

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo
Oddelek za fiziko

ZBIRKA IZBRANIH POGLAVIJ IZ FIZIKE

20.a

NALOGE IZ FIZIKE II

Zbrali in uredili Martin Čopič, Bojan Golli, Tomaž Kranjc

Druga razširjena izdaja

Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije
Ljubljana 1991

KAZALO

| | |
|--|----|
| Predgovor | 4 |
| Naloge | |
| Teorija relativnosti | 5 |
| Kvantna fizika | 12 |
| Atomi z več elektroni in molekule | 21 |
| Osnove kvantne statistike | 26 |
| Elektroni v kristalih | 29 |
| Jedra in delci | 35 |
| Dodatki | |
| A. Osnovne fizikalne konstante | 40 |
| B. Nekaj matematičnih formul | 42 |
| C. Elektronske konfiguracije atomov, | 43 |
| D. Nekaj podatkov o dvoatomnih molekulah | 47 |
| E. Fermijeve energije | 47 |
| F. Širine energijske špranje | 48 |
| G. Preglednica izotopov | 48 |
| H. Preglednica nekaterih osnovnih delcev | 60 |
| Rešitve nalog | |
| Teorija relativnosti | 62 |
| Kvantna fizika | 63 |
| Atomi z več elektroni in molekule | 64 |
| Osnove kvantne statistike | 67 |
| Elektroni v kristalih | 67 |
| Jedra in delci | 68 |

PREDGOVOR

Fiziko II, ki zajema posebno teorijo relativnosti, kvantno mehaniko, atome, molekule, osnove kvantne statistike, kristale, jedra in delce, poslušajo študenti fizike v drugem letniku. Njim je namenjena ta zbirka nalog.

Naloge so nastajale, ko so predmet predavali ali vodili vaje M. Čopič, B. Golli, M. Hribar, D. Jamnik, T. Kranjc, M. Kregar, A. Likar, N. Mankoč-Borštnik in J. Strnad. Vsi so sodelovali pri sestavljanju nalog za računske in pismene vaje.

Pri nalogah so po pravilih navedeni vsi podatki razen splošnih konstant. Pri nekaterih pa si je treba pomagati s podatki iz prejšnjih nalog ali s preglednicami na koncu zbirke.

Druga izdaja vsebuje nekaj več nalog, tudi zahtevnejše, ki so zaznamovane z zvezdico. Poleg tega so pri nalogah navedeni rezultati. Ti bodo koristili študentom kot opora pri reševanju.

Ljubljana, jeseni 1990

M. Čopič, B. Golli, T. Kranjc

I. TEORIJA RELATIVNOSTI

- ✓ 1. Mioni se gibljejo s hitrostjo $0,994 c_0$. Lastni razpadni čas miona meri $2,2 \cdot 10^{-6}$ s. Kolikšen je razpadni čas v letu? Kolikšno razdaljo v povprečju prepotuje mion, preden razpade?
V ozračju se gibljejo mioni, ki jih rodijo kozmični delci v vrhnjih plasteh ozračja, s hitrostjo $0,994 c_0$ navpično navzdol. Na vrhu hriba izmerijo, da razpade v eni uri 568 mionov, ko se zaustavijo v števcu. Koliko mionov doseže vznožje hriba, 2100 m niže? Koliko mionov pa bi doseglo vznožje, če ne bi bilo podaljšanja časa? Pri poskusu so ugotovili, da razpade ob vznožju hriba v števcu 412 mionov v eni uri.
- ✓ 2. Kolikšno dolžino palice nameri opazovalec, ki se giblje glede na palico s hitrostjo $0,8 c_0$ pod kotom 30° proti smeri palice? Kolikšen je za opazovalca, za katerega palica miruje, kot med smerjo palice in smerjo gibajočega se opazovalca? Lastna dolžina palice je 1 m.
- ✓ 3. Mirajoči opazovalec vidi dva delca, ki se gibljeta drug proti drugemu, vsak s hitrostjo $0,99 c_0$ glede na opazovalca. Kolikšna je hitrost drugega delca glede na prvega?
- ✓ 4. Vesoljska ladja z dolžino 100 m se giblje mimo Zemlje s hitrostjo $0,5 c_0$. Iz zadnjega krajišča ladje proti sprednjemu izstrelimo kroglo. Opazovalec na Zemlji izmeri, da je hitrost krogla $0,9 c_0$ glede na Zemljo. Kolikšen čas potrebuje krogla, da preleti od prvega krajišča ladje do drugega, merjeno v ladji?
- ✓ 5. Ko leti vesoljska ladja na poti proti Zemlji s hitrostjo $0,6 c_0$ mimo vesoljske postaje, pošlje postajo na Zemljo radijski signal, ki doseže Zemljo 1250 s pozneje. Koliko časa traja pot vesoljske ladje od vesoljske postaje do Zemlje za opazovalca na Zemlji in za moštvo vesoljske ladje?
- ✓ 6. Vesoljska ladja se oddaljuje od Zemlje s hitrostjo $0,8 c_0$. V razdalji $6,66 \cdot 10^8$ km od nje pošljejo z Zemlje radijski signal proti vesoljski ladji. Po kolikšnem času doseže signal ladjo za opazovalca na Zemlji in za moštvo ladje?
- ✓ 7. Prva vesoljska ladja leti z Zemlje proti oddaljeni zvezdi in doseže za opazovalca na Zemlji po 3 mesecih vesoljsko postajo, ki miruje glede na Zemljo v razdalji $0,2$ svetlobnega leta. V tem trenutku pošljejo z

Zemlje za njo drugo vesoljsko ladjo s hitrostjo $0,98 c_0$. Čez koliko časa se za opazovalca na Zemlji srečata vesoljski ladji in v kolikšni razdalji? Koliko kaže tedaj ura na drugi vesoljski ladji?

- ✓ 8. Za opazovalca na Zemlji leti mimo Zemlje vesoljska ladja s hitrostjo $\frac{4}{5} c_0$ in deset minut pozneje v isti smeri z enako hitrostjo še druga ladja. Druga ladja izstrelji za prvo poštno raketo s hitrostjo $\frac{2}{5} c_0$ glede na drugo ladjo. Koliko časa traja potovanje rakete od druge do prve ladje za opazovalca na Zemlji in koliko časa za opazovalca na drugi ali prvi ladji?
- ✓ 9. Ob startu z Zemlje odda vesoljska ladja radijski signal proti 4 svetlobne tedne oddaljeni vesoljski postaji, kamor je namenjena. Signal se od postaje odbije in vesoljska ladja ga sprejme po 6 tednih, merjeno po uri na ladji. Kako hitro leti ladja? V kolikšnem času, po radijski uri, doseže ladja vesoljsko postajo?
- ✓ 10. Vesoljska ladja, ki se s hitrostjo $0,6 c_0$ približuje Zemlji, odda radijski signal. Signal se na Zemlji odbije in vesoljska ladja ga sprejme čez 14 dni, merjeno po uri na ladji. Kako daleč od Zemlje je bila ladja, ko je oddala signal? Koliko časa preteče na Zemlji od trenutka, ko sprejme Zemlja signal z ladje, do trenutka, ko zleti ladja mimo Zemlje?
- ✓ 11. Potnik na vesoljski ladji naravna uro po uri na Zemlji, ko se giblje mimo nje s hitrostjo $\frac{2}{5} c_0$. Pet najst minut pozneje se sreča z drugo vesoljsko ladjo, ki se zanj giblje proti Zemlji s hitrostjo $\frac{3}{5} c_0$. Koliko časa preteče med srečanjem s prvo in z drugo ladjo za opazovalca na Zemlji?
- ✓ 12. Vesoljska ladja z lastno dolžino 50 m leti s hitrostjo $0,6 c_0$ skozi vesoljsko postajo z lastno dolžino 200 m. Koliko časa traja let vesoljske ladje skozi vesoljsko postajo za postajenčnika in koliko za potnika? Let ladje skozi postajo štejemo od trenutka, ko doseže konica ladje vhod, do trenutka, ko zapusti rep ladje izhod postaje.
- ✓ 13. Za opazovalca v galaksiji se oddaljuje prva galaksija s hitrostjo $0,6 c_0$, druga galaksija pa s hitrostjo $0,7 c_0$ v nasprotni smeri. S kolikšno hitrostjo se za opazovalca v prvi galaksiji oddaljuje druga galaksija?
- ✓ 14. Prva vesoljska ladja leti mimo Zemlje s hitrostjo $0,6 c_0$, druga pa v isti smeri s hitrostjo $0,9 c_0$. Kolikšni so časi prehitevanja obeh ladij za vesoljca na prvi in drugi ladji in za opazovalca na Zemlji? Vsaka od ladij je v lastnem sistemu dolga 50 m. $t_2 = 0,59 \mu\text{s}$
- ✓ 15. Prva vesoljska ladja se oddaljuje od Zemlje s hitrostjo $0,8 c_0$, druga pa leti v isti smeri s hitrostjo $0,9 c_0$. Kolikšna je hitrost druge ladje za vesoljca v prvi in kolikšna hitrost prve za vesoljca v drugi?
- ✓ 16. Opazovalec v raketni, ki se pospešeno giblje v breztežnem prostoru, nameri v svojem sistemu konstanten pospešek $0,01 \text{ g}$. Kolikšno razdaljo prepotuje raketa, ki sprva miruje, glede na mirujočega opazovalca, ko preteče v raketni eno leto?

17. Kolikšna je hitrost delca, če je razmerje med relativistično kinetično energijo delca in kinetično energijo, ki bi jo imel po klasični mehaniki, enako 1,01? Isto izračunaj še za razmerje 1,1 in 5.

18. Kolikšna je kinetična energija protona, katerega gibalna količina je $800 \text{ MeV}/c_0$?

19. V pospeševalniku dobimo protone s kinetično energijo 6000 MeV . Za koliko kilometrov na sekundo je njihova hitrost različna od hitrosti svetlobe?

20. Iz curka nabitih delcev, ki nastanejo v tarči pospeševalnika, izločijo curek nabitih pionov s kinetično energijo 200 MeV . Skozi prvi števec gre 10^6 pionov na sekundo. Koliko pionov na sekundo gre skozi drugi števec, ki je v smeri toku oddaljen od prvega za 5 m? Oba števca zajameta vse pione v curku. Lastni razpadni čas nabitega piona je $2,6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.

21. Tok protonov $5 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1}$ s kinetično energijo 900 MeV se zaustavlja v tarči. Kolikšna moč se rabi v tarči in s kolikšno silo deluje curek na tarčo?

22. Fotonsko raketno poganja nasprotna sila curka svetlobe. Kolikšno hitrost doseže raketa v opazovalnem sistemu, v katerem je v začetku mirovala, ko je izsevala polovico začetne lastne mase?

23. Elektron se giblje v homogenem električnem polju z jakostjo $1,75 \text{ kV/m}$. Kolikšna je njegova hitrost po $1 \mu\text{s}$, če na začetku miruje? Kolikšno pot preteče elektron v tem času? Kolikšna je naposled njegova kinetična energija?

24. Elektron pospešujemo v vakuumu z električnim poljem, ki ima jakost 10^6 V/m . Kolikšno pot v smeri polja opravi elektron, ki je sprva miroval, preden doseže 80 % svetlobne hitrosti? V kolikšnem času opravi to pot?

25. Elektron, ki ga je pospešila napetost 100 kV , prileti v prečno homogeno električno polje z jakostjo 1 kV/m . Kako hitro se giblje elektron po 30 ns in kolikšen je tedaj njegov odmik od prvotne smeri?

26. Negativni pioni se gibljejo v prečnem homogenem magnetnem polju z gostoto $0,5 \text{ T}$ po krogu s polmerom 3 m. Kolikšno pot naredijo v povprečju, preden razpadajo? Lastna energija negativnega piona je $139,6 \text{ MeV}$, lastni razpadni čas pa $2,60 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.

27. Elektron, ki sprva miruje, pospeši napetost $1,02 \cdot 10^6 \text{ V}$. Nato prileti v prečno homogeno magnetno polje z gostoto $0,048 \text{ T}$ tako, da zakroži pravokotno na silnice. Kolikšen je premer tira?

28. Elektron prileti s hitrostjo $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ v električno in magnetno polje. Jakost električnega polja 10^8 V/m je za kot 30° nagnjena proti hitrosti elektrona, gostota magnetnega polja 1 T pa je pravokotna

na ravno hitrosti in jakosti električnega polja. Izračunaj velikost tri razsežnega vektorja pospeška elektrona in določi njegovo smer glede na smer hitrosti!

✓ 29. V kolikšnem času doseže elektron, ki spočetka miruje, v homogenem električnem polju z jakostjo 1000 V/cm hitrost $0,9 c_0$? ✓

✓ 30. Električno polje z jakostjo 10^7 V/m je pravokotno na magnetno polje z gostoto $0,1 \text{ T}$. Proton s hitrostjo 10^8 m/s se giblje pravokotno na smer magnetnega polja pod kotom 30° proti smeri električnega polja. Kolikšna je velikost pospeška?

31. V CERN-u pri Ženevi je delovala velika evropska mehurčna celica (BEBG), v kateri je bilo magnetno polje $3,5 \text{ T}$ in premer vidnega polja $3,7 \text{ m}$. Kolikšna bi bila kinetična energija protona z največjo merljivo gibalno količino, če bi na $3,7 \text{ m}$ dolgem tiru lahko ugotovili še odmik za $0,1 \text{ mm}$ od premice?

✓ 32. Pri kateri kinetični energiji elektronov in protonov je nerelativistična frekvanca kroženja v prečnem magnetnem polju za 1% manjša od relativistične vrednosti?

✓ 33. Prepričaj se, da prosti elektron ne more izsevati fotona! ✓

✓ 34. Pri neki jedrski reakciji se hitri proton s kinetično energijo 6 GeV zaleti v proton, ki miruje v tarči. Kolikšen del energije, ki jo ima hitri proton, se lahko porabi za nastanek novih delcev?

✓ 35. Foton z energijo, ki je veliko večja od lastne energije elektrona, trči z mirujočim elektronom. Kolikšna je lahko največ energija odrivnega elektrona?

✓ 36. Pri trku fotona z elektronom nastane par elektron-pozitron:

$$\gamma + e^- \rightarrow e^- + (e^- + e^+)$$

Kolikšna mora najmanj biti energija fotona, da je reakcija mogoča?

Primerjaj rezultat z rezultatom, ki ga dobiš za tvorbo parov v bližini atomskega jeda!

✓ 37. Pozitron s kinetično energijo 20 MeV se v letu anihilira z mirujočim elektronom. Kolikšni sta energiji nastalih fotonov γ , od katerih odleti prvi v smeri leta, drugi pa v nasprotni smeri? Pod kolikšnim kotom proti prvotni smeri odletita nastala fotona γ , če imata enako energijo?

✓ 38. Antineutrino z energijo 2 MeV zadene proton, pri čemer nastaneta neutron in pozitron. Kolikšna je kinetična energija nastalega pozitrona, če odleti v smeri naprej?

✓ 39. Pozitron z energijo 500 keV se anihilira z mirujočim elektronom. Nastala fotona odletita v smeri gibanja pozitrona in v nasprotni smeri. Kolikšni sta energiji fotonov?

✓ 40. Kolikšna mora biti vsaj kinetična energija elektrona, ki se zaleti v drug mirujoči elektron, da lahko nastane dodatni par elektron-pozitron? ✓

✓ 41. Elektron s kinetično energijo 20 MeV prožno trči z mirujočim elektronom. Pod kolikšnim najmanjšim kotom lahko odletita elektrona po trku? ↑ (tr 60) ✓

✓ 42. Proton, katerega kinetična energija je enaka njegovi mirovni energiji, prožno trči z mirujočim protonom in odleti pod kotom 30° glede na vpadno smer. Kolikšna je kinetična energija drugega protona po trku?

✓ 43. Pri poskusu s hitrimi delci so določili pri gibalni količini $5,5 \text{ GeV}/c_0$ odvod hitrosti po gibalni količini $dv/dp = 0,017 c_0^2/\text{GeV}$. Ali so bili ti delci protoni, devteroni ali triton?

✓ 44. Negativni pion s kinetično energijo 100 MeV razpade v letu na elektron in antineutrino. Kolikšna je kinetična energija elektrona, ki odleti v isti smeri, kot se je gibal pion? ?? Rev (neutrino 217 MeV) ?

✓ 45. Največ koliko nevtralnih pionov lahko nastane pri trku fotona z energijo 3 GeV z mirujočim protonom? 18 ✓

✓ 46. Vsaj kolikšno kinetično energijo bi moral imeti elektron, da bi pri trku z mirujočim elektronom lahko nastal mionski par? Ali je mogoče to reakcijo opazovati v laboratoriju, če doseže najzmožljivejši pospeševalnik za elektrone kinetično energijo 50 GeV ? Elektron ima lastno energijo $0,51 \text{ MeV}$, mion pa $105,7 \text{ MeV}$.

✓ 47. Vsaj kolikšno skupno kinetično energijo morata imeti elektron in pozitron, ki čelno trčita v trkalniku, da lahko nastane mionski par? Primerjaj dobljeni rezultat z rezultatom prejšnje naloge!

✓ 48. Najmanj kolikšno energijo mora imeti foton, da lahko rodi na protonu pionski trojček π^+, π^0 in π^- ? Lastna energija protona je $938,3 \text{ MeV}$, nabitih pionov $139,6 \text{ MeV}$ in nevtralnega piona $135,0 \text{ MeV}$.

✓ 49. Kolikšno najmanjšo kinetično energijo mora imeti proton, ki zadene drug mirujoč proton, da sproži reakcijo $p + p \rightarrow p + n + \pi^+$? Kolikšen del kinetične energije vpadnega protona se porabi za kinetično energijo nastalih delcev?

Ponovi račun za primer, ko trči proton v mirujoč nevron in sproži reakcijo $p + n \rightarrow p + p + \pi^-$.

✓ 50. Delec ψ z lastno energijo $3,1 \text{ GeV}$ nastane pri trku elektrona s pozitronom. Poskuse delajo v pozitronsko-elektronskem nakopičevalniku, v katerem zadene curek pozitronov z izbrano energijo nasprotni curek elektronov z enako energijo. Kolikšna mora biti kinetična energija elektronov in pozitronov, da nastane delec ψ ? Kolikšna pa bi morala biti energija pozitrona, da bi nastal delec ψ pri trku z mirujočim elektronom?

- ✓ 51. Proton s kinetično energijo 1 GeV prožno trči z mirujočim protonom v vodikovi mehurčni celici. Kolikšen je kot med protonskima sledema po trku, če ima eden izmed protonov polovico kinetične energije vpadnega protona?
- ✓ 52. Nevtralni pion s kinetično energijo 6 GeV razpade na dva fotona. Kolikšna je energija fotona, ki odleti v smeri piona, in kolikšna drugega fotona, ki odleti v nasprotni smeri? Kolikšna pa je energija vsakega od obeh fotonov, če odletita simetrično glede na smer piona? Pod kakšnim kotom proti smeri gibanja piona odletita?
- ✓ 53. Kolikšno kinetično energijo mora vsaj imeti delec α , da sproži jedrsko reakcijo ${}^4\text{He} + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{17}\text{O} + {}^1\text{H}$?
- ✓ 54. Kolikšno energijo ima foton pri reakciji ${}^{10}\text{B} + {}^1n \rightarrow {}^{11}\text{B} + \gamma$, če ima nevron na začetku zanemarljivo kinetično energijo?
- ✓ 55. Pozitivni pion s kinetično energijo 100 MeV razpade v letu na pozitivni mion s kinetično energijo 80 MeV in na nevtrino. Pod kolikšnim kotom proti smeri gibanja piona odletita mion in nevtrino in kolikšno energijo ima nevtrino?
- ✓ 56. Pozitivni pion s kinetično energijo 100 MeV razpade v letu na pozitivni mion, ki odleti pod kotom 10° proti smeri gibanja piona, in na nevtrino. Kolikšno kinetično energijo imata lahko mion in nevtrino in pod kolikšnim kotom lahko odleti nevtrino?
- ✓ 57. Kaon K^0 s kinetično energijo 0,6 GeV razpade na pozitivni in negativni pion. Kolikšna je lahko najmanjša in kolikšna največja kinetična energija enega izmed pionov?
- ✓ 58. V nekem inercialnem sistemu imamo homogeno električno polje z jakostjo \mathbf{E} in nanj pravokotno magnetno polje z gostoto \mathbf{B} . Pokaži, da lahko najdemo tak inercialni opazovalni sistem, da je v njem eno od polj enako nič, ražen če je $E = c_0 B$!
- ✓ 59. Pokaži, da sta izraza $\mathbf{E} \cdot \mathbf{B}$ in $(E/c_0)^2 - B^2$ Lorentzovi invarianti!
- ✓ 60. Izračunaj jakost električnega in gostoto magnetnega polja, ki ju ustvari delec α , ko leti s hitrostjo $1,5 \cdot 10^4 \text{ km/s}$ v razdalji $1 \mu\text{m}$ mimo opazovalca!
- ✓ 61. Vesoljska ladja se približuje Zemlji. Proti njej pošljejo radarski signal s frekvenco 10 GHz. Odbiti signal ima frekvenco 15 GHz. Kolikšna je hitrost ladje glede na Zemljo? *Sprejet na ladji!!*
- ✓ 62. Vesoljska ladja se približuje Zemlji s hitrostjo $0,6 c_0$ pod kotom 30° glede na zveznico z radijskim oddajnikom na Zemlji. Kolikšno frekvenco izmeri in pod kolikšnim kotom sprejema signale opazovalec v ladji? Oddajnik na Zemlji deluje s frekvenco 100 MHz.
- ✓ 63. V laboratorijskem sistemu miruje izvir svetlobe, vodikov atom pa se giblje s hitrostjo 3000 km/s. V težišnem sistemu, v katerem miruje,

absorbira atom foton z energijo 1,02 eV, ki prileti pod kotom 60° glede na smer gibanja atoma. Kolikšna je v laboratorijskem sistemu frekvanca svetlobe, ki jo absorbira atom? Kolikšen je v tem sistemu kót med smerjo gibanja atoma in smerjo fotona?

II. KVANTNA FIZIKA

- ✓ 1. Kolikšna bi morala biti ločljivost spektroskopa, s katerim bi radi opazovali Comptonov pojav pri sipanju enobarvne svetlobe z valovno dolžino 588,995 nm?
- ✓ 2. Kolikšna naj bo napetost na rentgenski cevi, da bo najmanjša valovna dolžina v zveznem spektru enaka Comptonovi valovni dolžini elektrona?
- ✓ 3. Kolikšna naj bo energija fotonov enobarvnega rentgenskega sevanja, da se pri Comptonovem pojavu fotonom, ki se sipanje pod kotom 180° glede na vpadni curek, zmanjša energija na polovico začetne vrednosti?
- ✓ 4. Foton z valovno dolžino 0,154 nm se comptonsko sipanje na mirujočem elektronu in odleti pod kotom 30° glede na vpadno smer. Pod kolikšnim kotom in s kolikšno kinetično energijo odleti elektron? Ali je potrebna relativistična obravnava?
- ✓ 5. Foton z energijo 255 keV zadene mirujoč elektron in se odkloni za 180° . Kako hitro se giblje elektron po trku?
- ✓ 6. Pri Comptonovem pojavu v magnetnem polju z gostoto 0,002 T se sipanje foton pod kotom 90° glede na vpadno smer, elektron pa v ravnini, pravokotni na magnetno polje, opiše krog z radijem 2 cm. Kolikšna je valovna dolžina vpadne svetlobe?
- ✓ 7. Fotoni z energijo 1 MeV povzročajo Comptonov pojav v vodi. Za kolikšen kot se mora odkloniti foton od vpadne smeri, da odrinjeni elektron seva sevanje Čerenkova v vodi z lomnim kvocientom 1,33? Pod kolikšnim kotom odleti tedaj elektron proti smeri vpadnega fotona?
- ✓ 8. Pri kolikšni hitrosti je de Brogljeva valovna dolžina delca enaka njegovi Comptonovi valovni dolžini? $\lambda_B = \frac{h}{p}$
- ✓ 9. Pri Comptonovem pojavu opazujemo sipanje rentgenske svetlobe z valovno dolžino 0,071 nm pod kotom 45° glede na vpadni curek. Kolikšno gibalno količino prevzame pri tem elektron (v enotah eV/c_0)? Najmanj kolikšna mora biti napetost na rentgenski cevi, da dobimo svetlobo z omenjeno valovno dolžino?
- ✓ 10. Sipanje hitrih elektronov na fotonih z majhno energijo (obratni Comptonov pojav) je vzrok za to, da hitri elektroni z drugih galaksij ne dospejo

do naše. Med galaksijami je namreč prasevanje, katerega spekter ustreza spektru črnega telesa s temperaturo 2,8 K. Elektron s kinetično energijo 1 GeV naj trči s fotonom, katerega energija ustreza kT pri 3 K. Kolikšni sta v skrajnjem primeru energiji fotona in elektrona po trku?

- ✓ 11. Svetloba živosrebrne svetilke z valovno dolžino 435,8 nm pada na površino cezija. S kolikšno največjo energijo zapustijo površino fotoelektroni, če je izstopna energija 1,9 eV?
- ✓ 12. Pri opazovanju fotoefekta na kalciju izmerimo sledeče mejne zavorne napetosti v odvisnosti od valovne dolžine svetlobe:

| | | | | |
|----------------|------|------|------|------|
| λ [nm] | 254 | 313 | 365 | 405 |
| U [V] | 1,95 | 0,98 | 0,50 | 0,14 |

Poisci Planckovo konstanto!

- ✓ 13. V kristalu so kristalne ravnine v razmiku 0,21 nm. Kolikšno najmanjšo energijo morajo imeti elektroni, da še dobimo Braggov odboj? Kolikšno najmanjšo energijo pa morajo imeti nevroni?
- ✓ 14. Svetloba K_α iz rentgenske cevi z molibdenovo anodo zadene kos grafita. S kristalom z razdaljo 0,3 nm med sosednjima mrežnima ravninama preiskujemo rentgensko svetlobo, ki se sipa v kosu grafita za kot 75° proti vpadni smeri. Za kolikšen kot moramo zasukati kristal, da se ojači curek sipane svetlobe z večjo valovno dolžino, če je bil kristal prvotno naravnан na valovno dolžino vpadne svetlobe? Črta K_α se pojavi v spektru, ko napetost na rentgenski cevi preseže 17,4 kV.
- ✓ 15. S curkom rentgenske svetlobe z valovno dolžino 0,179 nm posvetimo na baker. Baker kristalizira v ploskovno centrirani kubični mreži in ima gostoto $8,93 \text{ g/cm}^3$. Pri katerem kotu dobimo prvi odboj na mrežni ravnini z Millerjevimi indeksi (1,1,1)? Masa kilomola bakra je 63,5 kg.
- ✓ 16. Curek elektronov, ki jih pospeši napetost 150 V, pada pod kotom 30° proti pravokotnici na mejno ravnino kristala. Curek leži v ravnini, ki je pravokotna na vrste atomov v razmiku 0,215 nm. Pod katerimi koti nastopi ojačeni odboj?
- ✓ 17. Elektroni s kinetično energijo 250 keV gredo skozi grafitno ploščico. Kolikšen je polmer (prvega) kolobarja na zaslonu 30 cm za ploščico, če je razdalja med vrstami ogljikovih atomov 0,12 nm? Kolikšna je ločljivost elektronskega mikroskopa za to kinetično energijo, če je numerična apertura objektiva 0,002? $\text{f} \times \rightarrow 11 \text{ mm}$
- ✓ 18. Curek elektronov s kinetično energijo 250 000 eV gre skozi bakreni listič in pada na 1,5 m oddaljeni zaslon. Kolikšen je radij prvega interferenčnega kolobarja? Za koliko volтов bi bilo treba spremeniti pospeševalno napetost, da bi ostal radij kolobarja nespremenjen, ko $dU = -0,4 \text{ V}$, $r = 27 \text{ cm}$

bi temperatura lističa narasla za 1 stopinjo? Razmik med sosednjima atomoma v bakru je $0,255 \text{ nm}$, linearni temperaturni koeficient bakra pa je $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Baker ima ploskovno centrirano kubično strukturo, prvi ojačeni odboj dobimo na ravnini $(1,1,1)$.

- ✓ 19. Curek neutronov z določeno kinetično energijo pripravimo z interferenčnim poskusom na monokristalu svinca. Curek usmerimo na drug monokristal svinca in dobimo tole porazdelitev toka neutronov po sipalnem kotu:

| ϑ | $25,5^\circ$ | 26° | $26,5^\circ$ | 27° | $27,5^\circ$ | 28° |
|-------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|-----------------------|
| I_n | 26,5 | 212 | 374 | 100 | 38,5 | $27,2 \text{ s}^{-1}$ |

Svinec kristalizira v ploskovno centrirani kubični mreži z robom osnovne celice $0,494 \text{ nm}$. Drugi kristal je odrezan in nameščen tako, da je najmočnejši odboj na mrežnih ravninah z indeksi $(1,1,1)$. Pri manjših sipalnih kotih ni ojačanih curkov. Kolikšna je valovna dolžina neutronov v curku?

- ✓ 20. Rentgenska svetloba z valovno dolžino $0,154 \text{ nm}$ se pri sisanju na kristalu kalijevega klorida KCl ojača pod koti $53,1^\circ, 56,7^\circ, 60,6^\circ, 64,9^\circ, 69,7^\circ$ in $75,8^\circ$. Kalij in klor imata atomski števili 39 in 35,5, gostota kristala je $1,98 \text{ g/cm}^3$. Poišči Avogadrovo število!

- ✓ 21. Zapiši valovno funkcijo elektrona, ki se giblje v določeni smeri z ostro določeno kinetično energijo 10 eV ! Gostota toka elektronov je 1 A/cm^2 .

- ✓ 22. Zapiši valovno funkcijo za elektron z energijo 100 eV , ki se giblje v določeni smeri. V 1 m debeli plasti, ki je pravokotna na smer gibanja, je 1 elektron.

- ✓ 23. Curek elektronov z energijo 10 eV zadene na pravokotni potencialni prag, ki je visok 3 eV . Kolikšen del elektronskega toka se odbije?

- ✓ 24. Curek elektronov s kinetično energijo 40 eV pada poševno na površje kristala, v katerem je potencialna energija za 10 eV manjša kot zunaj. Kolikšen je lomni kvocient?

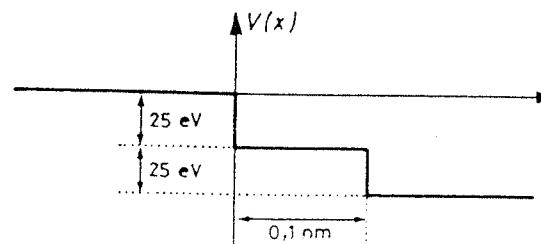
- ✓ 25. Izračunaj prepustnost pravokotne potencialne jame s širino $0,1 \text{ nm}$ in z globino 10 eV za elektrone z različnimi kinetičnimi energijami! Komentiraj resonančne pojave!

- ✓ 26. Curek 500 elektronov na sekundo s kinetično energijo 3 eV vpada proti pravokotni potencialni jami z globino 5 eV in širino $0,3 \text{ nm}$. Koliko elektronov na sekundo prečka jamo? Za koliko moramo elektronom povečati energijo, da se na jami noben ne odbije?

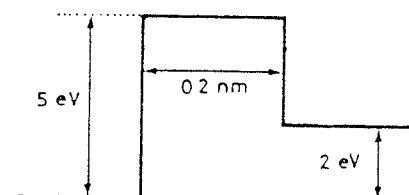
- ✓ 27. Atom kriptona lahko v prvem približku opišemo kot ravno pravokotno potencialno jamo s širino $0,41 \text{ nm}$. Pri sisanju elektrona opazimo, da kaže kripton veliko prepustnost za elektrone s kinetično energijo $0,7 \text{ eV}$. Kolikšna je efektivna globina jame?

- ✓ 28. Kolikšna je verjetnost za prehod elektrona z energijo 10 eV skozi pravokotno potencialno plast z višino 12 eV in z debelino $0,1 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 0,1 \mu\text{m}$)?

- ✓ 29. Curek elektronov, ki jih pospeši napetost 100 V , pada na dvojni potencialni skok



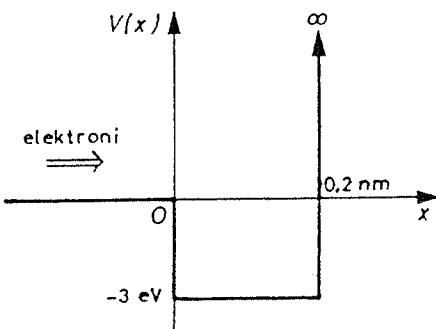
S takšnim potencialnim skokom lahko približno opišemo površje kovine, ki je prekrita s tanko plastjo oksida. Kolišen del elektronov se odbije?



- ✓ 30. Curek elektronov s kinetično energijo 10 eV pada pravokotno na potencialni skok (na sliki). Kolikšna je prepustnost?

- ✓ 31. V vakuumu pospešuje elektrone anoda v obliki vzdolžne preluknjane valjaste škatle, ki ima proti katodi napetost -10 V . Tik za anodo je druga taka elektroda, ki ima proti katodi napetost $+2 \text{ V}$. Kolikšen tok elektronov vstopa v drugo elektrodo, če teče s katode skozi anodo tok 10^{-7} A ?

- ✓ 32. Curek elektronov, ki se gibljejo s hitrostjo 2000 m/s , zadene ob zelo tanko in zelo visoko potencialno plast, za katero je produkt višine in debeline $10^{-3} \text{ eV}\cdot\text{nm}$. Kolikšen del elektronov prepusti plast?



- ✓ 33. Pravokotno na ravno potencialno plast na sliki vpada curek elektronov s kinetično energijo 10 eV . Prepričaj se, da se vsi elektroni odbijejo! Zapiši verjetnostno gostoto v plasti!

✓ 34. Kolikšna bi bila energija delca z maso $1 \mu\text{g}$ v neskončno globoki potencialni jami s širino 1 cm v najnižjih stacionarnih stanjih? V katerem stanju je energija 10^{-7} J ? Kolikšna je razdalja med sosednjimi energijskimi nivoji pri tej energiji? Ali lahko pri merjenju ločimo sosednji enodelčni stanji drugo od drugega?

✓ 35. Kolikšno energijo ima v osnovnem stanju elektron, ki je v neskončno globoki potencialni jami s širino 0,3 nm? Zapiši valovno funkcijo za elektron!

✓ 36. Elektron je v neskončni ravni potencialni jami s širino $2x_0 = 0,25 \text{ nm}$ v stanju, ki ga opisuje valovna funkcija $\Psi(x) = A(x_0^6 - x^6)$. Kolikšna je verjetnost, da naletimo na elektron med $-x_0/2$ in $x_0/2$? Kolikšen je povprečni kvadrat elektronovega odmika od sredine jame?

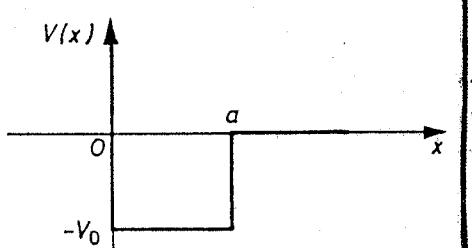
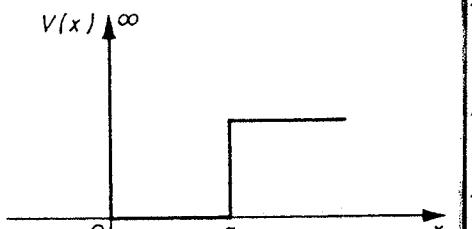
✓ 37. V neskončno globoki ravni potencialni jami s širino $2x_0 = 1 \text{ nm}$ je elektron, katerega stanje opišemo z valovno funkcijo $\Psi(x) = A(x_0^2 - x^2)$. Kolikšna je povprečna vrednost energije elektrona v tem stanju?

✓ 38. Elektron je v neskončni ravni potencialni jami s širino $2x_0 = 0,6 \text{ nm}$ v stanju, ki ga opisuje valovna funkcija

$$(10x_0)^{-1/2}(\cos \pi x/2x_0 + 3 \sin \pi x/x_0).$$

Kolikšni sta povprečni vrednosti gibalne količine in kinetične energije?

✓ 39. Delec je v enorazsežni potencialni jami, ki jo kaže risba. V notranjosti opisuje delec valovna funkcija $A \cdot \sin kz$, pri čemer je $ka = 2\pi/3$ (a je širina jame), lastna energija delca pa je $3/4$ globine jame. Kolikšna je verjetnost, da naletimo na delec zunaj jame?



✓ 40. Ali je elektron v potencialnem loncu, ki ga kaže slika ($V_0 = 2 \text{ eV}$, $a = 0,3 \text{ nm}$), lahko vezan? Če je, kolikšna je energija vezanega stanja?

✓ 41. Kroglast delec s premerom $1 \mu\text{m}$ in z gostoto 2 g/cm^3 se giblje s hitrostjo $50 \mu\text{m/s}$. Z mikroskopom določimo lego delca na $0,05 \mu\text{m}$ natančno, z mikroskopom in stoparico pa še hitrost na $1 \mu\text{m/s}$ natančno. Izračunaj razmerje med produktom nedoločenosti za koordinato in ustrezeno komponento gibalne količine in Planckovo konstanto. Ali je treba za ta delec uporabiti kvantno mehaniko?

✓ 42. Valovna funkcija elektrona v neskončni ravni potencialni jami je sorazmerna z $X_1 + 3X_3$. Pri tem sta X_1 in X_3 normirani lastni funkciji za osnovno in drugo vzbujeno stanje. Poišči k dani valovni funkciji ortogonalno valovno funkcijo, ki je sestavljena iz linearne kombinacije X_1 in X_3 ! Normiraj dobljeno in dano valovno funkcijo in izračunaj ustrezeni povprečni vrednosti kinetične energije! Širina jame je $0,4 \text{ nm}$.

✓ 43. Elektron je vezan v neskončni ravni potencialni jami s širino $0,2 \text{ nm}$. Sestavljeni stanje opiše funkcija $X_5/5 + X_3/3 + X_1$, če so X_1 , X_3 in X_5 po vrsti lastne funkcije za elektron v osnovnem stanju in v drugem in četrtem vzbujenem stanju. Normiraj funkcijo stanja in poišči povprečno vrednost energije! Izračunaj še funkcijo stanja, ki jo sestavlja funkciji X_3 in X_5 in je ortogonalna k zapisani funkciji! Tudi to normiraj in poišči povprečno vrednost energije!

✓ 44. Harmonični oscilator ($\nu = 10^{10} \text{ s}^{-1}$, $m = 10^{-30} \text{ kg}$) niha z energijo $3\hbar\nu/2$. Določi meje klasičnega nihanja in klasično verjetnostno gostoto za delec! Kolikšna je verjetnost, da je delec zunaj meja klasičnega nihanja?

numerično!

✓ 45. Izračunaj nedoločenost $\langle x^2 \rangle^{1/2}$ za harmonični oscilator v osnovnem in v prvem vzbujenem stanju in jo primerjaj z amplitudo klasičnega oscilatorja, ki niha z enako energijo!

✓ 46. Izračunaj produkt nedoločenosti lege in gibalne količine za delec v neskončno globoki potencialni jami v osnovnem in prvem vzbujenem stanju!

✓ 47. Izračunaj produkt nedoločenosti $\Delta p \Delta x$ za harmonični oscilator v osnovnem stanju!

✓ 48. Elektron v harmoničnem potencialu ima v osnovnem stanju energijo 100 eV . Kolikšni sta povprečna vrednost kinetične in potencialne energije v tem stanju? Ali imata energiji ostro določeno vrednost? Računaj z normirano valovno funkcijo za osnovno stanje!

✓ 49. V nekem trenutku opišemo valovni paket z valovno funkcijo

$$\psi(x) = A \exp\left(\frac{-(x-x_0)^2}{2a^2} + \frac{i p_0 x}{\hbar}\right)$$

Določi: $|A|$, $\langle x \rangle$, $\phi(p)$, $(\delta p)^2$, $\delta p \cdot \delta x$, povprečno vrednost kinetične energije in verjetnostni tok!

✓ 50. Harmonični oscilator je ob času t_0 v stanju, ki ga podaja valovna funkcija

$$\psi(x, t=0) = A \left(\frac{2x^2}{a^2} + \frac{ix}{a} \right) \exp\left(-\frac{x^2}{2a^2}\right)$$

kjer je $a = \sqrt{\hbar/m\omega}$. Kolikšna je povprečna vrednost energije ob času $t = 0$? Zapiši časovni razvoj funkcije!

- ✓ 51. Delec v neskončni potencialni jami je ob času $t = 0$ v nestacionarnem stanju, ki ga opišemo z valovno funkcijo

$$\psi(t=0) = \frac{1}{\sqrt{2}}(X_1 + X_3), \quad \chi_1 + \chi_3 \Rightarrow \langle \chi(f) \rangle = \frac{16}{3\pi^2} \cos \frac{3\pi}{4} t$$

kjer sta X_1 in X_3 lastni funkciji za osnovno in drugo vzbujeno lastno stanje. Kakšna je valovna funkcija $\psi(t)$ v kasnejšem času, kolikšna je verjetnostna gostota $|\psi(t)|^2$ in kolikšna je povprečna koordinata $\langle z(t) \rangle$?

- ✓ 52. Kolikšna sta povprečna vrednost in koren povprečne vrednosti kvadrata oddaljenosti elektrona od jedra vodika v osnovnem stanju? Krajevni del valovne funkcije za osnovno stanje je

$$u_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi r_B^3}} \exp\left(\frac{-r}{r_B}\right), \quad r_B \text{ je Bohrov radij.}$$

- ✓ 53. Kolikšna je povprečna potencialna energija elektrona v atomu vodika v osnovnem stanju?

- ✓ 54. Atom vodika je v stanju, ki ga opišemo z valovno funkcijo

$$\psi = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} f(r, \vartheta)(\cos \phi + i\sqrt{3} \sin \phi).$$

Klikšna je povprečna vrednost komponente \hat{L}_z vrtilne količine, če je njen operator $-i\hbar\partial/\partial\phi$ in je

$$\int f(r, \vartheta) f(r, \vartheta)^* r^2 dr d(\cos \vartheta) = 1.$$

- ✓ 55. Kolikšna je verjetnost, da naletimo v vodikovem atomu na elektron v osnovnem stanju zunaj krogle z radijem, ki je enak povprečni oddaljenosti elektrona od jedra?

- ✓ 56. Vodikov atom je v osnovnem stanju z radialnim delom valovne funkcije $2r_B^{-3/2} e^{-r/r_B}$. S kolikšno verjetnostjo naletimo na elektron v razdalji med $\frac{1}{2}r_B$ in $\frac{3}{2}r_B$ od jedra? Pri kateri razdalji je radialna verjetnostna gostota največja?

- ✓ 57. Atom vodika v stanju s kvantnimi števili $n = 2, l = 1$ in $m_l = 0$ opiše lastna valovna funkcija

$$\frac{1}{2\sqrt{8\pi r_B^3}} \frac{r}{r_B} \exp\left(\frac{-r}{2r_B}\right) \cos \vartheta.$$

Klikšna je povprečna vrednost potencialne energije? Primerjaj rezultat z rezultatom, ki ga predvideva Bohrov račun za elektron v stanju z glavnim kvantnim številom 2.

- ✓ 58. Atom vodika je v vzbujenem stanju z $n = 2$ in $l = 0$, ki ga opisuje lastna valovna funkcija z radialnim delom

$$R_{20} = 2\left(\frac{1}{\sqrt{2r_B}}\right)^3 \left(1 - \frac{r}{2r_B}\right) \exp\left(\frac{-r}{2r_B}\right).$$

Preveri, ali je funkcija normirana. Kolikšna je verjetnost, da je elektron:

- a) v razdalji med $\langle r \rangle$ in $\langle r^2 \rangle^{1/2}$ od jedra,
- b) v razdalji, večji kot $10 r_B$,
- c) zunaj krogle, po katere površju je valovna funkcija enaka 0?

- ✓ 59. V danem trenutku opišemo vodikov atom z valovno funkcijo, ki je sorazmerna z $R_1 + 2R_2$. Poisci ortogonalno valovno funkcijo! Kolikšno je razmerje med povprečno energijo v navedenem stanju in povprečno energijo v ortogonalnem stanju? Izračunaj povprečni radij za obe stanji!

- ✓ 60. V vodikovem atomu se enodelčne lastne energije premaknejo zaradi sklopitev med tirno (\hat{l}) in spinsko vrtilno količino ($\hat{\sigma}$) za

$$\Delta W = \frac{e_0^2}{8\pi\epsilon_0 m^2 c_0^2} \left(\frac{1}{r^3}\right) \langle \hat{\sigma} \cdot \hat{l} \rangle.$$

Izračunaj ΔW za vodikov atom v stanju

$$\psi_{211}(r, \vartheta, \phi) = \frac{1}{8\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{r_B^3}} \frac{r}{r_B} \exp\left(\frac{-r}{2r_B}\right) \sin \vartheta e^{i\phi},$$

pri čemer je r_B Bohrov polmer!

- ✓ 61. Delec z maso $m = 10^{-30}$ kg v potencialu $V = \frac{1}{2}kx^2$, $k = 50$ eV/nm², opisuje valovna funkcija

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}}} \exp\left(\frac{-\alpha^2(x-a)^2}{2}\right),$$

$a = 0.3$ nm, $\alpha = \sqrt[4]{mk/\hbar^2}$. Izračunaj pričakovano vrednost energije delca! Kolikšna je verjetnost, da dobimo pri meritvi energije vrednost $\frac{3}{2}\hbar\sqrt{k/m}$?

Valovno funkcijo $\psi(x)$ razvij po lastnih funkcijah harmoničnega oscilatorja. Pri tem velja

$$\int_{-\infty}^{\infty} H_n(y) \exp\left(-y^2 + yy_0 - \frac{y_0^2}{2}\right) dy = \sqrt{\pi} y_0^n \exp\left(-\frac{y_0^2}{4}\right).$$

- ✓ 62. Izračunaj matrične elemente $x_{kn} = \langle k|\hat{x}|n\rangle$ za harmonični oscilator. Ti matrični elementi so povezani z verjetnostjo za prehod iz stanja n v stanje k z električnim dipolnim sevanjem. Diagonalni matrični elementi x_{nn} pa podajajo pričakovano vrednost odmika v stanju n . Izračunaj še pričakovano vrednost kvadrata odmika x_{nn}^2 !
- ✓ 63. Enodimenzionalni harmonični oscilator je na začetku v stanju z valovno funkcijo
- $$\psi(x,0) = A \exp\left(\frac{-(x-x_0)^2}{2a^2}\right) \exp\left(\frac{ip_0x}{\hbar}\right).$$
- Kolikšna je pričakovana vrednost polne energije oscilatorja? Zapiši valovno funkcijo ob poznejšem času $t = 6\pi/\omega$!
- ✓ 64. Elektron je v neskončni ravni potencialni jami v prvem vzbujenem stanju. Kolikšna je zaradi spontane emisije energijska nedoločenost tega stanja? Računaj, da seva elektron kot električni dipol. Jama je široka 0,3 nm.
- ✓ 65. Izračunaj razpadni čas vodikovega atoma, ki je v stanju $n = 2, l = 1, m = 0$. Iz zveze nedoločnosti oceni širino spektralne črte.
66. Izračunaj frekvenco svetlobe, ki jo seva atom vodika pri prehodu med stanjema z $n = 10$ in $n = 9$. Primerjaj frekvenco izsevane svetlobe s klasično frekvenco kroženja na enem in drugem tiru. S korespondenčnim načelom izračunaj še povprečno moč, ki jo seva atom. Kako je polarizirana svetloba, ki jo seva atom v smeri pravokotno na ravnino kroženja elektronov? Kolikšna je gostota svetlobnega toka v ravnini kroženja? Kako je polarizirana ta svetloba?
67. Mion μ^- sestavlja z jedrom kisika mionski atom. Kolikšna je spremembra energije tega atoma, če se spremeni glavno kvantno število z $n = 3$ na $n = 2$? Kolikšen je klasični radij mionskega tira z $n = 2$ (računaj stanji z $l = 0$)? Kolikokrat je ta radij manjši od radija elektronskega tira z $n = 1$?
- ✓ 68. Elektron je vezan v harmoničnem potencialnu $V = \frac{1}{2}kx^2$ s $k = 18 \text{ eV}/\text{nm}^2 = 50 \text{ eV}/\text{nm}^2$. Kolikšen je razpadni čas prvega vzbujenega stanja?
69. Kolikšna je valovna dolžina elektromagnetnega valovanja, ki ga seva vodikov atom pri prehodih iz stanj z glavnim kvantnim številom 80 v stanja z glavnim kvantnim številom 79? Oceni razpadni čas za ta prehod.
- ✓ 70. Elektron je vezan v neskončni ravni potencialni jami s širino 0,3 nm. V kolikšnem razmerju sta razpadna časa za električni dipolni prehod iz stanja s kvantnim številom 5 v stanje s kvantnim številom 4 in iz stanja s kvantnim številom 4 v stanje s kvantnim številom 3?

III. ATOMI Z VEČ ELEKTRONI IN MOLEKULE

- Stanja atoma opišemo s kvantnimi števili $2S+1L_J$. Katera kvantna števila so mogoča za atom z elektronoma v enoeklektronskih stanjih $n_1, l_1 = 1, s_1 = 1/2$ in $n_2, l_2 = 2, s_2 = 1/2$, če velja sklopitev LS ? Skiciraj sklopitev vektorsko! Nariši razporeditev energijskih stanj atoma in zapiši ustrezne spektroskopske oznake!
- Nariši shemo energijskih stanj atoma z dvema neekvivalentnima elektronoma v enoeklektronskih stanjih np in $n'p$ ($n \neq n'$) in shemo energijskih stanj atoma z dvema ekvivalentnima elektronoma np^2 , tj. z elektronoma v isti podlupini v enoeklektronskih stanjih np, np , če spet velja sklopitev LS ! Zapiši ustrezne spektroskopske oznake!
- V katerih kvantnih stanjih je lahko atom z dvema elektronoma, ki sta v enoeklektronskih stanjih $n_1, l_1 = 1$ in $n_2, l_2 = 2$, v sklopitevi jj ? V tej shemi sklapljanja najprej sklopimo tirno vrtilno količino in spin posameznega elektrona, nato pa polne vrtilne količine posameznih elektronov v polno vrtilno količino atoma. Preveri, da je število stanj enako kot pri nalogi 1!
- Zapiši vsa kvantna števila, ki jih dobimo s kombinacijo $L = 0, 1, 2, 3$ in $S = 2/3, 1/2$ (3, 2)
- Kolikšno je lahko kvantno število polne vrtilne količine dveh elektronov v enodelčnih stanjih $p_{3/2}$ in $d_{5/2}$?
- Izračunaj povprečno vrednost kvadrata velikosti tirne vrtilne količine in komponente v smeri osi z za elektron v ogljikovem atomu, ki ga opisuje normirana valovna funkcija $(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)/2$. Pri tem so R_1, R_2, R_3 in R_4 po vrsti valovne funkcije stanj $|n = 2, l = 0, m_l = 0\rangle, 2^{-1/2}(|2, 1, 1\rangle + |2, 1, -1\rangle), 2^{-1/2}i(|2, 1, 1\rangle - |2, 1, -1\rangle)$ in $|2, 1, 0\rangle$.
- V atomu litija dobimo pri prehodu iz stanja $2p$ v osnovno stanje $2s$ spektralno črto z valovno dolžino 670,8 nm. Kolikšna je energija stanja $2p$? Ionizacijska napetost za litij je 5,39 V. Zakaj je stanje $2p$ bliže ustreznemu stanju v vodikovem atomu kot stanje $2s$?
- Energija zunanjega elektrona v atomu natrija je v osnovnem stanju $-5,11 \text{ eV}$ in v prvem vzbujenem stanju $-3,02 \text{ eV}$. Izračunaj valovno

- dolžino svetlobe, ki jo izseva atom natrija pri prehodu iz prvega vzbujenega stanja v osnovno stanje. Kolikšna je naravna širina črte? Razpadni čas računaj, kot da seva natrijev atom kot klasični harmonični oscilator.
9. Natrijeva para ima temperaturo 300°C . Kolikšna je širina črte iz prejšnje napoge zaradi Dopplerjevega pojava?
 10. V spektralni cevi ima kripton tlak 3 kp/cm^2 in temperaturo 50°C . Kolikšna je zaradi trkov med atomi širina spektralne črte z valovno dolžino okoli 600 nm , ki jo sevajo atomi kritpona? Kinetični radij atoma kriptona je $0,21 \text{ nm}$, kilomolska masa pa 86 kg . Pri kolikšnem tlaku bi bila pri tej temperaturi Dopplerjeva širina enaka širini zaradi trkov?
 11. Kakšna je razcepitev črt v natriju za prehode med stanjem $3p$ za običajne spinske orientacije in stanjem $3s$, če je gostota zunanjega magnetnega polja $0,8 \text{ T}$?
 12. Poisci Zeemanovo razcepitev črt, ki jo dobimo pri prehodu atoma ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4D_{5/2}$!
 13. Nakaži razcepitev črt pri prehodu atoma ${}^3D_1 \rightarrow {}^3P_1$ v šibkem magnetnem polju!
 14. Kako se razcepi črta ${}^3P_1 \rightarrow {}^3D_2$ pri ogljikovem atomu, ko ga postavimo v zunanje magnetno polje z gostoto $0,05 \text{ T}$? Nariši razvrstitev črt glede na lego črte, ko ni zunanjega magnetnega polja, in izračunaj razmike med njimi! Nariši shemo prehodov!
 15. Ogljikov atom postavimo v zunanje magnetno polje z gostoto $0,02 \text{ T}$. Kako se razcepi črta za prehod ${}^3P_2 \rightarrow {}^3S_1$? Nariši razvrstitev črt glede na lego črte, ko ni zunanjega magnetnega polja, in izračunaj razmike med njimi! Nariši shemo prehodov!
 16. Živosrebrna spektralna črta z valovno dolžino $18,49 \text{ nm}$, ki nastane pri prehodu atoma iz vzbujenega stanja v osnovno 1S_0 , se v magnetnem polju z gostoto 1 T razcepi na tri komponente, ki so med seboj razmaknjene za $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ nm}$. Ugotovi, ali nastane ta razcepitev zaradi spinskih ali zaradi tirne vrtilne količine. Katero je vzbujeno stanje?
 17. Vzemimo, da bi naredili Stern-Gerlachov poskus s curkom vodikovih atomov v prvem vzbujenem stanju s kvantnima številoma $l = 1$ in $j = \frac{3}{2}$. Koliko delnih curkov bi opazili na zaslonu in kolikšen bi bil razmak med sosednjima delnima curkoma? Kinetična energija atoma naj bi bila 1 eV , magnetno polje šibko, z gradientom 10^3 T/m , dolžina nehomogenega polja v smeri curka 10 cm in razdalja od središča tega polja do zaslona 20 cm .
 18. Pri Stern-Gerlachovem poskusu izparevajo atomi srebra v stanju ${}^2S_{1/2}$ z hitrostjo 500 m/s iz pečice. Curek atomov usmerimo skozi 10 cm dolg
 19. Izotop bora ($A = 11$) je v osnovnem stanju ${}^2P_{1/2}$. Pri Stern-Gerlachovem poskusu pošljemo curek atomov z hitrostjo 500 m/s skozi 10 cm dolgo nehomogeno magnetno polje z prečnim gradientom 50 T/m . Izračunaj in skiciraj razcep črt na 1 m oddaljenem zaslonu!
 20. Osamljeni atom kalcija izseva pri prehodu iz stanja ${}^4D_{5/2}$ v stanje ${}^4P_{3/2}$ svetlobo z valovno dolžino $315,8 \text{ nm}$. Kako se razcepi ustrezna spektralna črta, če je sevajoča kalcijeva para v magnetnem polju z gostoto $0,2 \text{ T}$? Kolikšna je razlika med skrajnima črtama po razcepu v merilu valovne dolžine?
 21. Nemoten atom kalija seva temnordeči črti ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$ ($769,9 \text{ nm}$) in ${}^2P_{3/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$ ($764,5 \text{ nm}$). Nariši zgradbo teh črt, če seva atom v šibkem zunanjem magnetnem polju. Izračunaj razlike valovnih dolžin skrajnega para črt v magnetnem polju z gostoto $0,08 \text{ T}$!
 22. Pri prehodu iz stanja ${}^2S_{1/2}$ v stanje ${}^2P_{3/2}$ absorbira ion ogljika svetlobo z valovno dolžino $657,83 \text{ nm}$. Kolikšen je razcep te spektralne črte v magnetnem polju z gostoto $0,1 \text{ T}$? Nariši črte! Kolikšno ločljivost najima spektroskop, da bomo opazili vse črte?
 23. Skiciraj absorpcijski in emisijski spekter Na!
 24. Kolikšno najmanjšo napetost na rentgenski cevi potrebujemo, če želimo dobiti črto K iz železne anode? Kolikšna je energija emisijske črte K_α ?
 25. Če obsevamo atome snovi z rentgensko svetlobo, dobimo močno absorpcijo tedaj, ko je energija fotonov enaka najmanj energiji, ki jo potrebujemo, da izbijemo elektron iz lupine K ? Izračunaj te energije za atome:

${}_3\text{Li}, {}^{24}\text{Mg}, {}^{40}\text{Ca}, {}^{92}\text{Mo}, {}^{138}\text{Ba}, {}^{184}\text{W}, {}^{238}\text{U}$

 26. Radi bi dobili enobarvno rentgensko svetlobo z valovno dolžino okoli $0,1 \text{ nm}$. Kolikšno mora biti vrstno število elementa, iz katerega je anoda rentgenske cevi?
Iz dobljene rentgenske svetlobe želimo izločiti svetlobo z manjšo valovno dolžino kot $0,104 \text{ nm}$. Kolikšno mora biti vrstno število elementa, iz katerega je filter?
 27. Izračunaj odbojni prispevek k vezavni energiji v NaCl , če je ravnovesna razdalja med atomoma $0,251 \text{ nm}$ in vezavna energija $-4,24 \text{ eV}$. Ionizacijska energija natrija je $5,14 \text{ eV}$, elektronska afiniteta klora pa $3,81 \text{ eV}$. Energija je merjena glede na nevtralna atoma v veliki medsebojni oddaljenosti. Zanemari ničelno in van der Waalsovo energijo!

28. Izračunaj vezavni energiji dveh možnih oblik vezave molekul CaO; $\text{Ca}^+ \text{O}^-$ in $\text{Ca}^{++} \text{O}^{-}$. Izmerjeni ravnovesni razmik je 0,1822 nm. Elektronska afiniteta kisika meri za prvi dodani elektron 2,26 eV in -9,0 eV za drugega, prvi in drugi ionizacijski potencial kalcija pa sta 6,1 eV in 11,9 eV. Katero obliko molekule lahko pričakuješ?
29. Dvoatomna molekula ima vrtilno energijo $\hbar^2 l(l+1)/(mr^2)$. Izračunaj klasično kotno hitrost in jo primerjaj s frekvenco svetlobe, ki jo izseva molekula pri prehodu med sosednjima stanjem z velikima kvantnima številoma l .
30. Izračunaj vztrajnostni moment in prvih nekaj vrtilnih stanj molekul H_2 , HD in D_2 . Razmik med jedromi je 0,074 nm.
31. Pri prehodu iz prvega vzbujenega vrtilnega stanja v osnovno stanje oddaja molekula HCl svetlobo z valovno dolžino $4,8 \cdot 10^{-4}$ m. Kolikšna je razdalja med atomoma v molekuli?
32. LiH kristalizira v kubični mreži kot NaCl in ima gostoto $0,83 \text{ g/cm}^3$. Kolikšna je približno valovna dolžina svetlobe, ki jo izseva molekula LiH ob prehodu iz prvega vzbujenega rotacijskega stanja v osnovno stanje? Racunaj, kot da je razdalja med atomoma v molekuli enaka razdalji med atomoma v kristalu.
33. Molekula $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ izseva pri vrtilnem prehodu valovanje s frekvenco 115,3 kHz. Katera izotopa ogljika in kisika sestavlja molekulo CO , ki izseva pri istem prehodu valovanje s frekvenco 104,7 kHz?
34. Vodikov in klorov atom v molekuli HCl nihata, kot bi bila zvezana z vzmetjo s konstanto 480 N/m . Kolikšna je frekvanca svetlobe, ki jo izseva molekula, ko preide iz prvega vzbujenega nihajnega stanja v osnovno stanje? Za koliko se spremeni ta frekvanca, če zamenjamo vodikov atom z devterijevim?
35. V infrardečem absorpcijskem spektru klorovodika HCl dobimo črte z obratno vrednostjo valovne dolžine $0,3016$; $0,3000$; $0,2982$; $0,2965$; $0,2946$; $0,2928$; $0,2907$; $0,2866$; $0,2844$; $0,2821$; $0,2799$ in $0,2776 \mu\text{m}^{-1}$. Izračunaj prožnostno konstanto k_0 vezi med atomoma vodika in klorja v molekuli in ravnovesno razdaljo med atomoma!
36. V ultravijoličnem spektru molekule H_2 je nekaj tisoč črt. Vendar je mogoče najti pare črt, ki ustrezajo prehodom iz istega elektronskega nihajnega in vrtilnega začetnega stanja v osnovno elektronsko in različno nihajno stanje. Obratne vrednosti valovnih dolžin nekaj takih parov skupaj z nihajnim kvantnim številom vsebuje preglednica:

$$\begin{array}{ll} v = 0 & 9405300 \text{ m}^{-1} \\ v = 1 & 8989600 \text{ m}^{-1} \\ v = 1 & 8864400 \text{ m}^{-1} \\ v = 2 & 8472100 \text{ m}^{-1} \\ v = 2 & 8344000 \text{ m}^{-1} \\ v = 3 & 7974400 \text{ m}^{-1} \end{array}$$

Zakaj energijske razlike niso za vse tri pare enake? Kolikšna je ničelna nihajna energija?

37. Primerjaj nihajna stanja molekul H_2 , HD in D_2 . Kolikšna je razlika disociacijskih energij za H_2 in D_2 ? (Uporabi rezultat prejšnje naloge!) Zakaj se ravnovesni razmik jeder v H_2 nekoliko razlikuje od razmika v D_2 ?
38. Odvisnost energije dvoatomne molekule od razmika med jedroma približno izrazimo z
- $$V(r) = V_0(e^{-2(r-r_0)/a} - 2e^{-(r-r_0)/a}),$$
- če je $V_0 = 3 \text{ eV}$, $a = 0,12 \text{ nm}$, r_0 pa je ravnovesna razdalja med jedromi. Kolikšna je nihajna energija v osnovnem in kolikšna v prvem vzbujenem stanju, če je relativna atomska masa atomov 16? Vzemi približek linearnega harmoničnega potenciala in upoštevaj, da težišče miruje!
39. Odbojni del potencialne energije molekul NaCl lahko opišemo kot potencijo C/r^n , C je konstanta, $n = 35$. Poišči vezavno energijo molekule! Ionizacijska energija natrija je 5,14 eV, elektronska afiniteta klorja 3,81 eV, ravnovesna razdalja med atomoma v molekulah je za 11 % manjša kot v kristalu NaCl. Molekulski masi natrija in klorja sta 23 kg in 35 kg, gostota NaCl 2160 kg/m^3 . Pri računu obravnavaj molekulo kot harmonični oscilator!
40. Pri molekuli DCl ustreza osnovnemu vrtilnemu prehodu obratna vrednost valovne dolžine $0,00106 \mu\text{m}^{-1}$, osnovnemu nihajnjemu prehodu pa $0,207 \mu\text{m}^{-1}$. Napiši valovne dolžine nekaterih črt, ki jih opazimo pri vrtilno-nihajnjih prehodih med osnovnim stanjem in vzbujenim nihajnim stanjem. Pri natančnejšem računu upoštevaj, da je vztrajnostni moment molekule v prvem vzbujenem stanju za 1 % večji od vztrajnostnega momenta v osnovnem stanju.

IV. OSNOVE KVANTNE STATISTIKE

1. Množica elektronov, od katerih je vsak v svoji neskončno visoki ravni potencialni jami s širino 0,9 nm, je v temperaturnem ravnovesju pri temperaturi 1500 K. Kolikšno je razmerje med številom elektronov v drugem vzbujenem stanju in številom elektronov v prvem vzbujenem stanju?
2. Poišči relativno število atomov vodika v osnovnem ter prvem, drugem in tretjem vzbujenem stanju ($n = 2,3,4$) v sončni kromosferi, katera temperatura je 5000 K.
3. V molekuli CO je razdalja med atomoma 0,113 nm. Kolikšna je temperatura plina, če ugotovimo, da je razmerje med številom molekul v drugem vzbujenem stanju in številom molekul v prvem vzbujenem stanju enako 1,55?
4. Kolikšno je pri temperaturi 300 K razmerje med številom molekul HCl v prvem vzbujenem vrtilnem stanju in številom molekul v osnovnem stanju? Vse molekule naj bodo v osnovnem nihajnjem stanju. Ravnovesna razdalja med atomoma v molekuli je 0,129 nm.
5. Katero vrtilno stanje je najbolj zasedeno pri molekulah vodika s temperaturo 500 K? Ravnovesna razdalja med atomoma v molekuli je 0,0742 nm.
6. V magnetnem polju z gostoto 1 T je kilomol srebrovih par pri temperaturi 1300°C. Kolikšna je razlika med številom atomov s spinom v smeri magnetnega polja in atomov s spinom v nasprotni smeri magnetnega polja? Katerih je več? Atom srebra ima spin $1/2$ in magnetni moment $1 \mu_B$.
7. Atom galija ima osnovno stanje s kvantnim številom polne vrtilne količine $1/2$ in prvo vzbujeno stanje pri $0,102 \text{ eV}$ višji energiji s kvantnim številom polne vrtilne količine $3/2$. Najmanj kolikšna mora biti temperatura, da razmerje števil atomov v obeh stanjih ni večje kot $1,1$.
8. Vodno raztopino atomov s spinom $1/2$ in magnetnim momentom $1 \mu_B$ postavimo v nehomogeno magnetno polje, ki enakomerno narašča od dna do vrha posode od 0 do 5 T . Kolikšno je pri temperaturi 300 K razmerje gostot magnetnih atomov na vrhu in na dnu posode?
9. Svetloba z zvezde gre na poti do Zemlje skozi vesoljski oblak cianogena (CN). Z merjenjem izrazitosti dveh bližnjih absorpcijskih črt, ki ustreza vrtilno-elektronskim prehodoma, so ugotovili, da je razmerje med številom molekul v prvem vzbujenem vrtilnem stanju in številom molekul v osnovnem vrtilnem stanju $1/2$. Kolikšna je temperatura oblaka? Razmik med jedroma v molekuli CN je $0,12 \text{ nm}$, relativna atomska masa ogljika je 12, dušika pa 14.
10. Gostoto energije v sevanju črnega telesa $w = 4\sigma T^4/c_0$, dobimo z integracijo po porazdelitvi, ki sledi iz Bosejeve statistike. Za kolikšen faktor bi se zmotili, če bi računali z Boltzmannovo porazdelitvijo?
11. Kolikšen delež energijskega toka v sončni svetlobi odpade na valovne dolžine, manjše kot 100 nm ? Računaj, da seva Sonce kot črno telo pri temperaturi 5500 K .
12. Kolikšno je razmerje infrardečih svetlobnih tokov nad valovno dolžino $1 \mu\text{m}$, ki ju seva črno telo pri temperaturi 1473 K in pri temperaturi 798 K ?
Opomba: J. Tyndall je dobil z merjenjem razmerja infrardečih svetlobnih tokov, ki ju je sevala kovinska žička pri temperaturi belega in šibkega rdečega žara 11,7. J. Stefan je vzel to za razmerje polnih svetlobnih tokov. Naloga sprašuje, ali je ta korak upravičen.
13. Kolikšen del celotnega izsevanega energijskega toka odpade na vidno svetobo pri žarnici s temperaturo nitke 1200°C , če seva nitka kot črno telo?
14. Svetloba, ki jo seva črno telo pri temperaturi 1000 K , razklonimo. Omejimo se na pas z valovnimi dolžinami med 668 nm in 670 nm . Za koliko kelvinov moramo izvir svetlobe dodatno segreti, da v omenjenem pasu dobimo 2-, 3-krat večji energijski tok?
15. Kolikšno je povprečno število fotonov v kubičnem metru prasevanja, ki ima spekter črnega telesa s temperaturo 3 K ? Najprej računaj naravnost, nato pa s Stefanovim zakonom, kot da bi imeli vsi fotoni energijo, ki ustreza valovni dolžini pri vrhu v spektru črnega telesa. Primerjaj oba rezultata! Stefanova konstanta je $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, Wienova pa $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$.
16. Pri katerih temperaturah lahko pričakuješ izrazitejšo temperaturno odvisnost specifične toplotne vodika?
17. Specifična toplota svinca pri 20°C je 123 J/kgK , specifična toplota berilija pa 1980 J/kgK . Izračunaj specifično toploto kilomola teh snovi in jo primerjaj z vrednostjo, ki jo dobiš z uporabo Dulong-Petitovega pravila. Komentiraj rezultat!

18. Pri merjenju kilomolske specifične topote C kalija pri zelo nizkih temperaturah so ugotovili, da je C/T linearna funkcija T^2 z začetno vrednostjo $2,08 \text{ J/kmol K}^2$ in smernim koeficientom $2,57 \text{ J/kmol K}^4$. Poisci Debyejevo in Fermijevo temperaturo kalija!
19. Debyejeva temperatura za baker je 315 K . Kolikšni sta karakteristična frekvenca in valovna dolžina ustreznih longitudinalnih zvočnih valov? Hitrost longitudinalnih valov približno podaja enačba $c = \sqrt{E/\rho}$. Prožnostni modul bakra je $1,2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$, gostota pa $8,9 \text{ g/cm}^3$.
20. Izračunaj frekvenco zvoka v bakru z valovno dolžino, dvakrat večjo od medatomske razdalje, in jo primerjaj z rezultatom prejšnje naloge! Medatomska razdalja je 255 pm .

V. ELEKTRONI V KRISTALIH

- ✓ 1. Izračunaj vezavno energijo kristala NaCl. Razdalja med sosednjima ionoma je $0,281 \text{ nm}$, Madelungova konstanta $1,75$, ionizacijska energija natrija $5,19 \text{ eV}$, elektronska afiniteta klora pa $3,82 \text{ eV}$. Upoštevaj le coulombsko interakcijo!
2. Kristal BaO ima enako zgradbo kot kristal NaCl. Oceni vezavno energijo kristala $\text{Ba}^+ \text{O}^-$ in kristala $\text{Ba}^{++} \text{O}^{--}$ in ugotovi, katera oblika vezave nastopa v naravi. Razdalja med sosednjima ionoma je $0,276 \text{ nm}$, prva in druga ionizacijska energija barija sta $5,19 \text{ eV}$ in $9,69 \text{ eV}$, elektronska afiniteta kisika za prvi in drugi dodani elektron pa $2,2 \text{ eV}$ in $-9,0 \text{ eV}$.
3. Razdalje med sosednjimi ioni v kristalih alkalijskih halogenidov z zgradbo NaCl so: LiF – $0,201 \text{ nm}$, NaF – $0,231 \text{ nm}$, NaCl – $0,281 \text{ nm}$, NaBr – $0,298 \text{ nm}$, KF – $0,267 \text{ nm}$, KCl – $0,314 \text{ nm}$, KBr – $0,329 \text{ nm}$. Vsakemu ionu v teh kristalih je mogoče prirediti dobro definiran ionski radij. Vzemi, da so ioni toge kroglice in da je radij iona F^- enak $0,136 \text{ nm}$. Sestavi preglednico preostalih ionskih radijev!
- ✓ 4. Koliko tretjih najbližjih sosedov obdaja vsak ion v kristalu NaCl? Izračunaj prve tri člene v vrsti za potencialno energijo iona! Vrsta zelo počasi konvergira, zato potencialno energijo ionov v praksi računamo drugače.
5. Linearni ionski kristal sestavlja 10^7 ionov z nabojem e_0 in 10^7 ionov z nabojem $-e_0$. Potencialno energijo enega iona v električnem polju vseh drugih ionov opisuje Madelungova konstanta $2 \ln 2$. Odbojni del potenciala, ki ga s tem ne zajamemo, pa ima obliko A/r^{12} , če je r razmik med sosednjima ionoma. Ravnovesni razmik meri $0,2 \text{ nm}$. Kolikšno delo bi bilo potrebno dovesti kristalu, da bi ga spremenili v množico oddaljenih mirujočih ionov? Koliko dela pa bi morali opraviti, da bi se mu dolžina zmanjšala za 1% ?
6. Za kristal KCl ugotovi odvisnost na ionski par preračunane interakcijske energije od razmika v okolini ravnovesnega razmika $r_0 = 0,315 \text{ nm}$ in izračunaj frekvenco nihanja iona K^+ v takem potencialu. Odbojni potencial opisi s funkcijo $C/r^{8,99}$, Madelungova konstanta je $1,75$.
7. Energijo ionskega para v kristalu NaCl (in v drugih ionskih kristalih) lahko zapišemo kot $W(r) = -\alpha e_0^2 / 4\pi \epsilon_0 r + C/r^m$, če opisuje prvi

člen coulombsko privlačno in drugi odbojno interakcijo, $\alpha = 1,75$ je Madelungova konstanta. Energija $W(r)$ je najmanjša, ko je r enak ravnoesni razdalji $r_0 = 0,281$ nm.

a) Pokaži, da je stisljivost kristala χ_0 podana z

$$1/\chi_0 = \frac{1}{18r_0} (d^2 W/dr^2)_{r=r_0} !$$

b) Poisci eksponent m in odbojno energijo C/r_0^m za kristal NaCl, če je stisljivost kristala NaCl $4,17 \cdot 10^{-11}$ Pa. Kolikšno je v ravnoesni razdalji razmerje med coulombskim in odbojnimi delom energije?

8. Odvisnost interakcijske energije kristala od razmika med ioni raziskujejo s tlaki do 10^{10} Pa. Kolikšno območje energije $W(r)$ okrog ravnoesne razdalje je mogoče tako raziskati? Vzemi enako stisljivost in ravnoesne razdaljo kot v prejšnji nalogi!
9. Približno nariši valovne funkcije štirih najnižjih stanj za linearno verigo štirih enakomerno razmaknjenih pravokotnih potencialnih jam. Približno nariši energijo stanj kot funkcijo vozlov valovne funkcije.
10. Kolikšna bi morala biti jakost zunanjega električnega polja, da bi se znatno spremenil potencial elektronov v snovi in s tem tudi elektronske valovne funkcije? Pri kolikšnem električnem polju bi se potencialna energija enega atoma v kristalu do naslednjega spremenila za 0,5 eV, če je razmak med atomi 0,3 nm?
11. V kolikšnem intervalu okoli Fermijeve energije je verjetnost za zasedeno stanje med $1/4$ in $3/4$? Izračunaj še verjetnost pri sobni temperaturi za zasedeno stanje $0,01$ eV, $0,1$ eV, 1 eV nad Fermijevo energijo.
12. Kolikšna je Fermijeva energija v ^{23}Na , ^{63}Cu , ^{27}Al ? Gostote teh kovin so: $0,97 \text{ g/cm}^3$, $8,9 \text{ g/cm}^3$ in $2,7 \text{ g/cm}^3$. Natrij in baker imata po en prosti elektron na atom, aluminij pa tri. Pri kolikšni temperaturi bi bila energija $10kT$ enaka Fermijevi energiji (k je Boltzmannova konstanta).
13. Izstopno delo za elektrone v zlatu je 4,5 eV. Kolikšna je globina potencialne jame za proste elektrone, če je v zlatu po en prosti elektron na atom? Gostota zlata je $19,3 \text{ g/cm}^3$, kilomolska masa pa 197 kg.
14. Izstopno delo lahko zmanjšamo, če pritisnemo na kovino visoko negativno napetost. Za koliko eV zmanjšamo izstopno delo, če pritisnemo na kovinsko ploščo tolikšno napetost, da je električna poljska jakost na ploščici $7 \cdot 10^6 \text{ V/m}$?
15. V fotocelici sta elektrodi iz dveh različnih kovin. Ko posvetimo enobarvno svetlobo z valovno dolžino 248 nm na eno elektrodo, je prekinitev toka potrebna zavorna napetost 2,5 V, ko posvetimo na drugi elektrodo, ustavi fototok zavorna napetost 1,5 V. Kolikšno je izstopno delo na eni in na drugi elektrodi?
16. Kolikšna je nedoločenost kinetične energije prevodniških elektronov v natriju s Fermijevo energijo 3,1 eV pri zelo nizkih temperaturah? Ocenimo, pod katero ni mogoče meriti časovnih razmikov pri pojavih s prevodniškimi elektroni v natriju!
17. Kolikšen delež prostih elektronov v aluminiju ima pri zelo nizki temperaturi energijo med 0,1 in 0,3 eV? Fermijeva energija je 11,7 eV.
18. Kolikšen delež elektronov je v energijskem intervalu med 0 in $W_0/2$ v bakru s Fermijevo energijo $W_0 = 7$ eV pri temperaturi zelo blizu absolutne ničle? Kolikšen delež k celotni energiji elektronov prispevajo ti elektroni?
19. Kolikšna je povprečna velikost hitrosti elektronov v bakru s Fermijevo energijo 7 eV pri zelo nizki temperaturi? Izračunaj še tlak in stisljivost elektronskega plina pri zelo nizki temperaturi. Gostota bakra je $8,9 \text{ g/cm}^3$, kilomolska masa pa 63 kg.
20. Kolikšna je sprememba Fermijeve energije pri bakru, če ga segrejemo od 0°C do 100°C ? Računaj, da se Fermijeva energija pri kovinah spremeni samo zaradi temperaturnega raztezanja. Baker ima en prost elektron na atom, gostoto $8,96 \text{ g/cm}^3$ ter temperaturni koeficient dolžinskega raztezka $1,67 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
21. Ocenji prispevek elektronov k specifični toploti bakra pri 1000 K in pri 1,6 K!
22. Kakšna je temperaturna odvisnost specifične toplotne kovine pri zelo nizkih temperaturah (dosti pod Debyejevo temperaturo)? Kako bi narisal odvisnost $C(T)$, da bi ločil prispevke ionov in elektronov k specifični toploti?
23. Izračunaj povprečno prosto pot prevodniških elektronov v bakru in natriju! Prevodnost bakra je $5,9 \cdot 10^5 / \Omega \text{m}$, natrija pa $2,2 \cdot 10^5 / \Omega \text{m}$, ostali podatki so v nalogi 12.
24. Kolikšna je povprečna hitrost potovanja elektronov v bakru v zunanjem električnem polju z jakostjo 1 V/m? Kolikšno je razmerje te hitrosti proti hitrosti elektronov s Fermijevo energijo? Gibljivost elektronov v bakru je $0,0032 \text{ m}^2/\text{Vs}$, Fermijeva energija 7,0 eV.
25. Kolikšna je koncentracija prevodniških elektronov in vrzeli v čistem germaniju in siliciju pri sobni temperaturi? Sirina energijske špranje v germaniju je 0,67 eV, v siliciju 1,13 eV.
26. Primerjaj v prejšnji nalogi dobljeni vrednosti za koncentracijo nosilcev naboja v germaniju in siliciju s koncentracijo prevodniških elektronov v bakru! Poisci še podatke za gibljivost elektronov (vrzeli) v germaniju, siliciju in v bakru ter jih primerjaj!

27. Kolikšna je prevodnost čistega germanija pri sobni temperaturi? Gibljivost elektronov je $0,38 \text{ m}^2/\text{Vs}$, gibljivost vrzeli $0,18 \text{ m}^2/\text{Vs}$, za energijske špranje pa vzemi $0,72 \text{ eV}$.
28. Gibljivost elektronov v polprevodniku InSb je $7,7 \text{ m}^2/\text{Vs}$, gibljivost vrzeli pa $0,075 \text{ m}^2/\text{Vs}$ (primerjaj z gibljivostjo elektronov v bakru!) Energijska špranje je široka $0,18 \text{ eV}$. Kolikšna je prevodnost čistega InSb pri 300 K ? Za koliko se spremeni, ko naraste temperatura za 1 stopinjo?
- ! 29. Za merjenje temperature lahko uporabimo pojav, da se električni uporni spreminja s temperaturo. Kolikšne temperaturne razlike še lahko zaznamo v okolini temperature 20°C z merjenjem upora čistega germanija, če ga merimo na 0,1 odstotka natančno? Za širino energijske špranje vzemi $0,72 \text{ eV}$.
30. V čist germanij vgradimo 10^{21} (10^{22} , 10^{23} , 10^{24}) arzenovih atomov na kubični meter. Kolikšna je prevodnost germanija s temi primesmi pri temperaturi 300 K ? Gibljivost elektronov je $0,38 \text{ m}^2/\text{Vs}$, gibljivost vrzeli pa $0,18 \text{ m}^2/\text{Vs}$.
31. V silicijev kristal vgradimo 10^{23} arzenovih (donorskih) in $0,5 \cdot 10^{23}$ galjevih (akceptorskih) atomov na kubični meter. Kolikšna je prevodnost kristala pri temperaturi 300 K ? Zakaj ni enaka vsoti prevodnosti silicija z enako koncentracijo samo arzenovih in silicija z enako koncentracijo samo galjevih primesi? Gibljivost elektronov v siliciju je $0,14 \text{ m}^2/\text{Vs}$, gibljivost vrzeli $0,05 \text{ m}^2/\text{Vs}$, širina energijske špranje pa $1,13 \text{ eV}$.
32. Vzorec germanija stalimo in mu dodamo arzen, tako da pride en atom arzena na milijon atomov germanija. Nastali polprevodnik ima prevodnost $1000 (\Omega\text{m})^{-1}$. Kolikšna je bila prevodnost prvotnega kristala? Kaj lahko poveš o vrsti in količini nečistoč v prvotnem kristalu?
- ! 33. Silicij n s primesjo fosforja ima specifični upor $10^2 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Koliko kilogramov bora moramo dodati kilogramu taline tega silicija, da bomo iz nje dobili silicij p s specifičnim uporom $10^3 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$? Gibljivost elektronov v siliciju je $0,14 \text{ m}^2/\text{Vs}$, gibljivost vrzeli pa $0,048 \text{ m}^2/\text{Vs}$. Gostota silicija je $2,34 \text{ g/cm}^3$, kilomol bora pa ima maso $10,8 \text{ kg}$.
34. Določi Fermijevo energijo čistega germanija pri temperaturi 300 K . Vzemi, da je efektivna masa elektronov $0,56$ in efektivna masa vrzeli $0,35$ elektronske mase, energijska špranja pa $0,67 \text{ eV}$.
- ! 35. Poišči Fermijevo energijo germanijevega kristala z 10^{23} arzenovimi atomi na m^3 pri 20 K ! Sam poišči potrebne podatke!
- ! 36. Izračunaj Fermijevo energijo za germanijev kristal s $5 \cdot 10^{23}$ atomi arzena na m^3 pri temperaturi 300 K ter razmerje med prevodnostjo tega kristala in prevodnostjo čistega kristala germanija! Širina energijske špranje je $0,67 \text{ eV}$, ionizacijska energija arzenovih atomov $0,0127 \text{ eV}$, efektivna
- masa elektronov in vrzeli $0,56$ in $0,35$ elektronske mase, gibljivost elektronov in vrzeli pa $0,38 \text{ m}^2/\text{Vs}$ in $0,18 \text{ m}^2/\text{Vs}$. Preizkusi približka za izračun Fermijeve energije za visoke in nizke temperature!
- Število elektronov, ki so vezani na donorske atome, je enako $n_d = N_d \{1 + \frac{1}{2} \exp[-(W_F - W_d)/kT]\}^{-1}$; N_d je število donor-skih atomov, W_F Fermijeva energija, W_d pa energija elektronov, ki so vezani na donorskih atomih.
38. Izračunaj Fermijevo energijo za kristal silicija z 10^{23} atomov arzena in $5 \cdot 10^{22}$ atomov galija na m^3 pri temperaturi 300 K ! Kolikšna je prevodnost vzorca? Sam poišči manjkajoče podatke!
39. V kristal germanija je vgrajenih $5 \cdot 10^{22}$ arzenovih atomov na m^3 . Pri kolikšni temperaturi bi se začel vzorec obnašati kot čist? (Navodilo: Poišči temperaturo, pri kateri je koncentracija prevodniških elektronov enaka $n = 2N_d$, koncentracija vrzeli pa $p = N_d$, N_d je koncentracija primesi.) Podatke, ki jih potrebuješ, poišči sam!
40. V čist kristal germanija vgradimo arzenove primesi. Kolikšno energijo ima v osnovnem stanju elektron, ki je vezan na (enkrat ioniziran) arzenov ion? Kolikšen je radij tira, po katerem se giblje elektron? Koliko razmikov med sosednjimi atomi germanija je to? Dielektrična konstanta germanija je 16, za efektivno maso elektrona vzemi $0,2$ elektronske mase, razdalja med najbližjimi sosedi v germaniju je $0,244 \text{ nm}$.
41. Vezavna energija donorskih elektronov v siliciju je okoli $0,04 \text{ eV}$. Skiciraj logaritem koncentracije elektronov v prevodnem pasu kot funkcijo $1/T$ za silicij z 10^{19} donorskih atomov v kubičnem metru.
42. Izračunaj širino zaporne plasti v $p-n$ stiku v germaniju! Na strani p je koncentracija atomov akceptorja 10^{24} m^{-3} , na strani n pa koncentracija atomov donorja $8 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$. Koncentracija primesi se na stiku nezvezno spremeni in je drugod konstantna. Vzemi, da so vsi donorski in akceptorski atomi ionizirani in da v zaporni plasti okrog stika ni prostih nosilcev naboja (elektronov ali vrzeli). Reši Poissonovo enačbo za električni potencial z robnimi pogoji, da je električno polje izven zaporne plasti enako nič in je napetostni skok na plasti $0,43 \text{ V}$. Dielektrična konstanta germanija je 16.
43. V germanijevi diodi ima pri temperaturi 300 K stran p specifični upor $0,01 \Omega\text{m}$, stran n pa $0,001 \Omega\text{m}$. Kolikšen je padec napetosti v zaporni plasti? Kolikšna je širina zaporne plasti? Širina energijske špranje je $0,67 \text{ eV}$, efektivna masa elektronov in vrzeli $0,56$ in $0,35$ elektronske mase, gibljivost elektronov in vrzeli je $0,39$ in $0,19 \text{ m}^2/\text{Vs}$, dielektrična konstanta germanija pa 15,8.
44. Tok skozi diodo v odvisnosti od napetosti podaja enačba $I = I_0(e^{eU/kT} - 1)$. Kolikšno je razmerje med tokom v prepustni smeri pri napetosti $0,5 \text{ V}$ in tokom v zaporni smeri pri napetosti $-0,5 \text{ V}$ pri temperaturi 300 K ?

45. Pri katerih od navedenih polprevodnikov lahko pri 300 K povzroči notranji fotoefekt vidna svetloba: Ge (širina energijske špranje je 0,67 eV), Si (1,12 eV), CdS (2,4 eV), GaAs (1,35 eV), ZnS (3,6 eV), InP (1,25 eV), InSb (0,18 eV)? Vzemi, da ima vidna svetloba valovne dolžine med 400 nm in 800 nm!

46. Kolikšen topotni tok bi pri temperaturi 0°C ustvarilo 10 zaporedno vezanih termočlenov a) Fe–Cu, b) Sb–Bi, c) Bi₂Te₃(p)–Bi₂Te₃(n), skozi katere bi tekel tok 20 A? Razlike Seebeckovih koeficientov za naštete termočlene so a) 13,7 $\mu\text{V}/\text{K}$, b) 109 $\mu\text{V}/\text{K}$ in c) 423 $\mu\text{V}/\text{K}$.

47. Razlika Seebeckovih koeficientov za člen Bi–Pb je

$$-43,7 \mu\text{V}/\text{K} - (0,47 \mu\text{V}/\text{K}^2)(T - T_0),$$

pri čemer je T temperatura in $T_0 = 0^\circ\text{C}$. Izračunaj termonapetost člena Bi–Pb, če je en stik pri 0°C, drugi pa pri 100°C. Kolikšna Peltierova toplota bi nastala na stiku pri 100°C v 5 minutah, če bi tekel skozenj tok 5 A? Ali bi stik toploto črpal ali oddajal?

48. Halovo napetost merimo na bakrenem kvadru z dolžino 10 cm v smeri električnega toka 40 A, debelino 1 mm v smeri magnetnega polja gostote 1,5 T in s širino 1 cm. Kolikšna je razlika napetosti med elektrodama na ozkih stranicah, ko obrnemo smer magnetnega polja? Gostota bakra je 8,96 g/cm³, kilomolska masa pa 63,6 kg.

49. Na 10 cm dolg aluminijast trak s pravokotnim prerezom 10 mm × 1 mm damo napetost 30 mV. Trak položimo v homogeno prečno magnetno polje z gostoto 1 T, ki je pravokotno na veliki ploskvi traku. Kolikšna je napetost med ozkima stranskima ploskvama traku, ki sta v razmiku 10 mm? Kolikšna je povprečna hitrost elektronov pri potovanju v zunanjem električnem polju? Koliko elektronov, ki sodelujejo pri prevarjanju, odpade na 1 atom? Specifični upor aluminija je 0,029 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, gostota 2,7 g/cm³, kilomolska masa 27 kg in Hallov koeficient $-4,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{As}$.

50. V kristalu germanija n v magnetnem polju z gostoto 0,3 T je kot med smerjo električnega polja in gostoto toka 5,7°. Prevodnost vzorca je 100 $(\Omega\text{m})^{-1}$. Kolikšna je gibljivost in kolikšna je gostota prevodniških elektronov?

VI. JEDRA IN DELCI

- Izračunaj popravek k energiji vodikovega atoma v osnovnem stanju, če upoštevaš, da jedro ni točkasto. Vzemi, da je jedro a) enakomerno nabita krogelna lupina, b) enakomerno nabita kroglica. Pri računu upoštevaj, da je radij jedra mnogo manjši od Bohrovega radija!
- Kolikšno elektrostaticno energijo ima jedro, v katerem je pozitivni naboj e_0 enakomerno porazdeljen po notranjosti krogle z radijem R ? Kolikšen je potencial na sredi jedra?
- Najmanj kolikšna mora biti energija delcev α , da lahko prodrejo v območje jedrskih sil pri obstreljevanju jeder ^{26}Fe ?
- Delci alfa z energijo 5,3 MeV vpadajo pravokotno na tanek bakren listič. Kolikšno je razmerje verjetnosti, da leži kot, za katerega se odkloni delec pri prehodu skozi listič, med 45° in 90° ter med 90° in 150°?
- S semiempirično enačbo izračunaj vezavno energijo in maso jeder ^4He , ^{12}C , ^{56}Fe , ^{65}Ni , ^{95}Rb , ^{141}Cs , ^{208}Pb , ^{210}Po , ^{229}Pa , ^{235}U , ^{238}U . Dobljene rezultate primerjaj s pravimi vrednostmi, ki jih poišči v knjigah (preglednici)!

V semiempirični enačbi za vezavno energijo

$$W_v(Z, A) = -w_0 A + w_1 A^{2/3} + w_2 Z(Z-1)/A^{1/3} + w_3(A-2Z)^2/A + w_4 \delta_{ZN}/A^{3/4}$$

vzemi za koeficiente vrednosti $w_0 = 15,6 \text{ MeV}$, $w_1 = 17,3 \text{ MeV}$, $w_2 = 0,70 \text{ MeV}$, $w_3 = 23,3 \text{ MeV}$ in $w_4 = 33,5 \text{ MeV}$, $\delta_{ZN} = -1$ za sodo-soda jedra, 0 za sodo-liha in +1 za liho-liha jedra.

- Kolikšna energija se sprosti pri reakciji $^{235}\text{U} + ^1\text{n} \rightarrow ^{141}\text{Cs} + ^{95}\text{Rb}$?
- S semiempirično masno enačbo poišči kinetično energijo delca alfa, ki ga odda jedro ^{229}Pa pri razpadu alfa! $A = 229$, $Z = 71$
- S semiempirično masno enačbo poišči najmanjšo energijo fotona, ki iz jedra ^{56}Fe izbije proton, in najmanjšo energijo fotona, ki iz jedra izbije nevron! Kolikšen del te energije doseže odrivna energija?

9. Jedro polonija ^{210}Po razpade v osnovno stanje jedra svinca ^{206}Pb tako, da odda delec alfa. Kolikšna je kinetična energija delca alfa?

10. Pri proučevanju obstojnosti jader proti razpadu β večkrat zapišejo masno enačbo v obliki:

$$M(Z,A) = C_A + \frac{1}{2}B_A(Z - Z_A)^2 + D_A.$$

Iz semiempirične masne enačbe določi koeficiente C_A , B_A , D_A in Z_A !

11. Pri katerih elementih so stabilna jedra z masnimi števili 97, 169, 80 in 194?

12. Kolikšna energija se sprosti pri razpadu β jedra (Z,A) ? Obravnavaj razpada β^+ in β^- ter lihe in sode A ! Pomagaj si s semiempirično masno enačbo iz naloge 10!

13. Kolikšno največjo energijo imajo elektroni, ki jih pri razpadu β seva $^{65}_{28}\text{Ni}$? Maso jedra oceni s semiempirično enačbo.

14. S semiempirično masno enačbo ugotovi, kako razpade $^{107}_{48}\text{Cd}$. Kako je z energijo?

15. Neutron razpade z razpadom β . Kolikšna je največja hitrost izsevanih elektronov?

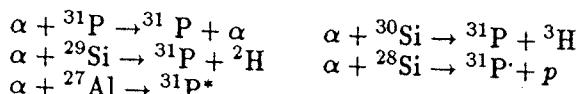
16. Kolikšno največjo kinetično energijo lahko prevzame jedro ogljika pri reakciji $^{12}\text{N} \rightarrow ^{12}\text{C} + e^+ + \text{nevtrino}$? Razpadna energija je 16,7 MeV.

17. Kolikšno odrivno energijo prevzame jedro ogljika pri reakciji v prejšnji nalogi, če ima pozitron kinetično energijo 6,5 MeV in je kot med pozitronom in nevtrinom 90° ?

18. Jedro ^{95}Tc razpade z zajetjem elektrona v ^{95}Mo . Pri tem se sprosti energija 1,6 MeV. Kolikšno energijo odnese nevtrino?

19. Jedro tritija s kinetično energijo 15 MeV trči v drugo mirujoče jedro tritija. Pri tem nastanejo delec α in dva nevtrona. Kolikšna je v težiščnem sistemu največja kinetična energija, ki jo lahko odnese delec α ?

20. Izvir delcev α z energijo 35 MeV lahko sproži naslednje reakcije, v katerih dobimo jedro fosforja:



Koliko energije je pri teh reakcijah na voljo za vzbuditev jedra ^{31}P ?

Pri nalogah 21, 22 in 23 uporabi semiempirično masno enačbo ali pa poišči podatke v preglednici.

21. Jedro ^{238}U se spontano razcepi: $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{96}_{39}\text{Y} + ^{140}_{53}\text{I} + 2n$. Kolikšna je sproščena energija?

22. Najmanj kolikšna mora biti kinetična energija nevtrona, da lahko sproži reakcijo $^{14}\text{N}(n,2n)^{13}\text{N}$?

23. Kolikšno kinetično energijo mora imeti proton, da sproži reakcijo $^{7}_{3}\text{Li}(p,n)^{4}_{4}\text{Be}$, ali nevron, da sproži reakcijo $^{13}_{6}\text{C}(n,^2\text{He})^{10}_{4}\text{Be}$?

24. Jedri tritija in devterija se spojita $^2_1\text{D} + ^3_1\text{T} \rightarrow ^4_2\text{He} + n$. Kolikšna energija se sprosti?

25. Izračunaj največjo kinetično energijo, ki jo lahko odnese elektron pri razpadu mirujočega miona! Kolikšna je reakcijska energija? Mirovna masa miona je 207,2 elektronske mase.

26. Kolikšni sta kinetična energija in gibalna količina miona, ki nastane pri razpadu mirujočega nabitega piona? Kolikšna je reakcijska energija? Ali smes računati nerelativistično? Masa miona je 105,7 MeV, masa nabitega piona pa 139,6 MeV.

27. Izračunaj reakcijsko energijo in energijo praga za reakciji $p + p \rightarrow p + n + \pi^+$ in $\gamma + p \rightarrow n + \pi^+$! Vzemi, da proton v tarči spočetka miruje!

28. Proton trči v mirujoč devteron in ga razcepi na proton in nevron. Izračunaj reakcijsko energijo in energijo praga! Za koliko odstotkov se razlikujeta klasično in relativistično izračunana energija praga? Vezavna energija devterona je 2,226 MeV.

29. Oceni, koliko vodika izgori v helij vsako sekundo na Soncu. Gostota energijskega toka, ki pride na Zemljo, je $1,3 \text{ kW/m}^2$, razdalja Zemlje od Sonca $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$. Vzemi, da teče na Soncu reakcija $^4\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu$.

30. Po neki teoriji so nukleoni neobstojni in razpadajo z razpadnim časom 10^{31} let. Kolikšno maso vode bi morali opazovati, da bi zaznali 1 razpad na dan, če bi teorija veljala?

31. Iz neke naravne rudnine, ki vsebuje uran ^{238}U , bi radi pridobili radij ^{226}Ra . Koliko radija pride na 1 kilogram urana?

32. Z Geiger-Müllerjevim števcem, ki je občutljiv na delce β in ima izkoristek 11 %, merimo aktivnost neke rudnine, ki vsebuje torij. Števec pokaže 100 sunkov na minuto. Koliko gramov torija je v vzorcu?

33. Bizmut ^{212}Bi razpada na dva načina: 33,7 % ga razpade z razpadom α v talij ^{208}Tl , 66,3 % pa z razpadom β . Skupni razpolovni čas je 60,5 minute. Izračunaj razmerje mas talija in bizmuta v vzorcu, v katerem

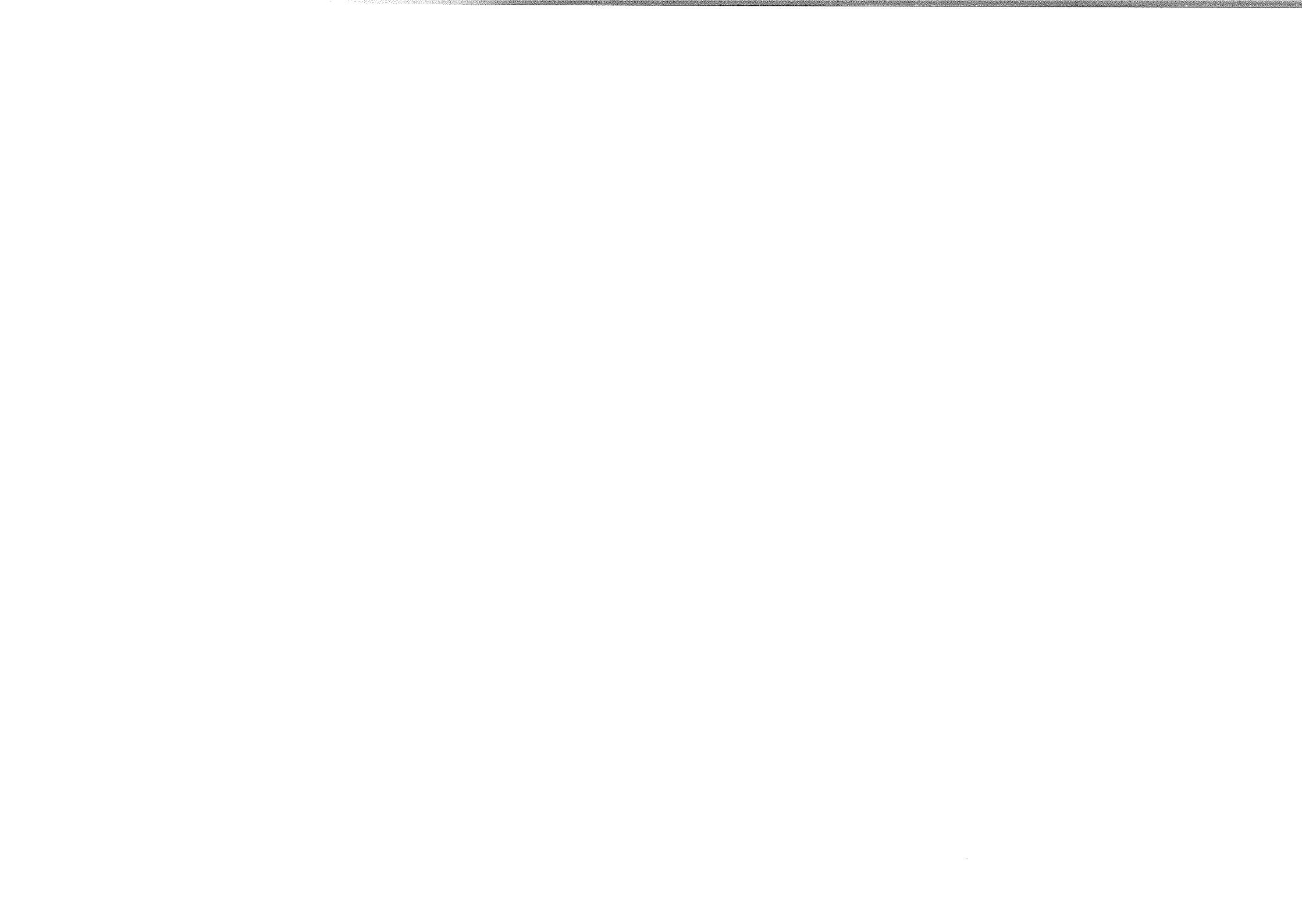
- je na začetku le bizmut, po 10 minutah! Talij ^{208}Tl razpada naprej v svinec z razpolovnim časom 3,1 minute.
34. V gorivu delajočega jedrskega reaktorja je razmerje aktivnosti izotopov joda ^{133}I in ^{131}I enako 2,14. V razcepkih, ki so ob nezgodi ušli iz reaktorja, je to razmerje enako 0,1. Pred kolikšnim časom se je zgodila nesreča? Kolikšno je razmerje števila jeder obeh izotopov joda teden dni po nezgodi? Razpolovni čas ^{133}I je 20,8 ur, ^{131}I pa 8 dni.
35. Jedro ^{209}Pb seva pri prehodu iz prvega vzbujenega stanja v osnovno stanje foton z energijo 0,78 MeV. Kolikšno hitrost mora imeti izvir glede na absorber, da Dopplerjev pojav krije odrivno izgubo prostega atoma in pride do resonančne absorpcije?
36. V svincu je za fotone γ z energijo 5,1 MeV presek za tvorbo parov 756 fm^2 , presek za Comptonov pojav 670 fm^2 , presek za fotoefekt $67,5 \text{ fm}^2$. Kolikokrat se oslabi curek fotonov γ z navedeno energijo pri prehodu skozi 3 cm debelo plast svinca? Gostota svinca je $11,4 \text{ g/cm}^3$, kilomolska masa pa 207,2 kg.
37. 0,23 milimetra debela plast kadmija prepusti 7,2 % vpadnega toka počasnih nevronov. Kolikšen je polni presek za počasne nevronne v kadmiju? Kolikokrat večji je od geometrijskega preseka kadmijevega jedra? Gostota kadmija je $8,65 \text{ g/cm}^3$, kilomol kadmija ima maso 112,4 kg.
38. S kadmijevo ploščico oslabimo vzporeden curek nevronov iz reaktorja. Kako debelo ploščico potrebujemo, če želimo curek oslabiti za 80 odstotkov? Gostota kadmija je $8,65 \text{ g/cm}^3$, kilomolska masa 112,4 kg, presek za zajetje termičnih nevronov pa je $2,44 \cdot 10^5 \text{ fm}^2$.
39. 2 mm debela ploščica iz naravnega srebra prepusti 89 % pravokotno vpadajočega toka nevronov s kinetično energijo 1 eV. Kolikšen je polni presek za nevronne s to kinetično energijo? Srebro ima gostoto $10,5 \text{ g/cm}^3$ in kilomolsko maso 107,9 kg. Kolikšno je razmerje med izračunanim presekom in geometrijskim presekom jedra? Naravno srebro sestavlja izotopa 107 in 109 in račun da le povprečno vrednost.
40. Vzorec, v katerem je neznana količina ^{55}Mn , en dan obsevamo v reaktorju z nevronskim fluksom $10^{16}/\text{m}^2\text{s}$. Po obsevanju izmerimo, da razпадa 100 jeder na sekundo. Kolikšna je bila masa ^{55}Mn v prvotnem vzorcu? Presek ^{55}Mn za zajetje termičnih nevronov je 1330 fm^2 , razpadni čas ^{56}Mn pa je 2,6 ure.
41. ^{59}Co ima presek za zajetje termičnih nevronov 2000 fm^2 . Tanek listič ^{59}Co z maso 10 g obsevamo 100 ur v reaktorju z nevronskim fluksom $2 \cdot 10^{18}/\text{m}^2\text{s}$. Gostota ^{59}Co je $8,9 \text{ g/cm}^3$. Razpolovni čas ^{60}Co je 5,2 leta. Kolikšna je aktivnost obsevanega vzorca?
42. Naravnemu natriju dodamo radioaktivni izotop ^{22}Na , tako da pride na sto tisoč atomov natrija en atom ^{22}Na . Iz tega natrija pridobimo kuhiško sol, ki je 0,1 g raztopimo v 1 dm^3 vode. Kolikšna je aktivnost 1 cm^3 raztopine zdaj in kolikšna bo čez 7 let? Kilomolska masa naravnega natrija je 23,0 kg, klorja pa 35,5 kg. Razpolovni čas ^{22}Na meri 2,6 let.
43. Kolikšno največjo aktivnost ^{60}Co lahko dobimo pri obsevanju 1 g ^{59}Co v reaktorju s fluksom termičnih nevronov $5 \cdot 10^{11}/\text{cm}^2\text{s}$. Presek za reakcijo je 2000 fm^2 , razpolovni čas ^{60}Co pa je 5,2 leta.
44. Gramski listič zlata ^{197}Au 1 dan obsevamo v reaktorju z nevroni. Nato ga vzamemo ven in po 6 urah je njegova aktivnost $6 \cdot 10^8 \text{ Bq}$. Kolikšna je gostota toka nevronov v reaktorju? Presek zlata za zajetje nevronov je 9800 fm^2 , gostota zlata je $19,3 \text{ g/cm}^3$, razpolovni čas izotopa ^{198}Au pa 2,7 dneva.
45. Vzbujeno stanje jedra ^{89}Zr z energijo 0,588 MeV nad osnovnim stanjem razpada z razpolovnim časom 4,18 minute v dolgoživo osnovno stanje jedra ^{89}Zr in v stabilno osnovno stanje jedra ^{89}Y . Pri 93,1 % vseh razpadov dobimo foton γ . Čez koliko časa bo nastalo 60 % vseh jeder ^{89}Y v vzorcu, ki teh jeder na začetku ni vseboval? Skiciraj razpadno shemo!

OSNOVNE FIZIKALNE KONSTANTE

Podatki so vzeti iz *Review of Particle Physics*, Phys. Lett. B 204 (1988) 1. Z zvezdico (*) so označene količine, ki so določene z definicijo.
Stevilka v oklepaju podaja efektivno napako na zadnjih dveh mestih.

1. Svetlobna hitrost*
 $c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s}$
2. Planckova konstanta
 $h = 6,626\,075\,5(40) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
 $\hbar = h/2\pi = 1,054\,572\,66(63) \cdot 10^{-34} \text{ Js} =$
 $= 6,582\,122\,0(20) \cdot 10^{-16} \text{ eVs}$
3. Elektronski naboj
 $e_0 = 1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19} \text{ C}$
4. Elektronska masa
 $m_e = 0,510\,999\,06(15) \text{ MeV}/c_0^2 = 9,109\,389\,7(54) \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
5. Masa protona
 $m_p = 938,272\,31(28) \text{ MeV}/c_0^2 = 1,672\,623\,1(10) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $= 1,007\,276\,470(12) \text{ u} = 1836,152\,701(37)m_e$
6. Masa nevtrona
 $m_n = 939,656\,63(28) \text{ MeV}/c_0^2$
7. Masa devterona
 $m_d = 1875,613\,39(57) \text{ MeV}/c_0^2$
8. Atomska masna enota
 $1 \text{ u} = m(^{12}\text{C})/12 = 1 \text{ kg}/N_A = 931,494\,32(28) \text{ MeV}/c_0^2 =$
 $= 1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
9. Influenčna konstanta*
 $\epsilon_0 = 1/c_0^2 \mu_0 = 8,854\,187\,817\dots \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$
10. Indukcijska konstanta*
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2 = 1,256\,637\,061\dots \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$
11. Konstanta fine strukture
 $\alpha = e_0^2/4\pi\epsilon_0\hbar c_0 = 1/137,035\,989\,5(61)$
12. Klasični radij elektrona
 $r_e = e_0^2/4\pi\epsilon_0 m_e c_0^2 = 2,817\,940\,92(38) \cdot 10^{-15} \text{ m}$

13. Bohrov radij (*jedra = ∞)
 $r_B = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e c_0^2 = r_e/\alpha^2 = 0,529\,177\,249(24) \cdot 10^{-10} \text{ m}$
 14. Rydbergova energija
 $R_\infty = m_e e_0^4/(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2 = m_e c_0^2 \alpha^2 / 2 = 13,605\,698\,1(40) \text{ eV}$
 15. Comptonova valovna dolžina elektrona
 $\lambda_C = \hbar/m_e c_0 = r_e/\alpha = 3,861\,593\,23(35) \cdot 10^{-13} \text{ m}$
 16. Bohrov magneton
 $\mu_B = e_0\hbar/2m_e = 5,788\,382\,63(52) \cdot 10^{-11} \text{ MeV/T} =$
 $= 9,274\,015\,7(37) \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$
 17. Jedrski magneton
 $\mu_j = e_o\hbar/2m_p = 3,152\,451\,66(28) \cdot 10^{-14} \text{ MeV/T} =$
 $= 5,050\,786\,6(20) \cdot 10^{-27} \text{ Am}^2$
 18. Newtonova gravitacijska konstanta
 $G = 6,672\,59(85) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$
 19. (Standardni) težni pospešek ob morski gladini*
 20. Avogadrovo število
 $N_A = 6,022\,136\,7(36) \cdot 10^{26}$
 21. Boltzmannova konstanta
 $k = 1,380\,658(12) \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = 8,617\,385(73) \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$
 22. Stefanova konstanta
 $\sigma = \pi^2 k^4 / 60 \hbar^3 c_0^2 = 5,670\,51(19) \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
 23. Wienova konstanta
 $k_W = \lambda_{\max} T = 2,897\,756(24) \cdot 10^{-3} \text{ mK}$
 24. Splošna plinska konstanta
 $R = N_A k = 8\,314,511(77) \text{ J/K}$
 25. Kilomolska prostornina, idealni plin pri STP
 $V_M = R \cdot (273,15 \text{ K}) / (1 \text{ atm}) = 22,414\,10(19) \text{ m}^3$
- $1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2 = 100 \text{ fm}^2$
 $1 \text{ eV} = 1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 $1 \text{ eV}/c_0^2 = 1,782\,662\,70(54) \cdot 10^{-36} \text{ kg}$
 $1/k = 11\,604,448(98) \text{ K/eV}$
 $1 \text{ C} = 2,997\,924\,58 \cdot 10^9 \text{ esu}$
 $0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$
 $1 \text{ atm} = 1,013\,25 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



| Z | Element | Kem. simbol | Elektronska konf. | | | | | | | | | | Spektroskop-ska oznaka | Ioniz. energija [eV] |
|----|----------|-------------|-------------------|---|---|---|---|----|---|---|-----|---|------------------------|----------------------|
| | | | K | L | M | | N | O | s | p | d | s | p | |
| 37 | Rubidij | Rb | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | .. | 1 | $^2S_{1/2}$ | 4,18 |
| 38 | Stroncij | Sr | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | .. | 2 | 1S_0 | 5,69 |
| 39 | Itrij | Y | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 1 | 2 | $^2D_{3/2}$ | 6,22 |
| 40 | Cirkonij | Zr | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 2 | 2 | 3F_2 | 6,63 |
| 41 | Niobij | Nb | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 4* | 1 | $^6D_{1/2}$ | 6,76 |
| 42 | Molibden | Mo | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 5 | 1 | 7S_3 | 7,09 |
| 43 | Tehnecij | Tc | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 6 | 1 | $^6S_{5/2}$ | 7,28 |
| 44 | Rutenij | Ru | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 7 | 1 | 5F_5 | 7,36 |
| 45 | Rodij | Rh | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 8 | 1 | $^4F_{9/2}$ | 7,46 |
| 46 | Paladij | Pa | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10* | 0 | 1S_0 | 8,34 |
| 47 | Srebro | Ag | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 1 | $^2S_{1/2}$ | 7,58 |
| 48 | Kadmij | Cd | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 1S_0 | 8,99 |
| 49 | Indij | In | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | $^2P_{1/2}$ | 5,79 |
| 50 | Kositer | Sn | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 3P_0 | 7,34 |
| 51 | Antimon | Sb | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | $^4S_{3/2}$ | 8,64 |
| 52 | Telurij | Te | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 3P_2 | 9,01 |
| 53 | Jod | I | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | $^2P_{3/2}$ | 10,45 |
| 54 | Ksenon | Xe | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 1S_0 | 12,13 |

(Zvezdica * označuje "nepravilnost" pri polnjenju podlupin.)

| Z | Element | Kem. simbol | Elektronska konf. | | | | | | | | | | Spektroskop-ska oznaka | Ioniz. energija [eV] |
|----|-------------|-------------|-------------------|---|---|---|---|----|---|---|----|----|------------------------|----------------------|
| | | | K | L | M | | N | O | P | Q | s | p | d | |
| 55 | Cezij | Cs | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | .. | $^2S_{1/2}$ | 3,89 |
| 56 | Barij | Ba | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | .. | 1S_0 | 5,21 |
| 57 | Lantan | La | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | .. | $^2D_{3/2}$ | 5,58 |
| 58 | Cerij | Ce | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2* | 2F_2 | 5,54 |
| 59 | Prazeodimij | Pr | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 3 | 2S_1 | 5,46 |
| 60 | Neodimij | Nd | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 4 | 2F_4 | 5,52 |
| 61 | Prometij | Pm | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 5 | $^6H_{5/2}$ | 5,55 |
| 62 | Samarij | Sm | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 6 | 7S_3 | 5,64 |
| 63 | Evropij | Eu | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 7 | $^8S_{7/2}$ | 5,67 |
| 64 | Gadolinij | Gd | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 7 | 9D_2 | 6,15 |
| 65 | Terbij | Tb | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 9* | $^{15}H_{15/2}$ | 5,86 |
| 66 | Disprozij | Dy | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 10 | $^{15}I_8$ | 5,94 |
| 67 | Holmij | Ho | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 11 | $^{15}I_{15/2}$ | 6,02 |
| 68 | Erbij | Er | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 12 | 3H_6 | 6,11 |
| 69 | Tulij | Tm | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 13 | $^2F_{7/2}$ | 6,18 |
| 70 | Iterbij | Yb | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 1S_0 | 6,25 |
| 71 | Lutecij | Lu | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^2D_{3/2}$ | 5,43 |
| 72 | Hafnij | Hf | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 3F_2 | 6,83 |
| 73 | Tantal | Ta | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^4F_{3/2}$ | 7,89 |
| 74 | Volfram | W | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 5D_0 | 7,98 |
| 75 | Renij | Re | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^6S_{5/2}$ | 7,88 |
| 76 | Osmij | Os | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 5D_4 | 8,70 |
| 77 | Iridij | Ir | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^4F_{9/2}$ | 9,10 |
| 78 | Platina | Pt | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 3D_3 | 9,00 |
| 79 | Zlato | Au | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^2S_{1/2}$ | 9,23 |
| 80 | Zivo srebro | Hg | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 1S_0 | 10,44 |
| 81 | Talij | Tl | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^2P_{1/2}$ | 6,11 |
| 82 | Svinec | Pb | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 3P_0 | 7,42 |
| 83 | Bizmut | Bi | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^4S_{3/2}$ | 7,29 |
| 84 | Polonij | Po | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 3P_2 | 8,42 |
| 85 | Astat | At | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | $^2P_{3/2}$ | 9,65 |
| 86 | Radon | Rn | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 1S_0 | 10,70 |

Dodatek D

| Z Element | Kem. simbol | Elektronska konf. | | | | | | | | | | | | Spektroskop-ska oznaka | Ioniz. energija [eV] | | | | |
|----------------|-------------|-------------------|---|---|---|---|----|---|---|----|----|---|---|------------------------|----------------------|---|---|----|------------------------|
| | | K | | | L | | | M | | | N | | | O | P | Q | | | |
| | | s | s | p | s | p | d | s | p | d | f | s | p | d | f | s | p | d | |
| 87 Francij | Fr | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | .. | 2 | 6 | .. | 1 $^2S_{1/2}$ 3,97 |
| 88 Radij | Ra | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | .. | 2 | 6 | .. | 2 1S_0 5,28 |
| 89 Aktinij | Ac | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | .. | 2 | 6 | 1 | 2 $^2D_{3/2}$ 5,17 |
| 90 Torij | Th | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | .. | 2 | 6 | 2 | 2 3F_2 6,08 |
| 91 Protaktinij | Pa | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 2* | 2 | 6 | 1 | 2 $^4K_{11/2}$ 5,89 |
| 92 Uran | U | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 2* | 2 | 6 | 1 | 2 5L_6 6,19 |
| 93 Neptunij | Np | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 3 | 2 | 6 | 1 | 2 $^3L_{11/2}$ 6,27 |
| 94 Plutonij | Pu | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 4 | 2 | 6 | 1 | 2 7F_0 6,06 |
| 95 Americij | Am | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 6 | 2 | 6 | .. | 2 $^8S_{7/2}$ 5,99 |
| 96 Curij | Cm | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 7 | 2 | 6 | .. | 2 9D_2 6,02 |
| 97 Berkelij | Bk | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 9* | 2 | 6 | .. | 2 $^{15}G_{15/2}$ 6,23 |
| 98 Kalifornij | Cf | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 10 | 2 | 6 | .. | 2 $^{15}I_8$ 6,30 |
| 99 Einsteinij | Es | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 11 | 2 | 6 | .. | 2 $^{15}H_6$ 6,42 |
| 100 Fermij | Fm | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 12 | 2 | 6 | .. | 2 $^{15}F_{7/2}$ 6,58 |
| 101 Mendelevij | Md | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 13 | 2 | 6 | .. | 2 $^{15}S_0$ 6,65 |
| 102 Nobelij | No | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | .. | 2 $^{15}D_{3/2}$ 6,65 |
| 103 Lawrencij | Lr | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 1 | 2 $^{15}D_{5/2}$ 6,65 |
| 104 — | — | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 6 | 2 | 2 $^{15}D_{7/2}$ 6,65 |

Nekaj podatkov o dvoatomnih molekulah

V stolpcih so po vrsti navedene: (1) kemijska formula, (2), (3) masni števili obeh atomov, (4) ravnovesna razdalja med atomoma, (5) nihajno valovno število $\tilde{\nu}_v = \omega/2\pi c_0$ in (6) disociacijska energija.

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|-----------------|-------|-------|--------------------------|--------------------------|--------|
| Molekula | m_1 | m_2 | r_0 | $\tilde{\nu}_v$ | W_d |
| C_2 | 12 | 12 | $1,312 \cdot 10^{-10}$ m | $1641,4 \text{ cm}^{-1}$ | |
| CaO | 40 | 16 | 1,822 | 732,1 | 5,9 eV |
| CH | 12 | 1 | 1,120 | 2861,6 | 3,5 |
| Cl ₂ | 35 | 35 | 1,988 | 564,9 | 2,5 |
| CN | 12 | 14 | 1,172 | 2068,7 | |
| CO | 12 | 16 | 1,128 | 2170,2 | 11,1 |
| H ₂ | 1 | 1 | 0,742 | 4395,2 | 4,5 |
| HCl | 1 | 35 | 1,275 | 2989,7 | 4,4 |
| HF | 1 | 9 | 0,917 | 4138,5 | 6,4 |
| I ₂ | 127 | 127 | 2,666 | 214,6 | 1,5 |
| LiH | 7 | 1 | 1,595 | 1405,6 | 2,5 |
| MgO | 24 | 16 | 1,749 | 785,1 | |
| N ₂ | 14 | 14 | 1,094 | 2359,6 | 9,8 |
| O ₂ | 16 | 16 | 1,207 | 1580,4 | 5,1 |
| OH | 16 | 1 | 0,971 | 3735,2 | 4,4 |

Dodatek E

Fermijeva energija, Fermijeva temperatura, Fermijev valovni vektor in Fermijeva hitrost za nekatere kovine

| Kovina | W_F | T_F | k_F | v_F |
|--------|---------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Li | 4,74 eV | $5,51 \cdot 10^4$ K | $1,12 \cdot 10^{10}$ m ⁻¹ | $1,29 \cdot 10^6$ m/s |
| Na | 3,24 | 3,77 | 0,92 | 1,07 |
| K | 2,12 | 2,46 | 0,75 | 0,86 |
| Cu | 7,00 | 8,16 | 1,36 | 1,57 |
| Ag | 5,49 | 6,38 | 1,20 | 1,39 |
| Au | 5,53 | 6,42 | 1,21 | 1,40 |
| Ca | 4,69 | 5,44 | 1,11 | 1,28 |
| Fe | 11,1 | 13,0 | 1,71 | 1,98 |
| Zn | 9,47 | 11,0 | 1,58 | 1,83 |
| Al | 11,7 | 13,6 | 1,75 | 2,03 |
| Pb | 9,47 | 11,0 | 1,58 | 1,83 |

Dodatek

Dodatek F

Širina energijske špranje (pri 300 K in 0 K) in gibljivost elektronov in vrzeli (pri 300 K) za nekatere polprevodnike

| Slov | W_g (300 K) | W_g (0 K) | β_e | β_v |
|-------------|---------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| Si | 1,12 eV | 1,17 eV | 0,185 m ² /Vs | 0,048 m ² /Vs |
| Ge | 0,67 | 0,75 | 0,38 | 0,18 |
| InSb | 0,16 | 0,23 | 7,8 | 0,075 |
| InAs | 0,35 | 0,43 | 3,3 | 0,04 |
| InP | 1,3 | | 0,5 | 0,02 |
| GaSb | 0,69 | 0,79 | 0,4 | 0,14 |
| GaAs | 1,4 | | 0,85 | 0,05 |
| GaP | 2,2 | | | |
| AlSb | 1,5 | 1,6 | | |
| PbS | 0,37 | 0,29 | | |
| PbSe | 0,26 | 0,17 | | |
| PbTe | 0,29 | 0,19 | | |
| C (diamant) | 5,5 | | | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | Relativna atomsko maso | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (mesecev, dni, ur, sekund, mikrosekund) 11/2 |
|-----|-----------|--------|-----------|------------------------|---|------------|---------|-----|---|
| Z | Element | Simbol | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | | | |
| 0 | (Nevtron) | n | | 1* | 1.008665 | 1/2 + | | | 12 m |
| 1 | Vodik | H | 1.0079 | 1 | 1.007825 | 1/2 + | 99.985 | | |
| | Devterij | D | | 2 | 2.014102 | 1 + | 0.015 | | |
| | Tritij | T | | 3* | 3.016050 | 1/2 + | | | 12.26 |
| 2 | Helij | He | 4.0026 | 3 | 3.016030 | 1/2 + | 0.00013 | | |
| | | | | 4 | 4.002603 | 0 + | ~100 | | |
| 3 | Litij | Li | 6.939 | 6 | 6.015125 | 1 + | 7.42 | | |
| | | | | 7 | 7.016004 | 3/2 - | 92.58 | | |
| 4 | Berilij | Be | 9.0122 | 9 | 9.012186 | 3/2 - | 100 | | |
| | | | | 10 | 10.013534 | 0 + | | | 2.7x10 ⁶ |
| 5 | Bor | B | | 10 | 10.012939 | 3 + | 19.78 | | |
| | | | | 11 | 11.009305 | 3/2 - | 80.22 | | |
| 6 | Ogljik | C | 12.011115 | 12 | 12.000000 | 0 + | 98.89 | | |
| | | | | 13 | 13.003354 | 1/2 - | 1.11 | | |
| | | | | 14 | 14.003242 | 0 + | | | 5.730 |
| 7 | Dušik | N | 14.0067 | 14 | 14.003074 | 1 + | 99.63 | | |
| | | | | 15 | 15.000108 | 1/2 - | 0.37 | | |
| 8 | Kisik | O | 15.9994 | 16 | 15.994915 | 0 + | 99.759 | | |
| | | | | 17 | 16.999133 | 5/2 + | 0.037 | | |
| | | | | 18 | 17.999160 | 0 + | 0.204 | | |
| 9 | Flor | F | 18.9984 | 19 | 18.998405 | 1/2 + | 100 | | |
| 10 | Neon | Ne | 20.183 | 20 | 19.992440 | 0 + | 90.92 | | |
| | | | | 21 | 20.993849 | 3/2 + | 0.257 | | |
| | | | | 22 | 21.991385 | 0 + | 8.82 | | |
| 11 | Natrij | Na | 22.9898 | 22* | 21.994437 | 3 + | | | 2.60 |
| | | | | 23 | 22.989771 | 3/2 + | 100 | | |
| 12 | Magnezij | Mg | 24.312 | 24 | 23.985042 | 0 + | 78.70 | | |
| | | | | 25 | 24.986809 | 5/2 + | 10.13 | | |
| | | | | 26 | 25.982593 | 0 + | 11.17 | | |
| 13 | Aluminij | Al | 26.9815 | 26* | 25.986892 | 5 + | | | 7.4 x 10 ⁵ |
| | | | | 27 | 26.981539 | 5/2 | | | |
| 14 | Silicij | Si | 28.086 | 28 | 27.976929 | 0 + | 92.21 | | |
| | | | | 29 | 28.976496 | 1/2 + | 4.70 | | |
| | | | | 30 | 29.973763 | 0 + | 3.09 | | |
| | | | | 32* | 31.974020 | 0 + | | | ~700 |
| 15 | Fosfor | P | 30.9738 | 31 | 30.973765 | 1/2 + | 100 | | |
| 16 | Žveplo | S | 32.064 | 32 | 31.972074 | 0 + | 95.0 | | |
| | | | | 33 | 32.971462 | 3/2 + | 0.76 | | |
| | | | | 34 | 33.967865 | 0 + | 4.22 | | |
| | | | | 36 | 35.967089 | 0 + | 0.014 | | |
| 17 | Klor | Cl | 35.453 | 35 | 34.968851 | 3/2 + | 75.53 | | |
| | | | | 36* | 35.968309 | 2 + | | | 3x10 ⁵ |
| | | | | 37 | 36.965898 | 3/2 + | 24.47 | | |

Dodatek G

PREGLEDNICA IZOTOPOV

Preglednica je vzeta iz knjige P. A. Tiplerja *Foundations of Modern Physics*, Worth Publishers, New York 1969.

Stolpci po vrsti vsebujejo: (1) vrstno število, (2) ime elementa, (3) simbol, (4) relativno atomsko maso naravnega elementa, (5) masno število (zvezdica * pomeni, da je izotop radioaktivni), (6) maso atoma v atomskih masnih enotah u, (7) spin in parnost, (8) pogostnost izotopa v naravnem elementu v odstotkih in (9) razpolovni čas pri radioaktivnih izotopih.

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
|-----|---------|--------|------------------------|---|-----------|-------|-----------------|---|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomska masa | Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | A | Masa | Spin in parnost | Razpolovni čas let (mesecev, dni, ur, sekund, mikrosekund) 11/2 |
| 18 | Argon | A | 39.948 | 36 | 35.967544 | 0 + | 0.337 | |
| | | | | 38 | 37.962728 | 0 + | 0.063 | |
| | | | | 39* | 38.964317 | 7/2 - | | |
| | | | | 40 | 39.962384 | 0 + | 99.60 | 270 |
| | | | | 42* | 41.963048 | 0 + | | 33 |
| 19 | Kalij | K | 39.102 | 39 | 38.963710 | 3/2 + | 93.10 | |
| | | | | 40* | 39.964000 | 4 - | 0.0118 | 1.3×10^9 |
| | | | | 41 | 40.961832 | 3/2 + | 6.88 | |
| 20 | Kalcij | Ca | 40.08 | 40 | 39.962589 | 0 + | 96.97 | |
| | | | | 41* | 40.962275 | 7/2 - | | 7.7×10^4 |
| | | | | 42 | 41.958625 | 0 + | 0.64 | |
| | | | | 43 | 42.958780 | 7/2 - | 0.145 | |
| | | | | 44 | 43.955492 | 0 + | 2.06 | |
| | | | | 46 | 45.953689 | 0 + | 0.0033 | |
| | | | | 48 | 47.952531 | 0 + | 0.18 | |
| 21 | Skandij | Sc | 44.956 | 45 | 44.955920 | 7/2 - | 100 | |
| 22 | Titan | Ti | 47.90 | 44* | 43.959572 | 0 + | | |
| | | | | 46 | 45.952632 | 0 + | 7.93 | 47 |
| | | | | 47 | 46.951768 | 5/2 - | 7.28 | |
| | | | | 48 | 47.947950 | 0 + | 73.94 | |
| | | | | 49 | 48.947870 | 7/2 - | 5.51 | |
| | | | | 50 | 49.944786 | 0 + | 5.34 | |
| 23 | Vanadij | V | 50.942 | 50* | 49.947164 | 6 + | 0.24 | $\sim 6 \times 10^{15}$ |
| | | | | 51 | 50.943961 | 7/2 - | 99.76 | |
| 24 | Krom | Cr | 51.996 | 50 | 49.946054 | 0 + | 4.31 | |
| | | | | 52 | 51.940513 | 0 + | 83.76 | |
| | | | | 53 | 52.940653 | 3/2 - | 9.55 | |
| | | | | 54 | 53.938882 | 0 + | 2.38 | |
| 25 | Mangan | Mn | 54.9380 | 55 | 54.938050 | 5/2 - | 100 | |
| 26 | Železo | Fe | 55.847 | 54 | 53.939616 | 0 + | 5.82 | |
| | | | | 55* | 54.938299 | 3/2 - | | 2.4 |
| | | | | 56 | 55.939395 | 0 + | 91.66 | |
| | | | | 57 | 56.935398 | 1/2 - | 2.19 | |
| | | | | 58 | 57.933282 | 0 + | 0.33 | |
| | | | | 60 | 59.933964 | 0 + | | $\sim 10^5$ |
| 27 | Kobalt | Co | 58.9332 | 59 | 58.933189 | 7/2 - | 100 | |
| | | | | 60* | 59.933813 | 5 + | | 5.24 |
| 28 | Nikelj | Ni | 58.71 | 58 | 57.935342 | 0 + | 67.88 | |
| | | | | 59* | 58.934342 | 3/2 - | | 8×10^4 |
| | | | | 60 | 59.930787 | 0 + | 26.23 | |
| | | | | 61 | 60.931056 | 3/2 - | 1.19 | |
| | | | | 62 | 61.928342 | 0 + | 3.66 | |
| | | | | 63* | 62.929664 | | | 92 |
| | | | | 64 | 61.927958 | 0 + | 1.08 | |
| 29 | Baker | Cu | 63.54 | 63 | 62.929592 | 3/2 - | 69.09 | |
| | | | | 65 | 64.927786 | 3/2 - | 30.91 | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
|-----|----------|--------|------------------------|---|-----------|-------|-----------------|---|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomska masa | Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | A | Masa | Spin in parnost | Razpolovni čas let (mesecev, dni, ur, sekund, mikrosekund) 11/2 |
| 30 | Cink | Zn | 65.37 | 64 | 63.929145 | 0 + | 48.89 | |
| | | | | 66 | 65.926052 | 0 + | 27.81 | |
| | | | | 67 | 66.927145 | 5/2 - | 4.11 | |
| | | | | 68 | 67.924857 | 0 + | 18.57 | |
| | | | | 70 | 69.925334 | 0 + | 0.62 | |
| 31 | Galij | Ga | 69.72 | 69 | 68.925574 | 3/2 - | 60.4 | |
| | | | | 71 | 70.924706 | 3/2 - | 39.6 | |
| 32 | Germanij | Ge | 72.59 | 70 | 69.924252 | 0 + | 20.52 | |
| | | | | 72 | 71.922082 | 0 + | 27.43 | |
| | | | | 73 | 72.923462 | 9/2 + | 7.76 | |
| | | | | 74 | 73.921181 | 0 + | 36.54 | |
| | | | | 76 | 75.921405 | 0 + | 7.76 | |
| 33 | Arzen | As | 74.9216 | 75 | 74.921596 | 3/2 - | 100 | |
| 34 | Selen | Se | 78.96 | 74 | 73.922476 | 0 + | 0.87 | |
| | | | | 76 | 75.919207 | 0 + | 9.02 | |
| | | | | 77 | 76.919911 | 1/2 - | 7.58 | |
| | | | | 78 | 77.917314 | 0 + | 23.52 | |
| | | | | 79* | 78.918494 | 7/2 + | | 7×10^4 |
| | | | | 80 | 79.916527 | 0 + | 49.82 | |
| | | | | 82 | 81.916707 | 0 + | 9.19 | |
| 35 | Brom | Br | 79.909 | 79 | 78.918329 | 3/2 - | 50.54 | |
| | | | | 81 | 80.916292 | 3/2 - | 49.46 | |
| 36 | Kripton | Kr | 83.80 | 78 | 77.920403 | 0 + | 0.35 | |
| | | | | 80 | 79.916380 | 0 + | 2.27 | |
| | | | | 81* | 80.916610 | 7/2 + | | 2.1×10^5 |
| | | | | 82 | 81.913482 | 0 + | 11.56 | |
| | | | | 83 | 82.914131 | 9/2 + | 11.55 | |
| | | | | 84 | 83.911503 | 0 + | 56.90 | |
| | | | | 85* | 84.912523 | 9/2 + | | 10.76 |
| | | | | 86 | 85.910616 | 0 + | 17.37 | |
| 37 | Rubidij | Rb | | 85 | 84.911800 | 5/2 - | 72.15 | |
| | | | | 87* | 86.909186 | 3/2 - | 27.85 | |
| | | | | 87 | 83.913430 | 0 + | 0.56 | 5.2×10^{10} |
| 38 | Stroncij | Sr | 87.62 | 86 | 85.909285 | 0 + | 9.86 | |
| | | | | 87 | 86.908892 | 9/2 + | 7.02 | |
| | | | | 88 | 87.905641 | 0 + | 82.56 | |
| | | | | 90* | 89.907747 | 0 + | | 28.8 |
| 39 | Itrij | Y | 88.905 | 89 | 88.905872 | 1/2 - | 100 | |
| 40 | Cirkonij | Zr | 91.22 | 90 | 89.904700 | 0 + | 51.46 | |
| | | | | 91 | 90.905642 | 5/2 + | 11.23 | |
| | | | | 92 | 91.905031 | 0 + | 17.11 | |
| | | | | 93* | 92.906450 | 5/2 + | | 9.5×10^5 |
| | | | | 94 | 93.906313 | 0 + | 17.40 | |
| | | | | 96 | 95.908286 | 0 + | 2.80 | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (mesecov, dni, ur, sekund, mikrosekund) |
|-----|----------|--------|------------------------------|--|------------|--------------------|------------|---|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsko masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | t1/2 |
| 41 | Niobij | Nb | 92.906 | 91* | 90.906860 | | | (dolg) 10^7 |
| | | | | 92* | 91.907211 | | | |
| | | | | 93 | 92.906382 | 9/2 + | 100 | |
| | | | | 94* | 93.907303 | 6 + | | |
| 42 | Molibden | Mo | 95.94 | 92 | 91.906810 | 0 + | 15.84 | 2×10^4 $\sim 10^4$ |
| | | | | 93* | 92.906830 | | | |
| | | | | 94 | 93.905090 | 0 + | 9.04 | |
| | | | | 95 | 94.905839 | 5/2 ... | 15.72 | |
| | | | | 96 | 95.904674 | 0 + | 16.53 | |
| | | | | 97 | 96.906021 | 5/2 ... | 9.46 | |
| | | | | 98 | 97.905409 | 0 + | 23.78 | |
| | | | | 100 | 99.907475 | 0 + | 9.63 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 43 | Tehnecij | Tc | | 97* | 96.906340 | | | 2.6×10^6 1.5×10^6 2.1×10^5 |
| | | | | 98* | 97.907110 | | | |
| | | | | 99* | 98.906249 | 9/2 + | | |
| 44 | Rutenij | Ru | 101.07 | 96 | 95.907598 | 0 + | 5.51 | |
| | | | | 98 | 97.905289 | 0 + | 1.87 | |
| | | | | 99 | 98.905936 | 5/2 + | 12.72 | |
| | | | | 100 | 99.904218 | 0 + | 12.62 | |
| | | | | 101 | 100.905577 | 5/2 + | 17.07 | |
| | | | | 102 | 101.904348 | 0 + | 31.61 | |
| | | | | 104 | 103.905430 | 0 + | 18.58 | |
| 45 | Rodij | Rh | 102.905 | 103 | 102.905511 | 1/2 - | 100 | |
| 46 | Paladij | Pd | 106.4 | 102 | 101.905609 | 0 + | 0.96 | |
| | | | | 104 | 103.904011 | 0 + | 10.97 | |
| | | | | 105 | 104.905064 | 5/2 + | 22.23 | |
| | | | | 106 | 105.903479 | 0 + | 27.33 | |
| | | | | 107* | 106.905132 | | | |
| | | | | 108 | 107.903891 | 0 + | 26.71 | |
| | | | | 110 | 109.905164 | 0 + | 11.81 | |
| | | | | | | | | |
| 47 | Srebro | Ag | 107.870 | 107 | 106.905094 | 1/2 - | 51.82 | |
| | | | | 109 | 108.904756 | 1/2 - | 48.18 | |
| 48 | Kadmij | Cd | 112.40 | 106 | 105.906463 | 0 + | 1.22 | |
| | | | | 108 | 107.904187 | 0 + | 0.88 | |
| | | | | 109* | 108.904928 | 5/2 + | | |
| | | | | 110 | 109.903012 | 0 + | 12.39 | |
| | | | | 111 | 110.904188 | 1/2 + | 12.75 | |
| | | | | 112 | 111.902762 | 0 + | 24.07 | |
| | | | | 113 | 112.904408 | 1/2 + | 12.26 | |
| | | | | 114 | 113.903360 | 0 + | 28.86 | |
| | | | | 116 | 115.904762 | 0 + | 7.58 | |
| | | | | 113 | 112.904089 | 9/2 + | 4.28 | |
| 49 | Indij | In | 114.82 | 115* | 114.903871 | 9/2 + | 95.72 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (mesecov, dni, ur, sekund, mikrosekund) |
|-----|---------|--------|------------------------------|--|------------|--------------------|------------|---|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsko masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | t1/2 |
| 50 | Kositer | Sn | 118.69 | 112 | 111.904835 | 0 + | 0.96 | |
| | | | | 114 | 113.902773 | 0 + | 0.66 | |
| | | | | 115 | 114.903346 | 1/2 + | 0.35 | |
| | | | | 116 | 115.901745 | 0 + | 14.30 | |
| | | | | 117 | 116.902958 | 1/2 + | 7.61 | |
| | | | | 118 | 117.901606 | 0 + | 24.03 | |
| | | | | 119 | 118.903313 | 1/2 + | 8.58 | |
| | | | | 120 | 119.902198 | 0 + | 32.85 | |
| | | | | 121 | 120.904227 | | | 25 |
| | | | | 122 | 121.903441 | 0 + | 4.72 | |
| | | | | 124 | 123.905272 | 0 + | 5.94 | |
| | | | | 51 | Antimon | Sb | 121.75 | |
| 52 | Telurij | Te | 127.60 | 121 | 120.903816 | 5/2 + | 57.25 | |
| | | | | 123 | 122.904213 | 7/2 + | 42.75 | |
| | | | | 125 | 124.905232 | 7/2 + | | |
| | | | | 120 | 119.904023 | 0 + | 0.089 | |
| | | | | 122 | 121.903064 | 0 + | 2.46 | |
| 53 | Jod | I | 126.9044 | 123* | 122.904277 | 1/2 + | 0.87 | 1.2×10^{13} |
| | | | | 124 | 123.902842 | 0 + | 4.61 | |
| | | | | 125 | 124.904418 | 1/2 + | 6.99 | |
| | | | | 126 | 125.903322 | 0 + | 18.71 | |
| | | | | 128 | 127.904476 | 0 + | 31.79 | |
| | | | | 130 | 129.906238 | 0 + | 34.48 | |
| | | | | 127 | 126.904070 | 5/2 + | 100 | |
| | | | | 129* | 128.904987 | 7/2 + | | |
| | | | | 124 | 123.906120 | 0 + | 0.096 | |
| | | | | 126 | 125.904288 | 0 + | 0.090 | |
| 54 | Ksenon | Xe | 131.30 | 128 | 127.903540 | 0 + | 1.92 | |
| | | | | 129 | 128.904784 | 1/2 + | 26.44 | |
| | | | | 130 | 129.903509 | 0 + | 4.08 | |
| | | | | 131 | 130.905085 | 3/2 + | 21.18 | |
| | | | | 132 | 131.904161 | 0 + | 26.89 | |
| | | | | 134 | 133.905815 | 0 + | 10.44 | |
| | | | | 136 | 135.907221 | 0 + | 8.87 | |
| | | | | 133 | 132.905355 | 7/2 + | 100 | |
| | | | | 134* | 133.906823 | 4 + | | 2.1 |
| | | | | 135* | 134.905770 | 7 + | | |
| 55 | Cezij | Cs | 132.905 | 137* | 136.906770 | 7/2 + | | |
| | | | | 130 | 129.906245 | 0 + | 0.101 | 7.2 |
| | | | | 132 | 131.905120 | 0 + | 0.097 | |
| | | | | 133* | 132.905879 | | | |
| | | | | 134 | 133.904612 | 0 + | 2.42 | |
| | | | | 135 | 134.905550 | 3/2 + | 6.59 | |
| | | | | 136 | 135.904300 | 0 + | 7.81 | |
| | | | | 137 | 136.905500 | 3/2 + | 11.32 | |
| | | | | 138 | 137.905000 | 0 + | 71.66 | |
| | | | | | | | | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (meseci, dne, ur, sekund, mikrosekund) t1/2 |
|-----|-------------|--------|------------------------------|--|------------|--------------------|-----------------------|--|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsko masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | |
| 57 | Lantan | La | 138.91 | 137* | 136.906040 | | | |
| | | | | 138* | 137.906910 | 5 - | 0.089 | 6x10 ⁴ |
| | | | | 139 | 138.906140 | 7/2 + | 99.911 | |
| 58 | Cerij | Ce | 140.12 | 136 | 135.907100 | 0 + | 0.193 | |
| | | | | 138 | 137.905830 | 0 + | 0.250 | |
| | | | | 140 | 139.905392 | 0 + | 88.48 | |
| | | | | 142* | 141.909140 | 0 + | 11.07 | 5x10 ¹⁵ |
| 59 | Prazeodimij | Pr | 140.907 | 141 | 140.907596 | 5/2 + | 100 | |
| 60 | Neodimij | Nd | 144.24 | 142 | 141.907663 | 0 + | 27.11 | |
| | | | | 143 | 142.909779 | 7/2 - | 12.17 | |
| | | | | 144* | 143.910039 | 0 + | 23.85 | 2.1x10 ¹⁵ |
| | | | | 145 | 144.912538 | 7/2 - | 8.30 | |
| | | | | 146 | 145.913086 | 0 + | 17.22 | |
| | | | | 148 | 147.916869 | 0 + | 5.73 | |
| 61 | Prometij | Pm | | 145* | 144.912691 | | 18 | |
| | | | | 146* | 145.914632 | | 1600 d | |
| | | | | 147* | 146.915108 | 7/2 + | 2.6 | |
| 62 | Samarij | Sm | 150.35 | 144 | 143.911989 | 0 + | 3.09 | |
| | | | | 146* | 145.912992 | 0 + | 1.2 x 10 ⁸ | |
| | | | | 147* | 146.914867 | 7/2 - | 14.97 | 1.08 x 10 ¹¹ |
| | | | | 148* | 147.914791 | 0 + | 11.24 | 1.2 x 10 ¹³ |
| | | | | 149* | 148.917180 | 7/2 - | 13.83 | 4 x 10 ¹⁴ |
| | | | | 150 | 149.917276 | 0 + | 7.44 | |
| | | | | 151 | 150.919919 | 7/2 - | | 90 |
| 63 | Evropij | Eu | 151.96 | 152 | 151.919756 | 0 + | 26.72 | |
| | | | | 154 | 153.922282 | 0 + | 22.71 | |
| | | | | 155 | 154.922930 | 5/2 + | | |
| | | | | 151 | 150.919838 | 5/2 + | 47.82 | |
| | | | | 152* | 151.921749 | 3 - | | 12.4 |
| 64 | Gadolinij | Gd | 157.25 | 153 | 152.921242 | 5/2 + | 52.18 | |
| | | | | 154* | 153.923053 | 3 - | | 16 |
| | | | | 155* | 154.922930 | 5/2 + | 1.8 | |
| | | | | 148* | 147.918101 | 0 + | | 85 |
| | | | | 150* | 149.918605 | 0 + | | 1.8x10 ⁶ |
| | | | | 152* | 151.919794 | 0 + | 0.20 | 1.1x10 ¹⁴ |
| | | | | 154 | 153.920929 | 0 + | 2.15 | |
| | | | | 155 | 154.922664 | 3/2 - | 14.73 | |
| | | | | 156 | 155.922175 | 0 + | 20.47 | |
| | | | | 157 | 156.924025 | 3/2 - | 15.68 | |
| 65 | Terbij | Tb | 158.925 | 158 | 157.924178 | 0 + | 24.87 | |
| | | | | 160 | 159.927115 | 0 + | 21.90 | |
| | | | | 159 | 158.925351 | 3/2 + | 100 | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (meseci, dne, ur, sekund, mikrosekund) t1/2 |
|-----|-----------|--------|------------------------------|--|------------|--------------------|--------------------|--|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsko masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | |
| 66 | Disprozij | Dy | 162.50 | 156* | 155.923930 | 0 + | 0.052 | 2x10 ¹⁴ |
| | | | | 158 | 157.924449 | 0 + | 0.090 | |
| | | | | 160 | 159.925202 | 0 + | 2.29 | |
| | | | | 161 | 160.926945 | 5/2 + | 18.88 | |
| | | | | 162 | 161.926803 | 0 + | 25.53 | |
| | | | | 163 | 162.928755 | 5/2 - | 24.97 | |
| | | | | 164 | 163.929200 | 0 + | 28.18 | |
| | | | | 67 | 164.930421 | 7/2 - | 100 | |
| 68 | Erbij | Er | 167.26 | 165 | 164.932289 | 0 - | | 1.2x10 ³ |
| | | | | 166* | 165.930307 | 0 + | 1.56 | |
| | | | | 167 | 166.932060 | 7/2 + | 33.41 | |
| | | | | 168 | 167.932383 | 0 + | 22.94 | |
| | | | | 170 | 169.935560 | 0 + | 27.07 | |
| | | | | 69 | 168.934245 | 1/2 + | 14.88 | |
| | | | | 171* | 170.936530 | 1/2 + | | 1.9 |
| | | | | 70 | 168.934160 | 0 + | 0.135 | |
| 71 | Iterbij | Yb | 173.04 | 170 | 169.935020 | 0 + | 3.03 | |
| | | | | 171 | 170.936430 | 1/2 - | 14.31 | |
| | | | | 172 | 171.936360 | 0 + | 21.82 | |
| | | | | 173 | 172.938060 | 5/2 - | 16.13 | |
| | | | | 174 | 173.938740 | 0 + | 31.84 | |
| | | | | 176 | 175.942680 | 0 + | 12.73 | |
| | | | | 72 | 172.938800 | 7/2 + | | 1.4 |
| | | | | 173* | 174.940640 | 7/2 + | 97.41 | |
| 73 | Hafnij | Hf | 178.49 | 175 | 175.942660 | 0 + | 2.59 | 2.2x10 ¹⁰ |
| | | | | 176* | 176.943400 | 7/2 - | | |
| | | | | 177 | 177.943880 | 0 + | 18.50 | |
| | | | | 178 | 177.946030 | 9/2 + | 27.14 | |
| | | | | 179 | 178.946030 | 0 + | 13.75 | |
| | | | | 180 | 179.946820 | 0 + | 35.24 | |
| | | | | 180 | 179.947544 | | 0.0123 | |
| | | | | 181 | 180.948007 | 7/2 + | 99.988 | |
| 74 | Volfram | W | 183.85 | 180 | 179.947000 | 0 + | 0.14 | |
| | | | | 182 | 181.948301 | 0 + | 26.41 | |
| | | | | 183 | 182.950324 | 1/2 - | 14.40 | |
| | | | | 184 | 183.951025 | 0 + | 30.64 | |
| | | | | 186 | 185.954440 | 0 + | 28.41 | |
| | | | | 75 | 184.953059 | 5/2 + | 37.07 | |
| | | | | 187* | 186.955833 | 5/2 + | 62.93 | |
| | | | | 76 | 186.2 | | 5x10 ¹⁰ | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (mesecev, dni, ur, sekund, mikrosekund) 1/2 |
|-----|-------------|--------|------------------------------|--|-------------|--------------------|-----------------|--|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsko masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | |
| 76 | Osmij | Os | 190.2 | 184 | 183.952750 | 0 + | 0.018 | |
| | | | | 186 | 185.953870 | 0 + | 1.59 | |
| | | | | 187 | 186.955832 | 1/2 - | 1.64 | |
| | | | | 188 | 187.956081 | 0 + | 13.3 | |
| | | | | 189 | 188.958300 | 3/2 - | 16.1 | |
| | | | | 190 | 189.958630 | 0 + | 26.4 | |
| | | | | 192 | 191.961450 | 0 + | 41.0 | |
| | | | | 194* | 193.965229 | 0 + | 6.0 | |
| 77 | Iridij | Ir | 192.2 | 191 | 190.960640 | 3/2 + | 37.3 | |
| | | | | 193 | 192.963012 | 3/2 + | 62.7 | |
| 78 | Platina | Pt | 195.09 | 190* | 189.959950 | 0 + | 0.0127 | 7×10^{11} |
| | | | | 192 | 191.961150 | 0 + | 0.78 | |
| | | | | 194 | 193.962725 | 0 + | 32.9 | |
| | | | | 195 | 194.964813 | 1/2 - | 33.8 | |
| | | | | 196 | 195.964967 | 0 + | 25.3 | |
| | | | | 198 | 197.967895 | 0 + | 7.21 | |
| 79 | Zlato | Au | 196.967 | 197 | 196.966541 | 3/2 + | 100 | |
| 80 | Živo srebro | Hg | 200.59 | 196 | 195.965820 | 0 + | 0.146 | |
| | | | | 198 | 197.966756 | 0 + | 10.02 | |
| | | | | 199 | 198.968279 | 1/2 - | 16.84 | |
| | | | | 200 | 199.9683327 | 0 + | 23.13 | |
| | | | | 201 | 200.970308 | 3/2 - | 133.22 | |
| | | | | 202 | 201.970642 | 0 + | 29.80 | |
| | | | | 204 | 203.973495 | 0 + | 6.85 | |
| 81 | Talij | Tl | 204.19 | 203 | 202.972353 | 1/2 + | 29.50 | |
| | | | | 204* | 203.973865 | 2 - | 3.75 | |
| | | | | 205 | 204.974442 | 1/2 + | 70.50 | |
| | | Ra E* | | 206* | 205.976104 | | 4.3 m | |
| | | Ac C* | | 207* | 206.977450 | | 4.78 m | |
| | | Th C* | | 208* | 207.982013 | 5 + | 3.1 m | |
| | | Ra C" | | 210* | 209.990054 | | 1.3 m | |
| 82 | Svinec | Pb | 207.19 | 202* | 201.927997 | 0 + | 3×10^5 | |
| | | | | 204* | 203.973044 | 0 + | 1.48 | 1.4×10^{17} |
| | | | | 205* | 204.974480 | | 3×10^7 | |
| | | | | 206 | 205.974468 | 0 + | 23.6 | |
| | | | | 207 | 206.975903 | 1/2 - | 22.6 | |
| | | | | 208 | 207.976650 | 0 + | 52.3 | |
| | | Ra D | | 210* | 209.984187 | 0 + | 22 | |
| | | Ac B | | | | | 36.1 m | |
| | | Th B | | 211* | 210.988742 | | 10.64 h | |
| | | Ra B | | 212* | 211.991905 | 0 + | 26.8 m | |
| | | | | 214* | 213.999764 | 0 + | | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (mesecev, dni, ur, sekund, mikrosekund) 1/2 |
|-----|-------------|--------|------------------------------|--|------------|--------------------|------------|--|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsko masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | |
| 83 | Bizmut | Bi | 209.980 | 207* | 206.978438 | | | 30 |
| | | | | 208* | 207.979731 | | | 3.7×10^5 |
| | | | | 209 | 208.980394 | | 9/2 - | 100 |
| | | | | Ra E | | | | 5.1 d |
| | | | | Th C | | | | 2.15 m |
| | | | | Ra C | | | | 60.6 m |
| | | | | Ra E | | | | 19.7 m |
| | | | | Th C | | | | 8 m |
| | | | | Ra C | | | | 5.1 d |
| | | | | Ra E | | | | 2.15 m |
| | | | | Th C | | | | 60.6 m |
| | | | | Ra C | | | | 19.7 m |
| | | | | Ra E | | | | 8 m |
| | | | | Th C | | | | 103 |
| | | | | Ra F | | | | 138.4 d |
| | | | | Ac C' | | | | 0.52 s |
| | | | | Th C' | | | | 0.30 ms |
| | | | | Ra C' | | | | 164 ms |
| | | | | Ac A | | | | 0.0018 s |
| | | | | Th A | | | | 0.15 s |
| | | | | Ra A | | | | 3.05 m |
| | | | | At | | | | ~100 ms |
| | | | | 215* | 214.998663 | | | 1.3 s |
| | | | | 218* | 218.008607 | | | 0.9 m |
| | | | | 219* | 219.011290 | | | |
| 84 | Polonij | Po | 209* | 208.982426 | 1/2 - | | | |
| | | | 210* | 209.982876 | 0 + | | | 4.0 s |
| | | | 211* | 210.986657 | | | | 56 s |
| | | | 212* | 211.989629 | 0 + | | | 3.823 d |
| | | | 214* | 213.995201 | 0 + | | | |
| | | | 215* | 214.999423 | | | | |
| | | | 216* | 216.001790 | 0 + | | | |
| | | | 218* | 218.008930 | 0 + | | | |
| 85 | Astat | At | 215* | 214.998663 | | | | |
| | | | 218* | 218.008607 | | | | |
| | | | 219* | 219.011290 | | | | |
| 86 | Radon | Rn | 219* | 219.009481 | | | | |
| | | | 220* | 220.011401 | 0 + | | | |
| | | | 222* | 222.017531 | 0 + | | | |
| 87 | Francij | Fr | 223* | 223.019736 | | | | 22 m |
| | | Ac K | | | | | | |
| 88 | Radij | Ra | 226.05 | | | | | |
| | | Ac X | 223* | 223.018501 | 1/2 + | | | 11.4 d |
| | | Th X | 224* | 224.020218 | 0 + | | | 3.64 d |
| | | Ra | 226* | 226.025360 | 0 + | | | 1620 |
| | | Ms Th1 | 228* | 228.031139 | 0 + | | | 5.7 |
| | | Ac | 227* | 227.027753 | 3/2 + | | | 21.2 |
| | | Ms Th2 | 228* | 228.031080 | | | | 6.13 h |
| 89 | Aktinij | Th | 232.038 | | | | | |
| | | Rd Ac | 227* | 227.027706 | | | | 18.17 d |
| | | Rd Th | 228* | 228.028750 | 0 + | | | 1.91 |
| | | Io | 229* | 229.031652 | 5/2 + | | | 7300 |
| | | UY | 230* | 230.033087 | 0 + | | | |
| | | Th | 231* | 231.036291 | | | | 25.6 h |
| | | UX1 | 232* | 232.038124 | 0 + | | | 1.39×10^{10} |
| | | 234* | 234.043583 | 0 + | | | | 24.1 d |
| 90 | Torij | Rd | 231.035877 | 3/2 - | | | | 32480 |
| | | UZ | 234* | 234.043298 | | | | 6.66 h |
| 91 | Protaktinij | Pa | 231.0359 | | | | | |
| | | | 231* | 231.035877 | 3/2 - | | | |
| | | | 234* | 234.043298 | | | | |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (mesecev, dni, ur, sekund, mikrosekund) |
|-----|----------|--------|-----------------------|---|------------|-----------------|------------|--|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsk masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | t1/2 |
| 92 | Uran | U | 238.03 | 232* | 232.037168 | 0 + | | 72 |
| | | | | 233* | 233.039522 | 5/2 + | | 1.62×10^5 |
| | | | | 234* | 234.040904 | 0 + | 0.0057 | 2.48×10^5 |
| | | | | 235* | 235.043915 | 7/2 ~ | 0.72 | 7.13×10^8 |
| | | | | 236* | 236.045637 | 0 + | | 2.39×10^7 |
| | | | | 238* | 238.048608 | 0 + | 99.27 | 4.51×10^9 |
| | | | | 235* | 235.044049 | | | 410 d |
| | | | | 236* | 236.046624 | | | 5000 |
| | | | | 237* | 237.048056 | 5/2 + | | 2.14×10^6 |
| | | | | 236* | 236.046071 | 0 + | | 2.85 |
| 93 | Neptunij | Np | 237.0480 | 238* | 238.049511 | 0 + | | 89 |
| | | | | 239* | 239.052146 | 1/2 + | | 24360 |
| | | | | 240* | 240.053882 | 0 + | | 6700 |
| | | | | 241* | 241.056737 | 5/2 + | | 13 |
| | | | | 242* | 242.058725 | 0 + | | 3.79×10^5 |
| | | | | 244* | 244.064100 | 0 + | | 7.6×10^7 |
| | | | | 239* | 239.053040 | 5/2 - | | 12.1 h |
| | | | | 240* | 240.055330 | 3 - | | 51 h |
| | | | | 241* | 241.056845 | 5/2 - | | 433 |
| | | | | 242* | 242.059575 | 1 - | | 16.02 h |
| 95 | Americij | Am | | 243* | 243.061395 | 5/2 - | | 7370 |
| | | | | 244* | 244.064303 | 6 - | | 10.1 h |
| | | | | 245* | 245.066476 | 5/2 + | | 2.04 h |
| | | | | 240* | 240.055525 | 0 + | | 26.8 d |
| | | | | 241* | 241.057674 | 1/2 + | | 36 d |
| | | | | 242* | 242.058859 | 0 + | | 163.0 d |
| | | | | 243* | 243.061402 | 5/2 + | | 28 |
| | | | | 244* | 244.062769 | 0 + | | 17.9 |
| | | | | 245* | 245.065508 | 7/2 + | | 8700 |
| | | | | 246* | 246.067248 | 0 + | | 4650 |
| 96 | Curij | Cm | | 247* | 247.070377 | 9/2 - | | 1.54×10^7 |
| | | | | 248* | 258.072375 | 0 + | | 3.4×10^5 |
| | | | | 249* | 249.075981 | 1/2 + | | 64 m |
| | | | | 250* | 250.078444 | 0 + | | 1.1×10^4 |
| | | | | 243* | 243.063019 | 3/2 - | | 4.6 h |
| | | | | 244* | 244.065207 | | | |
| | | | | 245* | 245.066388 | 4 - | | 4.4 h |
| | | | | 246* | 246.068964 | 2 - | | 1.8 d |
| | | | | 247* | 247.070317 | 3/2 - | | 1400 |
| | | | | 248* | 248.073011 | 8 - | | 9 |
| 97 | Berkelij | Bk | | 249* | 249.075006 | 7/2 + | | 311 d |
| | | | | 250* | 250.078336 | 2 - | | 3.22×10^4 |
| | | | | 251* | 251.080816 | 7/2 + | | 57 m |

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) Masno število (* pomeni radioakt. izotop) | (6) | (7) | (8) | (9) Razpolovni čas let (mesecev, dni, ur, sekund, mikrosekund) |
|-----|------------|--------|-----------------------|---|------------|-----------------|------------|--|
| Z | Element | Simbol | Relativna atomsk masa | A | Masa | Spin in parnost | Pogostnost | t1/2 |
| 98 | Kalifornij | Cf | | 245* | 245.068066 | 1/2 + | | 44 m |
| | | | | 246* | 246.068837 | 0 + | | 36 h |
| | | | | 247* | 247.071090 | 7/2 + | | 2.5 h |
| | | | | 248* | 248.072211 | 0 + | | 350 d |
| | | | | 249* | 249.074871 | 9/2 - | | 352 |
| | | | | 250* | 250.076431 | 0 + | | 13.1 |
| | | | | 251* | 251.079606 | 1/2 + | | 900 |
| | | | | 252* | 252.081653 | 0 + | | 2.65 |
| | | | | 253* | 253.085172 | 7/2 + | | 17.8 d |
| | | | | 254* | 254.087419 | 0 + | | 60 d |
| 99 | Einsteinij | Es | | 249* | 249.076378 | 7/2 + | | 1.7 h |
| | | | | 250* | 250.078583 | | | 8.3 h |
| | | | | 251* | 251.079997 | 3/2 - | | 33 h |
| | | | | 252* | 252.082856 | 7 + | | 140 d |
| | | | | 253* | 253.084851 | 7/2 + | | 20.5 d |
| | | | | 254* | 254.088053 | 7 + | | 276 d |
| | | | | 100 | Fermij | Fm | | |
| | | | | 249* | 249.078938 | 7/2 + | | 2.6 m |
| | | | | 250* | 250.079543 | 0 + | | 30 m |
| | | | | 251* | 251.081600 | 9/2 - | | 7 h |
| 101 | Mendelevij | Md | | 252* | 252.082493 | 0 + | | 23 h |
| | | | | 253* | 253.085210 | 1/2 + | | 3.0 d |
| | | | | 254* | 254.086886 | 0 + | | 3.24 h |
| | | | | 255* | 255.089986 | 7/2 + | | 20.1 h |
| | | | | 256* | 256.091807 | 0 + | | 2.63 h |
| | | | | 257* | 257.095146 | 9/2 + | | 82 d |
| | | | | 255* | 255.091133 | 7/2 - | | 27 m |
| | | | | 256* | 256.093946 | 0 - | | 77 m |
| | | | | 257* | 257.095610 | | | 5 h |
| | | | | 258* | | | | 55 d |
| 102 | Nobelij | No | | 253* | 253.090553 | 9/2 - | | 1.6 m |
| | | | | 254* | 254.090987 | | | 56 s |
| | | | | 255* | 255.093259 | 1/2 + | | 3.2 m |
| | | | | 256* | 256.094279 | 0 + | | 3.5 s |
| | | | | 257* | 257.096886 | | | 26 s |
| 103 | Lawrencij | Lr | | 256* | 256.098573 | | | 35 s |
| | | | | 257* | 257.099518 | | | |

Dodatek H

PREGLEDNICA NEKATERIH OSNOVNIH DELCEV

Kvanti polj (spin 1)

| Delec | Masa [MeV/c ₀ ²] | Razpadni čas [s] |
|---------|---|------------------|
| Foton | | obstojen |
| Bozon W | 80 600 | 10^{-25} |
| Bozon Z | 91 161 | 10^{-25} |

Mezoni

| Delec | Masa [MeV/c ₀ ²] | Razpadni čas [s] | Spin | Izospin | Čud. | Čar |
|------------------|---|--|------|---------|------|-----|
| Pion π^\pm | 139,567 5 | $2,603 \cdot 10^{-6}$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| π^0 | 134,973 39 | $8,4 \cdot 10^{-17}$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Kaon K^\pm | 493,646 | $1,237 \cdot 10^{-8}$ | 0 | 1/2 | 1 | 0 |
| K^0, \bar{K}^0 | 497,671 | | 0 | 1/2 | 1 | 0 |
| K_S^0 | | $0,8922 \cdot 10^{-10}$ | | | | |
| K_L^0 | | $5,17 \cdot 10^{-8}$ | | | | |
| η | 548,8 | $6,1 \cdot 10^{-19}$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $\rho(770)$ | 768 | $4,3 \cdot 10^{-24}$ | 1 | 1 | 0 | 0 |
| $\omega(783)$ | 782,0 | $7,7 \cdot 10^{-23}$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $\eta'(958)$ | 957,5 | $3,1 \cdot 10^{-21}$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $f_0(975)$ | 975,6 | $1,9 \cdot 10^{-23}$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $a_0(980)$ | 983 | $1,2 \cdot 10^{-23}$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $\phi(1020)$ | 1019,41 | $1,5 \cdot 10^{-22}$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| D^\pm | 1869,3 | $10,62 \cdot 10^{-13}$ | 0 | 1/2 | | 1 |
| D^0, \bar{D}^0 | 1864,5 | $4,21 \cdot 10^{-13}$ | 0 | 1/2 | | 1 |
| D_S^\pm | 1968,1 | $4,45 \cdot 10^{-13}$ | 0 | 0 | 1 | 1 |
| $\eta_c(1S)$ | 2979,6 | $6,4 \cdot 10^{-23}$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $J/\Psi(1S)$ | 3096,9 | $9,7 \cdot 10^{-21}$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $\chi_{c0}(1P)$ | 3415,1 | $4,9 \cdot 10^{-23}$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $\chi_{c1}(1P)$ | 3510,6 | $5,1 \cdot 10^{-22}$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $\chi_{c2}(1P)$ | 3556,3 | $2,5 \cdot 10^{-22}$ | 2 | 0 | 0 | 0 |
| $\Psi(2S)$ | 3686,0 | $2,7 \cdot 10^{-21}$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| B^\pm | 5277,6 | { ne ločeni } $1,18 \cdot 10^{-12}$ | 0 | 1/2 | | |
| B^0, \bar{B}^0 | 5279,4 | | 0 | 1/2 | | |
| $\Upsilon(1S)$ | 9460,3 | $1,3 \cdot 10^{-20}$ | 1 | | 0 | 0 |
| $\Upsilon(2S)$ | 10023,3 | $1,5 \cdot 10^{-20}$ | 1 | | 0 | 0 |
| $\Upsilon(3S)$ | 10355,3 | $2,5 \cdot 10^{-20}$ | 1 | | 0 | 0 |

Leptoni (spin 1/2)

| Delec | Masa [MeV/c ₀ ²] | Razpadni čas [s] |
|------------------------------|---|--------------------------|
| Elektronski nevtrino ν_e | $< 17 \times 10^{-6}$ | obstojen |
| Mionski nevtrino ν_μ | $< 0,27$ | obstojen |
| Tauonski nevtrino ν_τ | < 35 | |
| Elektron e | 0,510 999 06 (15) | obstojen |
| Mion μ | 105,658 39 (06) | $2,197 03 \cdot 10^{-6}$ |
| Tauon τ | 1784,1 | $3,04 \cdot 10^{-13}$ |

Barioni

| Delec | Masa [MeV/c ₀ ²] | Razpadni čas [s] | Spin | Izospin | Čud. | Čar |
|------------------|---|------------------------|------|---------|------|-----|
| Proton p | 938,272 31 (28) | Stabilen | 1/2 | 1/2 | | |
| Nevtron n | 939,565 63 (28) | 896 | 1/2 | 1/2 | | |
| Λ | 1115,63 | $2,632 \cdot 10^{-10}$ | 1/2 | 0 | -1 | |
| $\Lambda(1405)$ | 1405 | $2 \cdot 10^{-23}$ | 1/2 | 0 | -1 | |
| $\Lambda(1520)$ | 1519,5 | $4,2 \cdot 10^{-23}$ | 3/2 | 0 | -1 | |
| $\Lambda(1600)$ | 1580 | $4 \cdot 10^{-24}$ | 1/2 | 0 | -1 | |
| Σ^+ | 1189,37 | $0,799 \cdot 10^{-10}$ | 1/2 | 1 | -1 | |
| Σ^0 | 1192,55 | $7,4 \cdot 10^{-20}$ | 1/2 | 1 | -1 | |
| Σ^- | 1197,43 | $1,479 \cdot 10^{-10}$ | 1/2 | 1 | -1 | |
| $\Sigma(1385)^+$ | 1382,8 | $1,8 \cdot 10^{-23}$ | 3/2 | 1 | -1 | |
| $\Sigma(1385)^0$ | 1383,7 | $1,8 \cdot 10^{-23}$ | 3/2 | 1 | -1 | |
| $\Sigma(1385)^-$ | 1387,2 | $1,7 \cdot 10^{-23}$ | 3/2 | 1 | -1 | |
| $\Sigma(1660)$ | 1660 | $7 \cdot 10^{-24}$ | 1/2 | 1 | -1 | |
| $\Sigma(1670)$ | 1675 | 10^{-23} | 3/2 | 1 | -1 | |
| $\Delta(1232)$ | 1232 | $6 \cdot 10^{-24}$ | 3/2 | 3/2 | 0 | |
| $\Delta(1620)$ | 1625 | $5 \cdot 10^{-24}$ | 1/2 | 3/2 | 0 | |
| $\Delta(1700)$ | 1700 | $3 \cdot 10^{-24}$ | 3/2 | 3/2 | 0 | |
| Ξ^0 | 1314,9 | $2,9 \cdot 10^{-10}$ | 1/2 | 1/2 | -2 | |
| Ξ^- | 1321,32 | $1,639 \cdot 10^{-10}$ | 1/2 | 1/2 | -2 | |
| $\Xi(1530)^0$ | 1531,8 | $7,2 \cdot 10^{-23}$ | 3/2 | 1/2 | -2 | |
| $\Xi(1530)^-$ | 1535,0 | $6,6 \cdot 10^{-23}$ | 3/2 | 1/2 | -2 | |
| $N(1440)$ | 1440 | $3 \cdot 10^{-24}$ | 1/2 | 1/2 | 0 | |
| $N(1520)$ | 1520 | $5 \cdot 10^{-24}$ | 3/2 | 1/2 | 0 | |
| Ω^- | 1672,43 | $0,822 \cdot 10^{-10}$ | 3/2 | 0 | -3 | |
| $\Omega(2250)$ | 2252 | 10^{-23} | ? | 0 | -3 | |
| Λ_c^+ | 2285,2 | $1,91 \cdot 10^{-13}$ | 1/2 | 0 | 0 | 1 |
| Ξ_c^+ | 2466,8 | $3,0 \cdot 10^{-13}$ | 1/2 | 0 | 0 | 1 |

REŠITVE NALOG

I. Teorija relativnosti

1. $20 \mu s$; 6 km; 400; 23.
2. 66 cm; 19° .
3. $0,99995 c_0$.
4. $0,46 \mu s$.
5. $2083 s$; 1667 s.
6. $11\,000 s$; 3700 s.
7. 1,11 leta; 1,09 svetlobnega leta; 0,22 leta.
8. 73,3 minute; 33,3 minute; 66,7 svetlobne minute; 13,3 svetlobne minute.
9. $0,28 c_0$; 96 dni.
10. 14 svetlobnih dni; 224 ur.
11. 41 minut.
12. $1,33 \mu s$; $1,17 \mu s$.
13. $0,915 c_0$.
14. $0,45 \mu s$; $0,69 \mu s$.
15. $0,36 c_0$.
16. 0,005 svetlobnega leta.
17. $0,115 c_0$; $0,347 c_0$; $0,952 c_0$.
18. 295 MeV.
19. 2800 km/s.
20. $7,5 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$.
21. $7,2 \text{ kJ}$; $4 \cdot 10^{-5} \text{ N}$.
23. $0,72 c_0$; 126 m; 0,22 MeV.
24. 34 cm; 2,3 ns.
25. $0,55 c_0$; 6,6 cm.
26. 25 m.

27. 2 dm.
28. $3 \cdot 10^{19} \text{ m/s}^2$; kot med hitrostjo in pospeškom 100° .
29. 35 ns.
30. $1,5 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$.
31. 72 TeV.
32. 5,1 keV; 9,5 MeV.
34. 33 %.
35. $T_e = W_\gamma / (1 + W_{0e}/2W_\gamma)$.
36. Delni odgovor: 2,04 MeV.
37. 20,8 MeV; 0,26 MeV; 13° .
38. 0,19 MeV.
39. 1,20 MeV; 0,32 MeV.
40. 3,1 MeV.
41. $12,4^\circ$.
42. 313 MeV.
43. Devteroni.
44. 217 MeV.
45. 11.
46. 44 GeV.
47. 210 MeV.
48. 505 MeV.
49. 292 MeV; 152 MeV; 287 MeV; 148 MeV.
50. 1,55 GeV; 9400 GeV.
51. 70° . ~~70°~~
52. 6130 MeV; 0,74 MeV; 3070 MeV; $1,3^\circ$.

53. 1,54 MeV.

54. 12 MeV.

55. Mion: 11° ; nevtrino: 33° , 54 MeV.

56. a) 92 MeV; 42 MeV; 44° , b) 53 MeV; 81 MeV; 15° .

57. 4,3 MeV; 814 MeV.

60. $E_\perp = 2880 \text{ V/m}$; $B_\perp = -4,8 \cdot 10^{-7} \text{ Vs/m}^2$.

61. $0,2 c_0$.

62. 190 MHz; 15° .

63. $0,995 \nu_{tez}$; $60,5^\circ$.

II. Kvantna fizika

1. $1,2 \cdot 10^5$.

2. $0,51 \text{ MV}$.

3. $m_e c_0^2 / 2$.

4. 75° ; 17 eV.

5. $0,6 c_0$.

6. 0,145 nm.

7. 35° ; 47° .

8. $2,12 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

9. $13,3 \text{ keV}/c_0$; 17,5 V.

10. Delni odgovor: $W_f = 4 \text{ keV}$.

11. 0,94 eV.

13. 8,5 eV; 0,005 eV.

14. 30° .

15. Sipalni kot: 51° .

16. 77° , 62° , 46° , 21° .

17. 5,5 mm; 0,55 nm.

18. $-0,85 \text{ V}$.

19. 0,131 nm.

21. $\Psi = A \exp(i k x)$, $k = 16 \text{ nm}^{-1}$, $A = 1,8 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3/2}$.

22. $\Psi = A \exp(i k x)$, $k = 50 \text{ nm}^{-1}$, $A = 1 \text{ m}^{-1/2}$.

23. 0,008.

24. 1,12.

26. 408; 8,75 eV.

27. 1,54 eV.

28. $0,47 \cdot 10^{-6}$; 0.

29. 0,002.

30. 0,95.

31. 10^{-7} A .

32. 0,63.

34. $3 \cdot 10^{-36} \text{ eV}$; $n = 10^{23}$, $3 \cdot 10^{-12} \text{ eV}$.

35. 4,2 eV.

36. 0,63; 0,0035 nm².

37. 0,38 eV.

38. 0; 3,87 eV.

39. 0,34.

40. Da, $-0,33 \text{ eV}$.

41. Delni odgovor: $8 \cdot 10^4$.

42. Delni odgovor: 19,3 eV; 4,24 eV.

43. Delni odgovor: 25 eV; 196 eV.

44. Delni odgovor: 70 nm; 0,11.

45. $(\Delta x)_n = \sqrt{(n + 1/2)\hbar/m\omega}$.

46. $\frac{1}{2} n \pi \hbar \sqrt{1/3 - 2/(n\pi)^2}$.

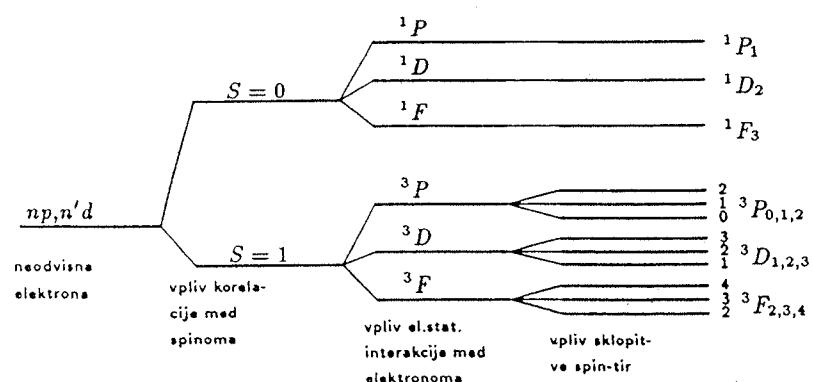
47. $\hbar/2$.

48. 50 eV; ne.

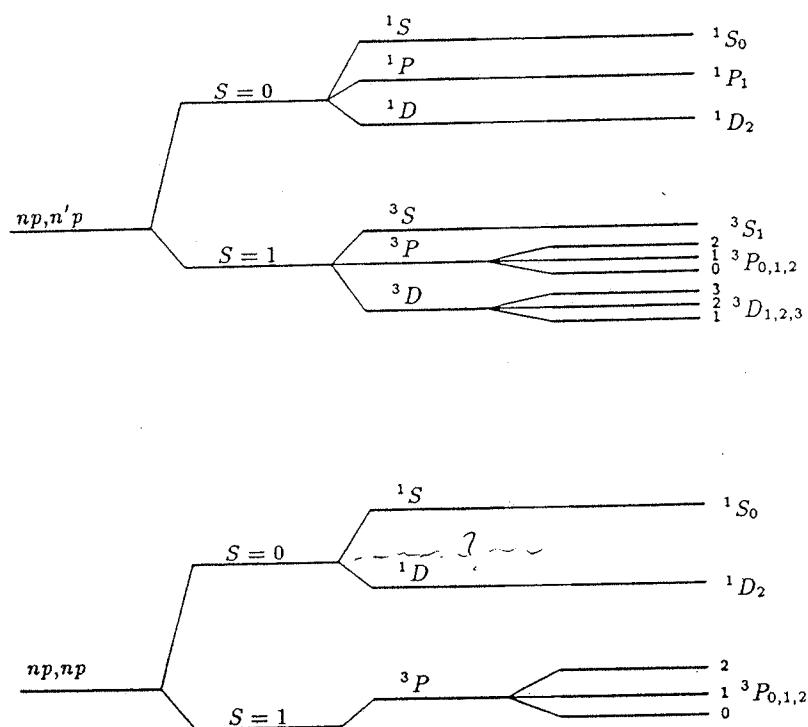
49. $|A|^2 = (a\sqrt{\pi})^{-1}$; $\langle x \rangle = x_0$; $\Phi(p) = \sqrt{a/\hbar\sqrt{\pi}} \exp[-(p - p_0)^2 a^2/2\hbar^2] \times \exp[-i(p - p_0)x_0/\hbar]$; $\delta p = \hbar/\sqrt{2}a$; $\delta p \cdot \delta x = \frac{1}{2}\hbar$.
 50. Delni odgovor: $25\hbar\omega/14$.
 51. $\langle x(t) \rangle = 0$.
 52. $3r_B/2$; $\sqrt{3}r_B$.
 53. $-27,2$ eV.
 54. $\sqrt{3}\hbar/2$.
 55. 0,42.
 56. 0,5; r_B .
 57. $-6,8$ eV.
 58. a) 0,08, b) 0,06, c) 0,95.
 59. Delni odgovor: razmerje energij je 0,47, povprečna radija 4,65 r_B in $2,85 r_B$.
 60. $15 \mu\text{eV}$, $-30 \mu\text{eV}$.
 61. 3,18 eV; 0,36.

III. Atomi z več elektroni in molekule

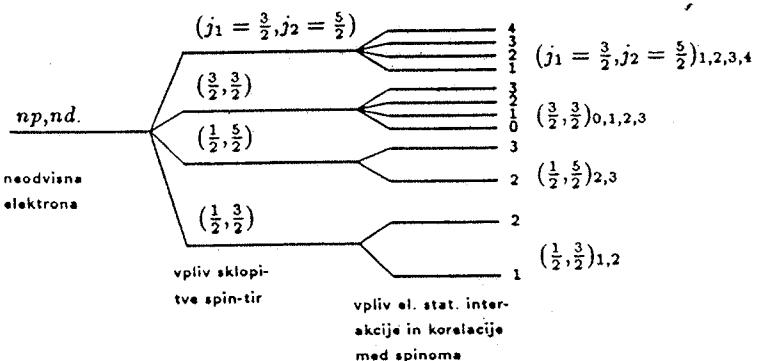
1.



2.



3.



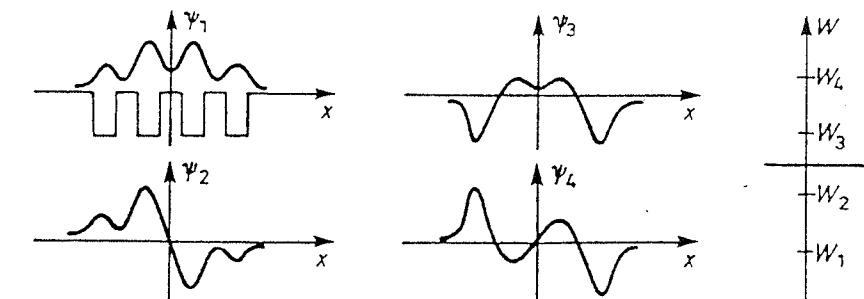
5. 4, 3, 2, 1.
 6. $3\hbar^2/2; 0.$
 7. $-3,54 \text{ eV}.$
 11. Prehod $3p_{1/2} \rightarrow 3s_{1/2}$: 6 črt, razporeditev okrog nerazcepljene črte:
 $5\Delta, 3\Delta, \Delta, -\Delta, -3\Delta, -5\Delta, \Delta = \mu_B B/3\hbar = 2,35 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$.
 Prehod $3p_{1/2} \rightarrow 3s_{1/2}$: 4 črte, razporeditev okrog nerazcepljene črte:
 $4\Delta, 2\Delta, -2\Delta, -4\Delta$.
 12. 12 črt, razporeditev okrog nerazcepljene črte: $\pm 99\Delta, \pm 65\Delta, \pm 51\Delta,$
 $\pm 31\Delta, \pm 17\Delta, \pm 3\Delta; \Delta = e_0 B/70m_e$.
 13. $\pm 3\Delta, \pm 2\Delta, \pm \Delta, 0; \Delta = e_0 B/4m_e$.
 14. $\pm 7\Delta, \pm 5\Delta, \pm 3\Delta, \pm 2\Delta, 0; \Delta = e_0 B/12m_e$.
 15. $\pm 4\Delta, \pm 3\Delta, \pm 2\Delta, \pm \Delta, 0; \Delta = e_0 B/4m_e$.
 16. 1P_1 .
 17. 4; 0,8 mm.
 18. 2; 4,5 mm.
 19. Delni odgovor: 6,7 mm.
 20. 12 črt, razporeditev okrog nerazcepljene črte:
 $\pm 21\Delta, \pm 19\Delta, \pm 17\Delta, \pm 15\Delta, \pm 3\Delta, \pm \Delta;$
 $\Delta = e_0 B/30m_e = 1,2 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$, razlika med skrajnima črtama $\Delta\lambda = 2,6 \text{ pm}$.
 21. Prehod ${}^2P_{3/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$: 6 črt, razporeditev
 $\omega_0 \pm \Delta, \pm 3\Delta, \pm 5\Delta; \Delta = e_0 B/6m_e = 2,3 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$,
 razlika med skrajnima črtama $\Delta\lambda = 0,007 \text{ nm}$. Prehod ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$:
 4 črte, razporeditev $\omega_0 \pm 2\Delta, \pm 4\Delta$; razlika med skrajnima črtama $\Delta\lambda = 0,006 \text{ nm}$.
 22. 6 črt, razporeditev $\lambda_0 \pm \Delta\lambda/2, \pm 3\Delta\lambda/2, \pm 5\Delta\lambda/2; \Delta\lambda = 1,34 \text{ pm}$.
 24. 8,5 kV; 6,4 kV.
 26. 36; 35.
 27. 0,16 eV.
 28. $-4,0 \text{ eV}; -6,8 \text{ eV}$.
 30. Delni odgovor: vztrajnostni momenti so $4,6 \cdot 10^{-48} \text{ kgm}^2, 6,1 \cdot 10^{-48} \text{ kgm}^2, 9,1 \cdot 10^{-48} \text{ kgm}^2$.
 31. 0,13 nm.
 8. 594 nm; $8,5 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$.
 9. $\nu_D = 2,17 \text{ GHz}$.
 10. $\nu = 1,7 \text{ GHz}; 150 \text{ kPa}$.

IV. Osnove kvantne statistike

1. $1,8 \cdot 10^{-8}$.
 2. $1 - 1,2 \cdot 10^{-8}; 1,1 \cdot 10^{-8}; 3 \cdot 10^{-10}$.
 3. 150 K.
 4. 2,7.
 5. $I = 1$.
 6. $2,6 \cdot 10^{23}$.
 7. 1500 K.
 8. $1 + 6 \cdot 10^{-5}$.
 9. 3 K.
 10. $\pi^4/90 = 1,08$.
 11. $1,3 \cdot 10^{-8}$.
 12. 11,5.
 13. $4 \cdot 10^{-5}$.
 14. 33 K; 54 K.
 15. $5,5 \cdot 10^8; 3 \cdot 10^8$.
 18. 91 K; $2 \cdot 10^4$ K.
 19. 6,6 THz; 0,56 nm.
 20. 7,2 THz.

V. Elektroni v kristalih

1. 7,64 eV.
 2. $-6,13 \text{ eV}; -14,5 \text{ eV}$.
 4. 8; Madelungova konstanta =
 $= 6,000 - 8,485 + 4,620 - 3,000 +$
 $+ \dots$
 9.



11. $W - W_F = \pm kT \ln 3; 0,4; 0,02; \sim 10^{-17}$.
 12. Fermijeve energije so: 3,1 eV; 7,0 eV; 11,6 eV.
 13. 10 eV.
 14. 0,1 eV.
 15. 2,5 eV; 3,5 eV.
 16. 0,8 eV; $\sim 10^{-15} \text{ s}$.
 17. 0,33 %.
 18. 0,35; 0,18.
 19. 1200 km/s; 38 GPa;
 $1,6 \cdot 10^{-11} (\text{Pa})^{-1}$.
 20. -23 meV .

21. 0,02 in 0,76 celotne specifične topote.
23. 0,4 nm; 0,3 nm.
24. $3,2 \text{ mm/s}; 2 \cdot 10^{-9}$.
25. $6 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}; 8 \cdot 10^{15} \text{ m}^{-3}$.
27. $2,0 (\Omega\text{m})^{-1}$.
28. $9,6 \cdot 10^5 (\Omega\text{m})^{-1}; 1,7 \%$.
29. 0,02 K.
30. Delni odgovor: $61 (\Omega\text{m})^{-1}$.
31. $1120 (\Omega\text{m})^{-1}$.
32. $800 (\Omega\text{m})^{-1}$.
33. 4,4 mg.
34. 0,33 eV nad zgornjim robom valenčnega pasu.
35. 0,12 eV pod spodnjim robom prevodnega pasu.

VI. Jedra in delci

1. a) $\frac{4}{3}|W_R|(\tau_j/\tau_B)^2$,
b) $\frac{4}{5}|W_R|(\tau_j/\tau_B)^2$.
3. 18 MeV.
4. 14.
6. 183 MeV.
7. 6,15 MeV.
8. 9,7 MeV; 12,1 MeV; $\sim 10^{-4}$.
9. 5,3 MeV.
10. $B_A = 186,4/A + 1,40/A^{1/3}$,
 $Z_A = G_A/B_A$,
 $G_A = 93,98 +$
 $+ 0,70/A^{1/3}$,
 $C_A = 947,27A + 17,3A^{2/3} -$
 $- G_A^2/2B_A$, $D_A = 33,5/A^{3/4}$;

36. 0,004 eV nad donorskimi nivoji.
37. 0,08 eV pod spodnjim robom prevodnega pasu; $1,7 \cdot 10^4; 6 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$.
38. $3000 (\Omega\text{m})^{-1}$.
39. 670 K.
40. 0,01 eV; 4,2 nm; 17.
42. 0,31 μm .
43. 0,31 eV; 0,45 μm .
44. $2,5 \cdot 10^8$.
46. 0,75 W; 6,0 W; 23 W.
47. 6,7 mV; 51 J; oddajal.
48. 0,9 μV .
49. 0,43 μV ; 0,43 mm/s; 2,5.
50. $0,33 \text{ m}^2/\text{Vs}; 1,9 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$.

pri številkah smo spustili enoto MeV.

24. 17,6 MeV.
25. 52,3 MeV; -105,2 MeV.
26. 4,12 MeV; 29,8 MeV/ c_0 ; -33,9 MeV.
27. 141 MeV; 293 MeV; 141 MeV; 151 MeV.
28. 2,23 MeV; 3,34 MeV; 0,06 %.
29. $6 \cdot 10^{11} \text{ kg}$.
30. 6000 t.
31. 0,34 mg.
32. 0,056 g.
33. 0,016.
34. 4,3 dneva; 0,0016.
36. 4,1-krat.
37. $2,5 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2$; 2800-krat.
38. 20 μm .
39. 10^{-27} m^2 ; 11,6.
40. $7 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$.
41. $6 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$.
42. 87 kBq; 13,4 kBq.
43. $6,5 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$.
44. $2,65 \cdot 10^{22}/\text{m}^2\text{s}$.
45. 75 minut.

ZBIRKA IZBRANIH POGLAVIJ IZ FIZIKE

9. Gros M. in dr., Naloge iz fizike, 1972, 1973, 1980, 1981, 1984, 1985, 1986, 1987, 1991
12. Ahlin F. in dr., Izpitna vprašanja iz fizike, 7. natis, 1977, 1984, 1987
15. Kuščer I., Pregled klasične fizike, 1979
17. Stepišnik J. in dr., Fizikalni praktikum I, 1947, 1966, 1980, 1986, 1990
18. Zupančič I., Fizikalni praktikum II, 1981, 1985, 1986, 1991
20. Čopič M. in dr., Naloge iz fizike II (2. razširjen natis) 1984, 1991
24. Golli B., Kvarkovski modeli hadronov, 1991
25. Strnad J., Na pot k Schwarzschildu, 1991

ZBIRKA IZBRANIH POGLAVIJ IZ FIZIKE

Izdaja Oddelek za fiziko FNT

Odgovorni urednik Janez Strnad

20.a

Martin Čopič, Bojan Golli, Tomaž Kranjc

NALOGE IZ FIZIKE II

2. razširjena izdaja

Strokovno pregledal Janez Strnad

Jezikovno pregledala Marjeta Humar

Računalniško stavil Martin Zemljic

Urednik Cyril Velkovrh

© 1984, 1991 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije — 1077

Natisnilo Razmnoževanje in kopiranje Irena Ovca-Mrkun v nakladi 200 izvodov

PACS 01.30.Pp

Math. Subj. Class. (1991) 70-01

Ključne besede: *Moderna fizika, vaje*

Key words: *Modern Physics, exercises*

ČOPIČ, Martin

Naloge iz fizike II / Zbrali in uredili Martin Čopič, Bojan Golli in Tomaž Kranjc. – 2. razširjena izdaja.
– Ljubljana : Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije, 1991.
– 72 str. ; 23 cm. – (Zbirka izbranih poglavij iz fizike ; 20.a)

