. pozitron
D. proton

$$^{28}_{14}\mathrm{Si} + ^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{24}_{12}\mathrm{Mg}$$

$$14 + Z = 2 + 12 \rightarrow Z = 0$$

$$28 + A = 4 + 24 \rightarrow A = 0$$

$$^{28}_{14}\mathrm{Si} + ^{0}_{0}\mathrm{X} \rightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{24}_{12}\mathrm{Mg}$$

$$^{0}_{0}\gamma$$

Točan odgovor: A.

Primjer 4.

Kalifornij, kemijski element atomskog broja 98 fizičari su stvorili bombardiranjem jezgrama projektilima, metu urana $^{238}_{92}\mathrm{U}$.

S kojim jezgrama projektilima je bombardirana meta urana u nuklearnoj reakciji $^{a}_{b}\mathrm{X} + {}^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{245}_{98}\mathrm{Cf} + 5\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$?

$$^{a}_{b}\mathrm{X} + {}^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{245}_{98}\mathrm{Cf} + 5\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

$$b + 92 = 98 + 0 \rightarrow b = 6$$

$$a + 238 = 245 + 5 \rightarrow a = 12$$

$$^{12}_{6}\mathrm{X} + {}^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{245}_{98}\mathrm{Cf} + 5\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

$$^{12}_{6}\mathrm{C}$$

$$^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{245}_{98}\mathrm{Cf} + 5\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Bilo je na Državnoj maturi (www.ncvvo.hr):

Za koje je vrijednosti *a* i *b* moguća sljedeća nuklearna reakcija?

$$ {}^{a}_{7}\mathrm{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{b}\mathrm{Y} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} $$

A. $a = 10, b = 5$

B. $a = 12, b = 8$

C. $a = 14, b = 4$

D. $a = 14, b = 8$

Rješenje:

Točan odgovor: D.

$$ {}^{a}_{7}\mathrm{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{b}\mathrm{Y} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} $$

$$ 7 + 2 = b + 1 $$

$$ \downarrow $$

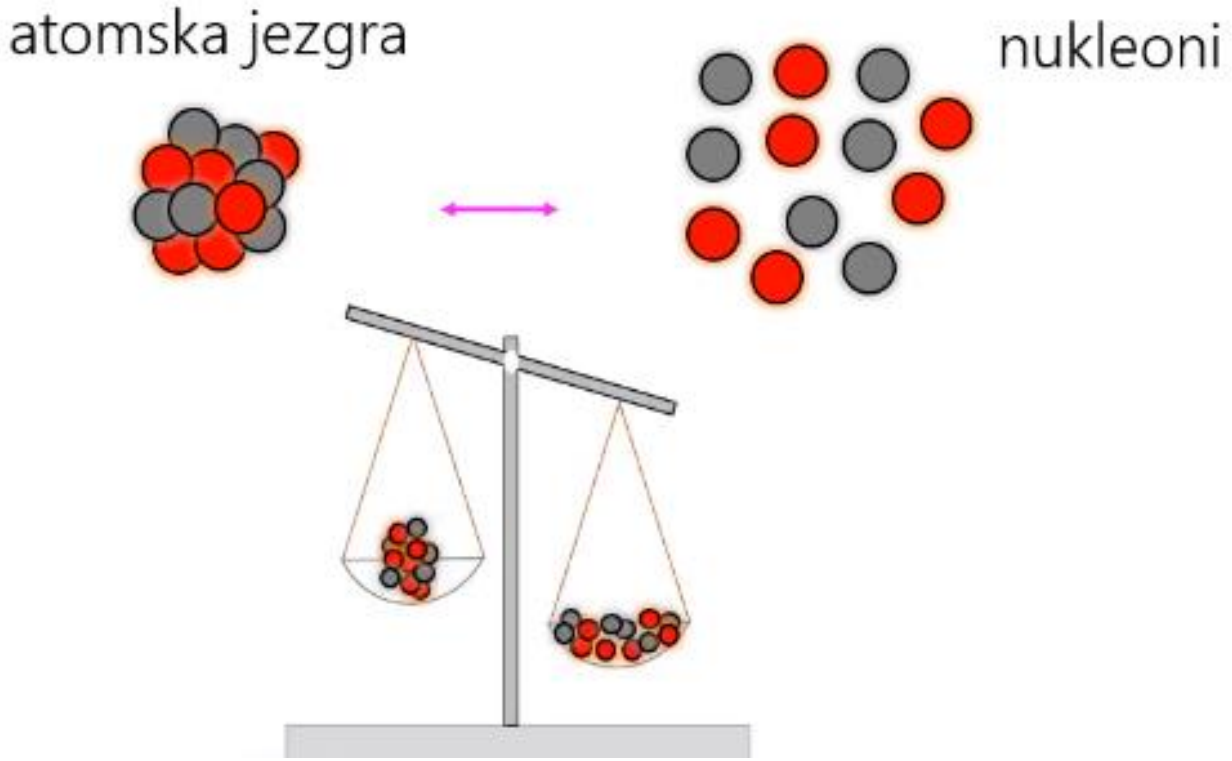
$$ b = 8 $$

$$ a + 4 = 17 + 1 $$

$$ \downarrow $$

$$ a = 14 $$

Je li to moguće?



ATOMSKA JEDINICA MASE

$$u = 1{,}660565 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

$$m_\text{e} = 0{,}000549 \cdot u$$

$$m_\text{p} = 1{,}007277 \cdot u$$

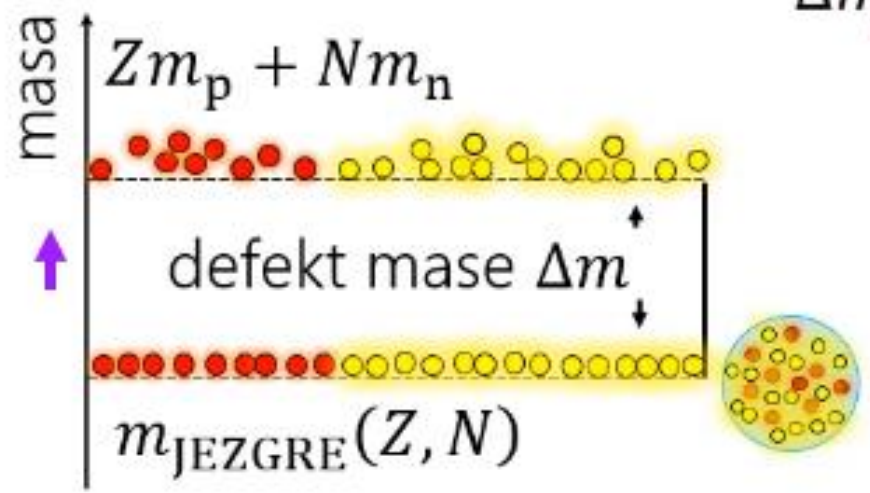
$$m_\text{n} = 1{,}008665 \cdot u$$

Defekt mase

$Zm_\mathrm{p} + Nm_\mathrm{n}$

$m_\mathrm{JEZGRE}(Z,N) < Zm_\mathrm{p} + Nm_\mathrm{n}$

$\Delta m = \left(Zm_\mathrm{p} + Nm_\mathrm{n}\right) - m_\mathrm{JEZGRE}(Z,N)$



defekt mase

Primjer 1.

Nikal $^{58}_{28}\mathrm{Ni}$ ima atomsku masu $57{,}93531 \cdot u$. Odredite defekt mase za tu jezgru!

$$\Delta m = \left(Z m_\mathrm{p} + N m_\mathrm{n}\right) - m_{\mathrm{JEZGRE}}(Z, N)$$

Rješenje:

$m_\mathrm{p} = 1{,}007277 \cdot u$

$m_\mathrm{n} = 1{,}008665 \cdot u$

$m\left(^{58}_{28}\mathrm{Ni}\right) = 57{,}93531 \cdot u$

$\Delta m = ?$

$$\Delta m = \left(Z m_\mathrm{p} + N m_\mathrm{n}\right) - m\left(^{58}_{28}\mathrm{Ni}\right)$$

$\Delta m = 0{,}528396 \cdot u$

$u = 1{,}660565 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$

$\Delta m = 0{,}528396 \cdot 1{,}660565 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$

$\Delta m = 8{,}7744 \cdot 10^{-28}\ \mathrm{kg}$

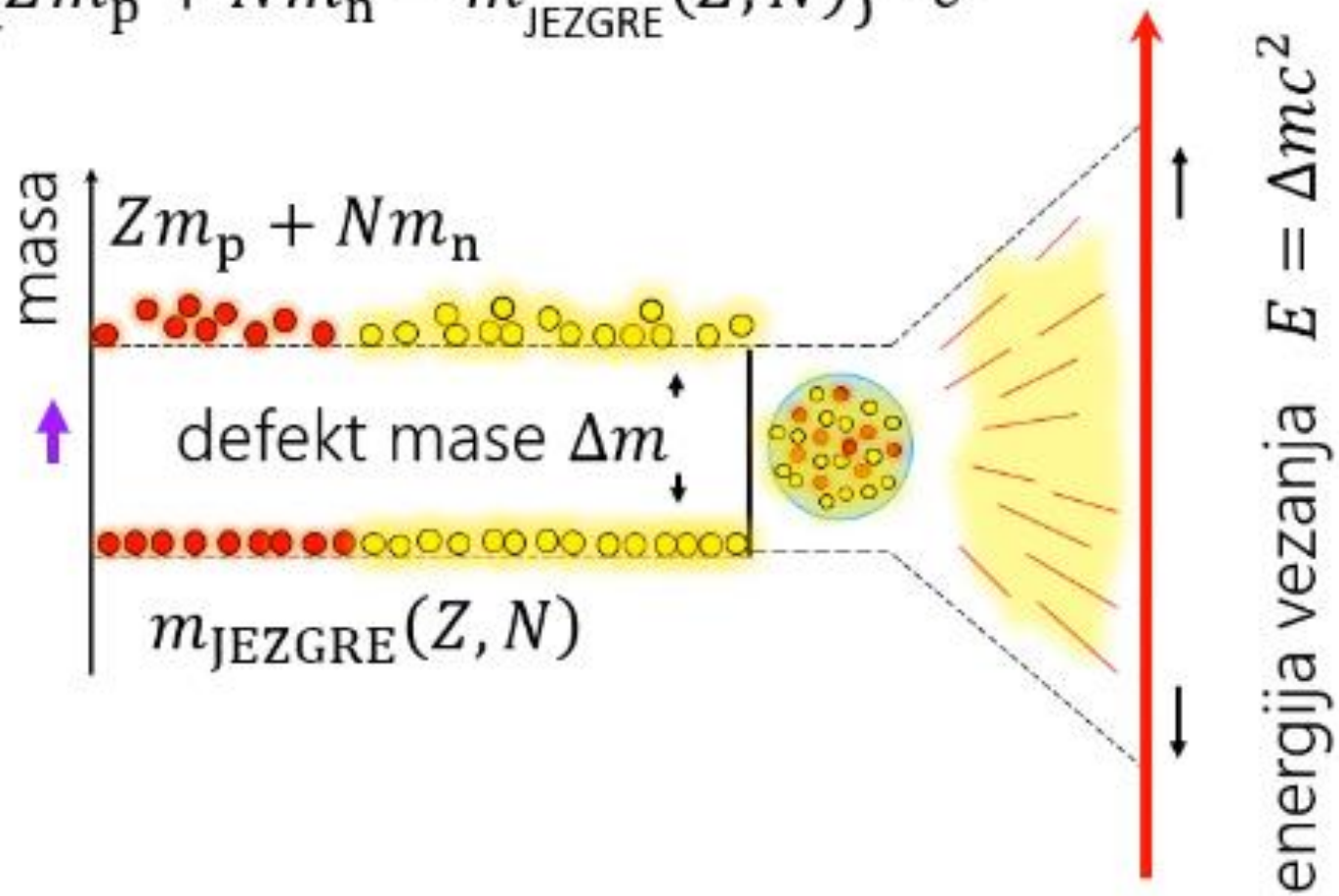
Energija vezanja

- Što se dogodi s masom koja je nestala?

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

- Ta se energija pri spajanju Z protona i N neutrona u atomsku jezgru oslobađa i naziva se **energijom vezanja**.

$$E_v = \{Zm_p + Nm_n - m_{JEZGRE}(Z,N)\} \cdot c^2$$



Primjer 2.

Kolika se energija dobije pri pretvaranju mase $1u$ u energiju?

Rješenje:

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

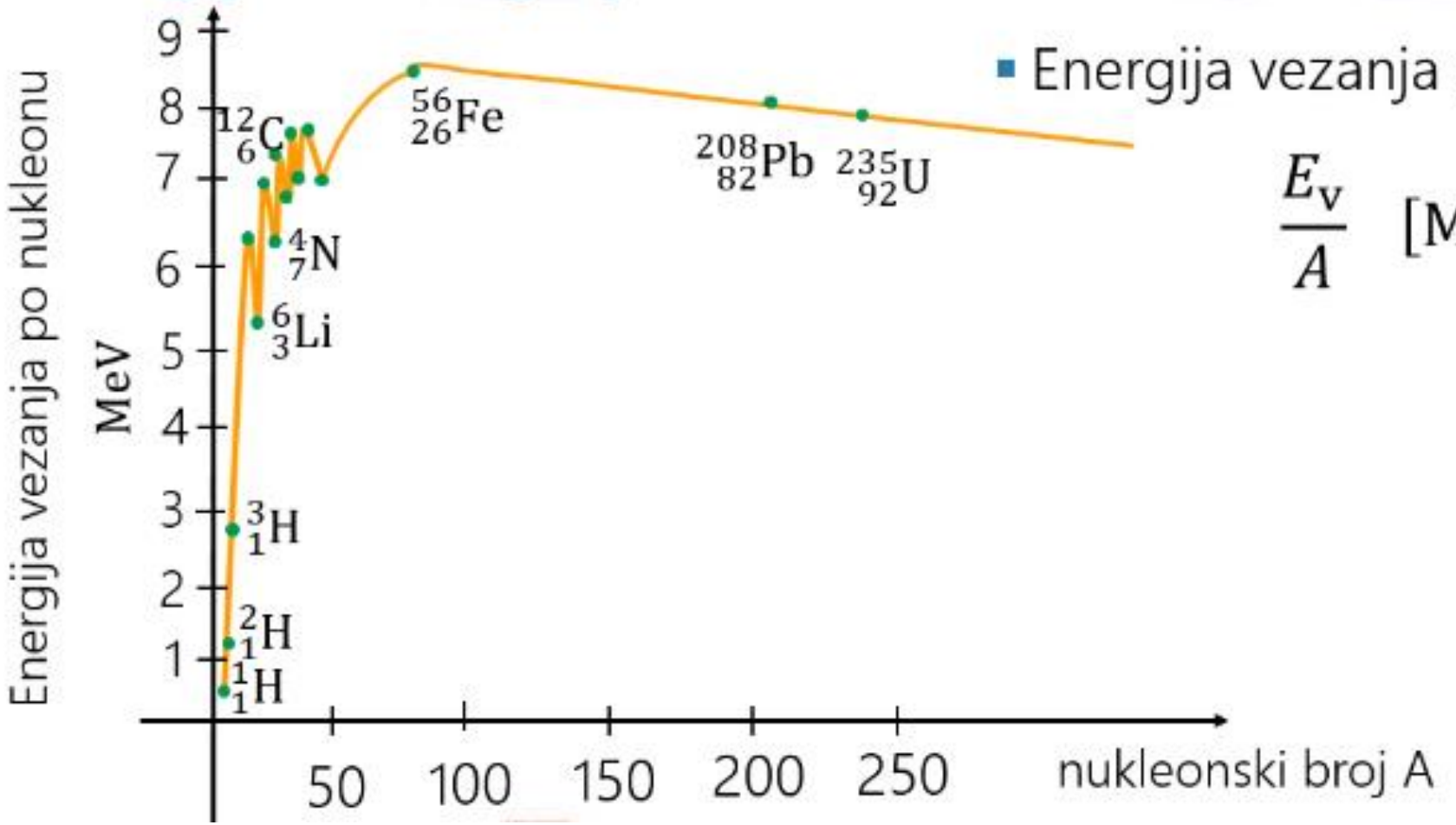
$$1u = 1{,}660565 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

$$c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}\ \text{m/s}$$

$$\Delta E = 1{,}4924 \cdot 10^{-10}\ \text{J}$$

$$\Delta E = 931{,}5 \cdot 10^{6}\ \text{eV} = 931{,}5\ \text{MeV}$$

Energija vezanja po nukleonu



- Energija vezanja po nukleonu:

$$\frac{E_v}{A} \quad [\text{MeV}]$$

Primjer 3.

Masa jezgre silicija $^{29}_{14}\mathrm{Si}$ iznosi $28{,}976496 \cdot u$. Odredite energiju vezanja i energiju vezanja po jednom nukleonu!

Rješenje:

$$m_\mathrm{p} = 1{,}007277 \cdot u$$

$$m_\mathrm{n} = 1{,}008665 \cdot u$$

$$m(^{29}_{14}\mathrm{Si}) = 28{,}976496 \cdot u$$

$$E_V, E' = ?$$

$$\Delta m = (Z m_\mathrm{p} + N m_\mathrm{n}) - m_{\mathrm{JEZGRE}}(Z, N)$$

$$\Delta m = (Z m_\mathrm{p} + N m_\mathrm{n}) - m(^{29}_{14}\mathrm{Si})$$

$^{29}_{14}\mathrm{Si}$ $\quad Z = 14$ $\quad N = A - Z$

$$N = 15$$

$$\Delta m = (14 \cdot 1{,}007277 \cdot u + 15 \cdot 1{,}008665 \cdot u) - 28{,}976496 \cdot u$$

$$\Delta m = 0{,}25536 \cdot u$$

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

$$E_V = 0{,}255357 \cdot u \cdot c^2$$

$$E_V = 237{,}87\ \mathrm{MeV}$$

$$E' = \frac{E_V}{A}$$

$$E' = \frac{237{,}87\ \mathrm{MeV}}{29}$$

$$E' = 8{,}202\ \mathrm{MeV}$$

Fisija i fuzija

Literatura i materijali izrađeni u sklopu kurikularne reforme „Škola za život”