

Ocenimo vezavno energijo elektrona v rešetki z arzenom:

$$\rightarrow \text{V H-atomu: } W_0 = -\frac{e^4 m}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^2} = -d^2 \frac{mc^2}{2}; \quad d = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 hc} \approx \frac{1}{137}$$

Ko gledamo elektron v kristalu, se ta giblje, kot da bi imel efektivno maso. Poleg tega je e^- šibko vezan, zato je radij njegove S-orbitale mnogo večji kot v H-atomu. Za e^- je kristal zvezno sredstvo, zato moramo dodati še ϵ :

$$\frac{m}{\epsilon_0} \rightarrow \frac{m^*}{\epsilon \epsilon_0} \Rightarrow \Delta W_d = W_0 \cdot \frac{m^*}{m} \cdot \frac{1}{\epsilon^2} \quad W \approx \frac{1}{1000} W_0$$

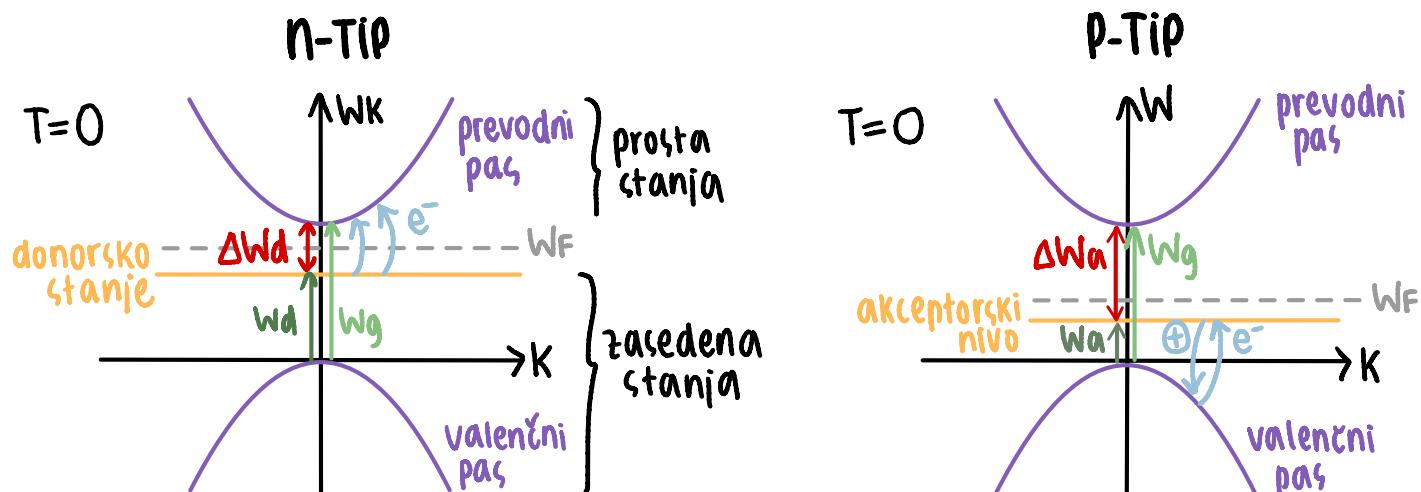
$$\Delta W_d = -0.05 \text{ eV}$$

$$\Delta W_a = +0.06 \text{ eV}$$

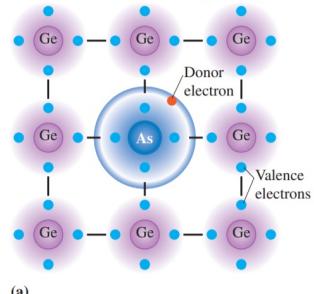
ΔW_d ————— prevodni pas n-tip
 ΔW_a ————— valenčni pas p-tip

Pri sobni T se bo znaten del elektronov preselil iz donorskoga nivoja v prevodni pas in znaten del vrzeli v valenčni pas (to pomeni, da gre e^- gor)

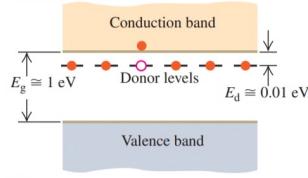
$\Rightarrow WF$ bo blizu donorskoga nivoja v n-tipu oz. blizu akceptorskoga nivoja v p-tipu



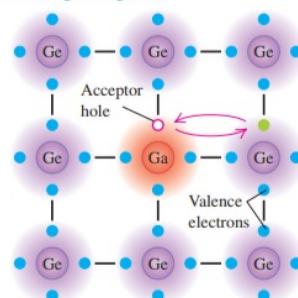
A donor (*n*-type) impurity atom has a fifth valence electron that does not participate in the covalent bonding and is very loosely bound.



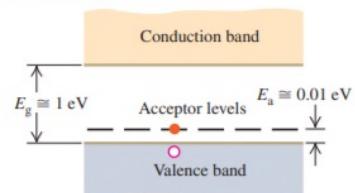
Energy-band diagram for an *n*-type semiconductor at a low temperature. One donor electron has been excited from the donor levels into the conduction band.



An acceptor (*p*-type) impurity atom has only three valence electrons, so it can borrow an electron from a neighboring atom.

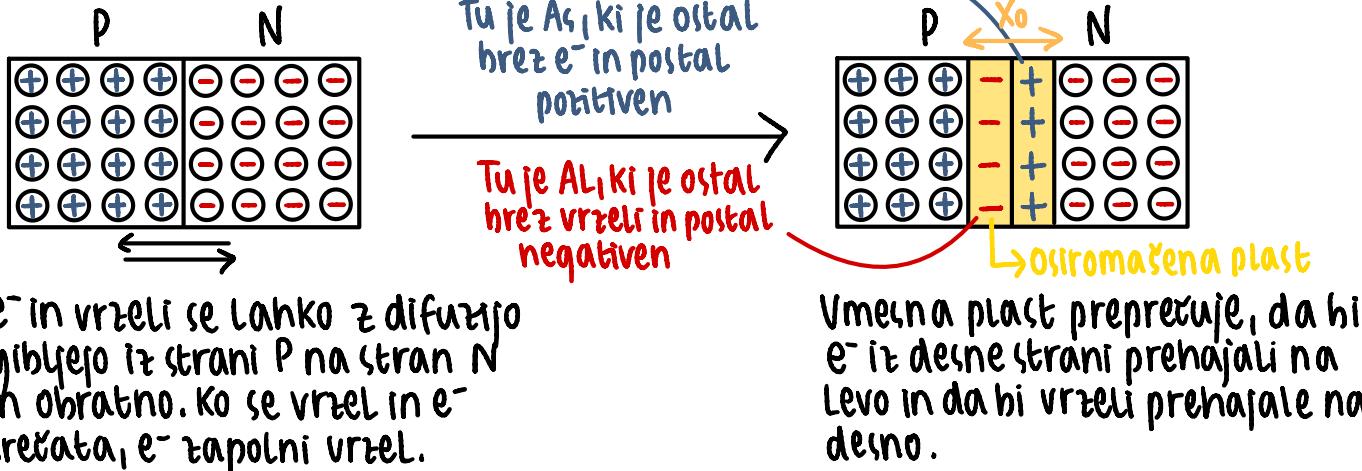


Energy-band diagram for a *p*-type semiconductor at a low temperature. One acceptor level has accepted an electron from the valence band, leaving a hole behind.

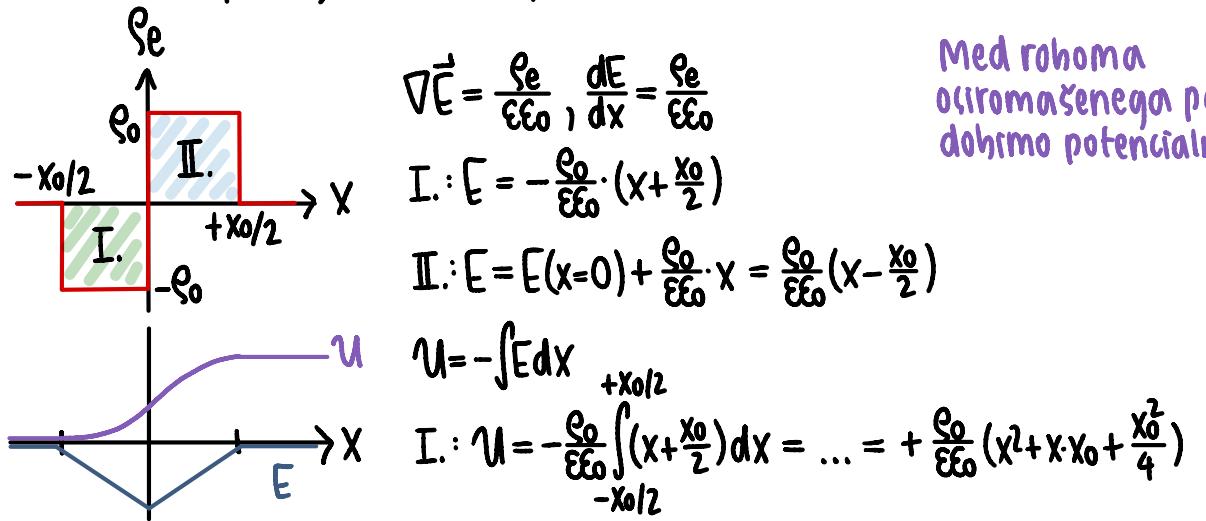


Vecina elektronov iz donorskoga pasu bo termično eksitirala v prevodni pas – efektivno donorskog stanje se bo izpraznilo. Fermijeva energija se zato premakne pod donorskog pas (ko je $T > 0$).

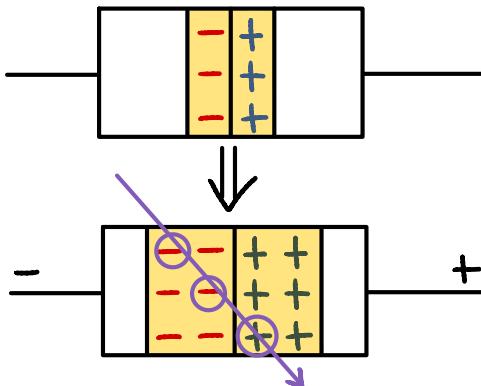
P-N stik



Električno polje in gostota naboja v P-N stiku:



Zdaj naš polprevodnik priključimo na zunanjou napetost:

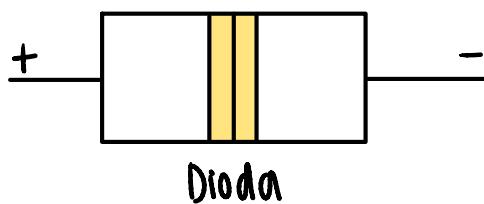


Pozitiven priključek privlači e^- na desni strani, zato tam ostane še več atomov As brez e^- , ki so zato + nabiti \Rightarrow Osiromašena plast se poveča

NAPETOST V ZAPORNI SMERI

Pri dovolj veliki napetosti bo cel kristal osiromašena plast.

Takšen P-N stik je osnova za polprevodniške detektorje delcev in fotonov:
če tu namreč mimo prleti nabij delec, bo interagiral in naredil dodatne e^- in vrzeli, ki bodo EDINI prosti nosilci nabojev in jih bomo lahko zaznali. V navadnem kristalu bi se signal izgubil v statističnih fluktuacijah
 \rightarrow Fotodiode, CCD (vsak pixel je ena fotodioda)



$$\text{Dohili homotok: } I = I_0 (e^{\beta e U} - 1)$$

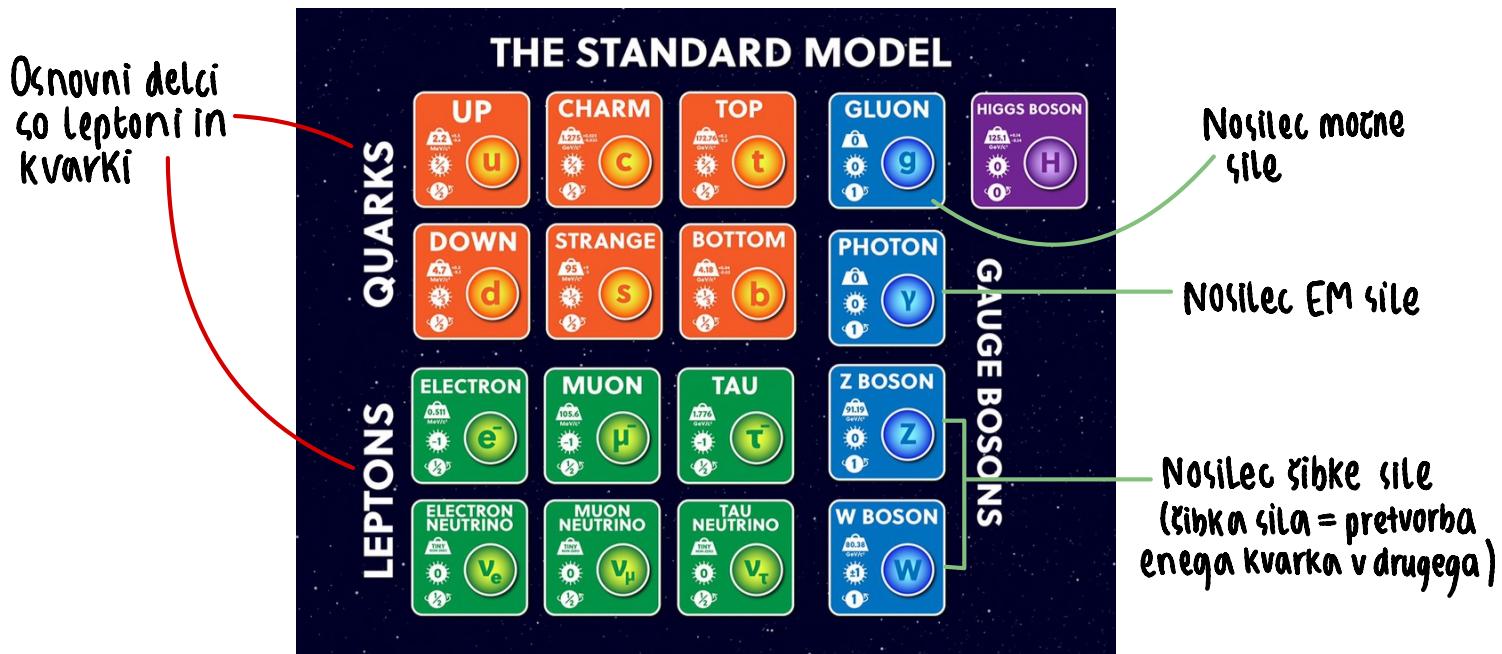
NAPETOST V PREVODNI SMERI

Jedra in osnovni delci

Uvod

Zgodnje vesolje je bilo vroče: delci so imeli velike hitrosti, med sabo so trkali (takšne razmere poskušamo poustvariti v pospeševalnikih).

Fizika osnovnih delcev se začne L. 1897 z odkritjem e^- v katodni cevi.



Standardni model pravi, da imamo 2 vrsti osnovnih delcev (leptoni in kvarki) in 3 vrste interakcij + delci, ki poskrbi za maso vseh ostalih (=Higgsov bozon). Osnovni delci interagirajo med sabo preko nosilcev sile.

Težava: Izmerjena kršitev simetrije med delci in antidelci je za 10 redov velikosti premajhna, da bi pojasnila razliko med količinama snovi in anti-snovi v vesolju. Poleg tega standardni model ne vsebuje 4. interakcije - gravitacije.

Iškanje "nove fizike" poteka na več načinov:

- neposredno iskanje novih delcev
- iskanje odstopanj od pričakovanih znacilnosti procesov
- študij lastnosti neutrinov
- neposredno iskanje delcev temne snovi

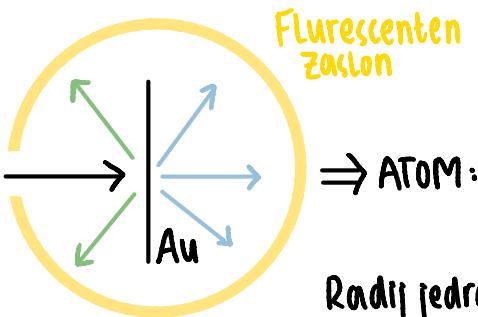
Jedrska fizika

Lastnosti jedra

Velikost

- Rutherfordov eksperiment

Svinčena škatla: d delci gredo skozi luknjico v ravni liniji



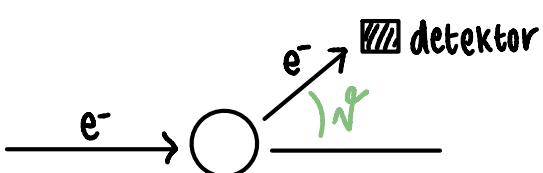
\Rightarrow ATOM:



Radius jedra \ll velikosti atoma

- $\frac{\pi}{d} \approx 1$ \Rightarrow valovanje se na predmetu siplje izotropno
 Valovanja za meritev velikosti jedra: γ, e^-, p, n

Kako izgleda poskus?



$$\frac{\Delta N}{\Delta \Omega}(\vartheta) \rightarrow \frac{d\sigma}{d\Omega}(\vartheta) \quad \text{Diferencialni sipalni presek}$$

Velikost jedra: $\sim r_j = 1 \text{ fm}; d = 2 \text{ fm}$

- $\text{Če } N=d: p = \frac{h}{N} = \frac{h \cdot c}{d \cdot c} = \frac{2\pi \hbar c}{d \cdot c} = \frac{2\pi \cdot 200 \text{ MeV} \cdot \text{fm}}{2 \text{ fm} \cdot c} \approx 600 \text{ MeV}/c$
 $\Rightarrow E = \sqrt{p^2 c^2 + m_e^2 c^4} = \sqrt{(600 \text{ MeV})^2 + (0.5 \text{ MeV})^2} \approx 600 \text{ MeV}$

Primer: Diferencialni sipalni presek (Gibalna količina: $p=420 \text{ MeV}/c$, e^- se siplje na jedru ^{12}C)

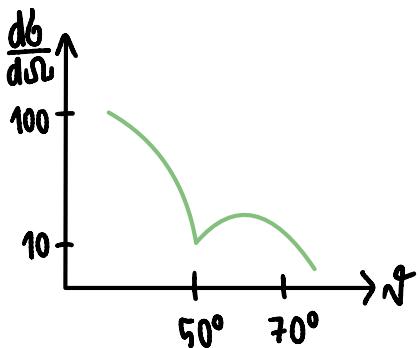
Ocena za minimum (okrogla reža):

$$1. \text{ minimum: } \sin \vartheta_{\min} = 1.22 \frac{N}{d} \Rightarrow d = \frac{1.22 N}{\sin \vartheta_{\min}}$$

$$\Rightarrow r_j = r_0 \cdot A^{1/3}; r_0 = 1.1 \text{ fm}$$

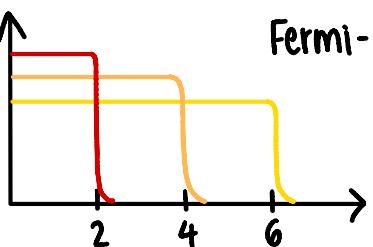
V jedra $\propto A = \# \text{nukleonov}$

A-atomsko št. = $Z+N$



Poskus s projektili, kjer je $N < d$ iz sisanja $e^- \Rightarrow$ Porazdelitev nabroja v jedru!

Se
elektronska
gostota

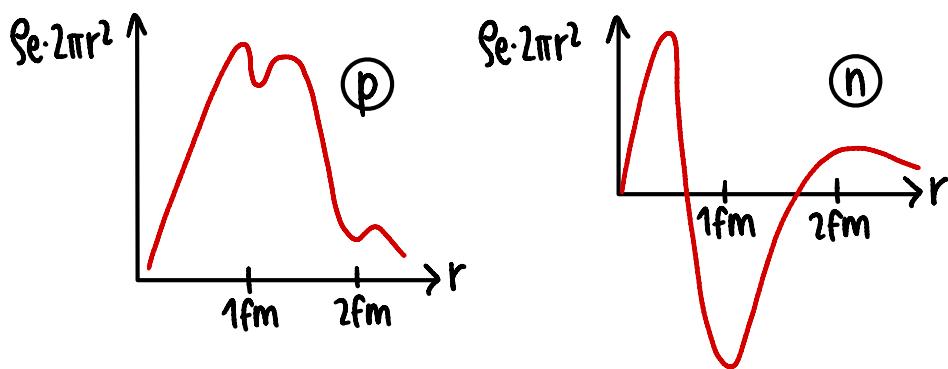


Fermi-Diracova porazdelitev:

$$f_e = \frac{f_0}{e^{(r-r_j)/\alpha} + 1} \quad \text{konstanta, ki določa strmino padca}$$

Pri večjih jedrih ver nevronov \Rightarrow manjša f_e

Porazdelitev nabroja v p in n :



Masa



$$A = Z + N$$

Kako merimo maso?

→ Jedro pospremo v el. polju, nato pa ga spustimo v magnetno polje, kjer začne krožiti. Iz radija kroženja lahko direktno izračunamo maso:

$$eU = W_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{ker } v \ll c)$$

$$m \cdot \frac{v^2}{R} = eV/B \Rightarrow \frac{m}{R} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = eB \Rightarrow \sqrt{m} = \frac{eBR}{\sqrt{2eU}}$$

$$m = \frac{eB^2 R^2}{2U}$$

Če je sistem vezan, bo njegova en. manjša od posameznih nukleonov:

$$m_j c^2 < Z \cdot m_p c^2 + N \cdot m_n c^2 \quad \text{Pogoj za vezano stanje}$$

$$m_p c^2 = 938,27 \text{ MeV}$$

$$m_n c^2 = 939,57 \text{ MeV}$$

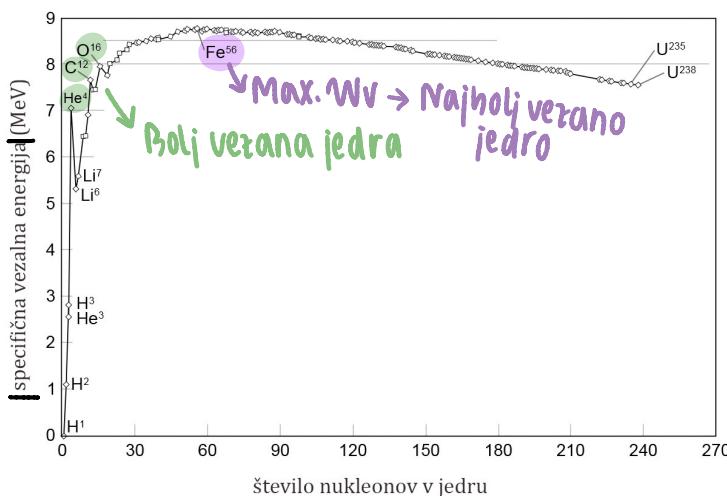
$$(m_j c^2 = Z \cdot m_p c^2 + N \cdot m_n c^2 + W_v)$$

$$W_v = (m_j - Z \cdot m_p - N \cdot m_n) c^2$$

VEZAVNA ENERGIJA

$$W_v = \frac{W_v}{A}$$

SPECIFIČNA VEZAVNA ENERGIJA



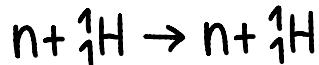
Za veliko večino jeder je specifična vezavna energija med -7.5 in -8.5 MeV
 $\Rightarrow W_v$ je na 10% natanko konst.

$\Rightarrow W_v \propto A$ Presestljivo!

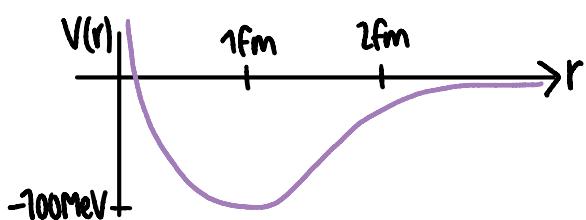
Coulombova sila: $W_c \propto (Ze)^2$, ker vsak interagira z vsakim. To sledi iz tege, ker ima Coulombska sila dolg doseg

\Rightarrow Jedorška sila ima kratek doseg!

Kako izmerimo doseg jedrske sile?
 → Sipljemo proton na neutronu (ali $p + n \rightarrow p + n$).



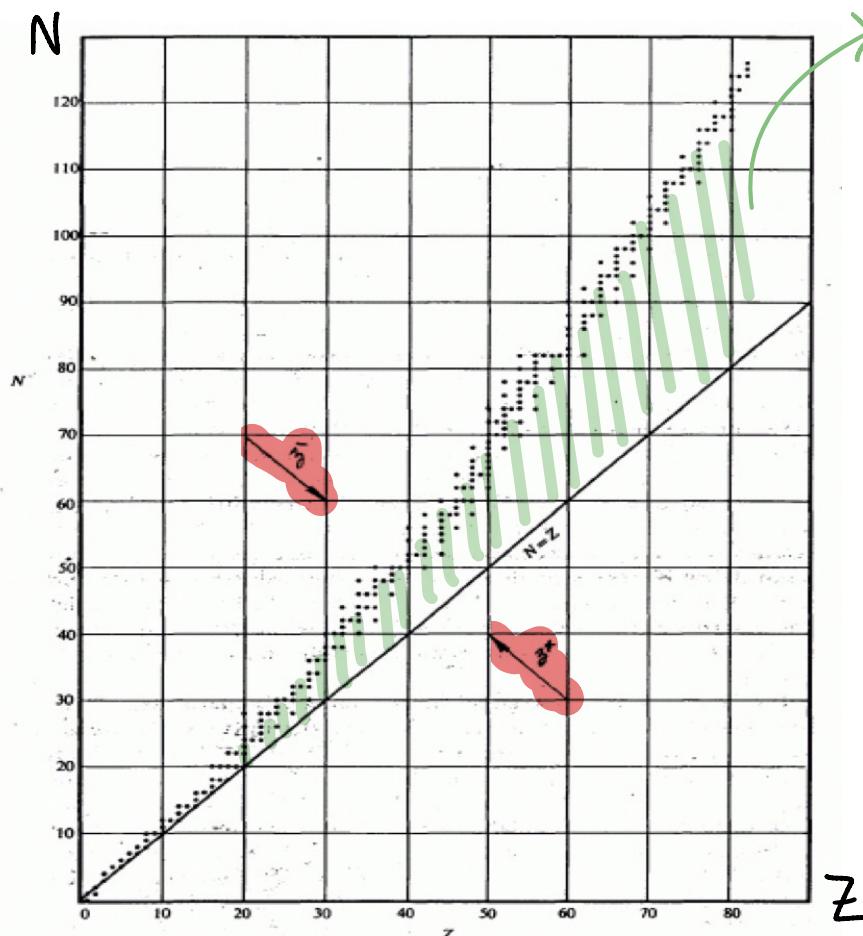
Potencial jedrske sile je neodvisen od vrste nukleonov.



Primerjamo z elektrostatiko: $V_e = \frac{e_0^2}{4\pi\epsilon_0 r} = d \cdot \frac{\hbar c}{r}$ za 1 fm $\rightarrow V_e(r=1\text{fm}) = 1.4\text{MeV}$
 \hookrightarrow Pri $r=1\text{fm}$ je $|V_g| \gg |V_e|$

Ker ima V_V minimum pri $A=56$, bodo manjša jedra težila k zlivanju, večja jedra pa k cepitvi, saj sistem vedno teži k energijsko bolj ugodnem stanju.

Stabilna jedra



Dolina stabilnosti

Pri težjih jedrih je presežek neutronov energijsko ugoden, ker zmanjšuje coulombovo en. (večja razdalja med protoni).

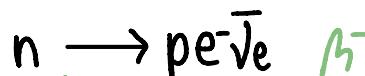
Če imamo jedro, ki ima prevelik Z pri danem N pride do β^- razpada:



$$Z \rightarrow Z-1$$

$$N \rightarrow N+1$$

$$A = \text{konst.}$$



$$N \rightarrow N-1$$

$$Z \rightarrow Z+1$$

$$A = \text{konst.}$$

Slika 6: Stabilna jedra v odvisnosti od N in Z