

Tudengite küsimused FMP põhivara kohta ja Kalev Tarkpea (K) vastused neile.

Kust me teame, kui kõrge on kriitiline temperatuur? (lk 17)

K: Jahutame aine proovi ja mõõdame tema takistust ja temperatuuri. Kui kriitiline temperatuur on saavutatud, siis väheneb takistus järsult nullini. See tähendab, et elektrivool on ikka olemas, aga pinget enam pole. Laengukandjad liiguvad ilma "hõõrdumiseta", liikumise säilitamiseks pole enam vaja teha tööd.

Miks eritakistuse valemis laeng tuleb ruutu tõsta? (lk 17)

K: Mingi kindla elektrivälja tugevuse E ja pinge U korral mõjub suuremat laengut q omavale osakesele suurem elektrijõud F . Seega peame pinge U avaldamisel elektrijõu F ja läbitava pikkuse l korrutise (töö definitsioon!) jagama laenguga q . Saame valemi $U = F l / q$ ehk ühe jagamise laenguga. Samas on liikumapanev elektrijõud alalisvoolu (laetud osakeste keskmise ühtlase liikumise) korral võrdne liikumist takistava jõuga, see aga omakorda on võrdeline suunatud liikumise keskmise kiirusega (valem $F = b v$). Kiirus ise aga on pöördvõrdeline osakese laenguga. Kui sama voolutugevuse korral liiguvad suurema laenguga osakesed, siis võib ühe osakese kiirus olla vastavalt väiksem ($v = \text{const } l/q$). Niisiis saame jõu avaldamisel kiiruse kaudu pinge U ja voolutugevuse I võrdelisuse seosesse (Ohmi seadusesse) teise jagamise ühe osakese laenguga q . Nii tekibki takistuse ja ka eritakistuse valemi nimetajasse osakese laengu ruut.

Miks takistus tööolukorras leitakse valemist $R = U^2/N$ ainult kütteseadme või lambi puhul? (elektriseadme võimsus, lk 17)

K: Sest kütteseadme või lambi puhul muutub **kogu** elektrivälja energia või elektrivälja poolt tehtav töö (mida kirjeldab pinge U) lõpuks soojuseks (valem $N = U^2/R$ kehtib). Lambi korral saame soojuse arvel lõpuks ka natuke valgust (soojuskiirguse energiat). Elektrimootori korral muutub ainult **osa** elektrivälja energiast soojuseks. Suurem osa läheb mehaaniliseks tööks. Elektriline võimsus on soojusliku ja mehaanilise võimsuse summa. Valem $N = U^2/R$ kirjeldab elektrimootori korral ainult soojusena vabanevat osa elektrilisest võimsusest. Mitte kogu elektrilist võimsust.

Miks ühe keha mahtuvusest rääkimiseks on vaja, et teine keha on väga kaugel? (lk 18)

K: Et ühe kehaga toimuvad protsessid ei sõltuks teise keha omadustest. Kahe keha omavaheline mahtuvus on üks looduse mudel (füüsikaline suurus). Ühe keha mahtuvus on aga selle erijuht ehk eelmisest kitsama kasutusala mudel.

Mis põhjustab voolu muutumist juhis endas? (lk 18)

K: Meie ise põhjustame. Me lülitame voolu sisse või välja - nii nagu see toimub kolmanda kontrolltöö eelviimases ülesandes.

Mis kutsub esile endainduktsiooni? (lk 18)

K: See, et magnetväljal on energia. Kui me näiteks lülitame voolu juhtmes välja, siis peab mingi aja jooksul muutuma nulliks ka selle voolu magnetvälja energia. Aga vool ei saa hetkeliselt peatuda, sest magnetvälja energia (nagu ka mistahes muu energia) - ei saa hetkeliselt teisteks energialiikideks muunduda. Muundumine võtab aega. Magnetvälja energia arvel liiguvad laengukandjad juhtmes veel natuke edasi. Alles siis, kui magnetvälja energia on muutunud liikumist takistavate jõudude vastu töö tegemise käigus soojuseks - alles siis jääb vool seisma. Induktiivsus L ongi see füüsikaline suurus, mis näitab kui palju magnetvälja energiat antud juhtme korral võib salvestuda.

Kust henri definitsiooni tuleb veeber sisse? Veeber on ju $T \cdot m^2$. (lk 18)

K: Induktiivsus näitab, kui suure elektromotoorjõuga vooluallikaks muutub juhe, kui temas muuta voolutugevust ühikulise kiirusega (1 amper sekundis). Seega henri $1H = 1V / (1A/s)$. Samas $1V = 1J/1C$, $1C = 1A*s$ ja $1J = 1N*1m$. Saame, et $1H = 1V / (1A/s) = 1N*1m / (1A*s*1A/s)$. Korrutame lugejat ja nimetajat veel ühe meetriga läbi ning taandame sekundid maha. Saame $1H = 1N*1m^2 / (1A*m*A)$. Samas teame, et $1N/(A*m) = 1T$ (tesla). Olemegi saanud, et $1H = 1T*m^2 / (1A) = 1Wb/A$.

Miks footon ja graviton on niivõrd stabiilsed, et nende eluiga on praktiliselt lõpmatu? (lk 18)

K: Ei tea. **Meie** maailm lihtsalt on selline. Kui see nii ei oleks, siis ei ulatuks elektromagnetiline ja gravitatsiooniline vastastikmõju piisavalt kaugele selleks, et kogu meie maailm saaks eksisteerida. Ning meie ise ka, muidugi.. :-)

Ja kust meie teame, et nii on? (lk 18)

K: See järeldub kvantväljateooriast. Kvantväljateooria on atomistliku printsiibi rakendamine väljale. See töötab. Kõik kvantväljateooria järeldused on katsetega heas kooskõlas.

Miks välja ümbritsevat asja kujutatakse just sfäärilisena? (lk 18)

K: Tahtsite öelda "miks see mõtteline pind, mis välja punktallikat ümbritseb, on just sfääriline?" Vastan: sest just sfääri punktid on kõik ühesugusel kaugusel sfääri (kera) keskpunktist, kus asetseb välja punktallikas. Mistahes muu pinna korral see nii ei ole.

Miks välja nõrgenemise nähtus tuleneb sellest, et teatud osake ei jõua teatud punktini? Miks see teatud punkt nii oluline on? (välja jõudude mõjuulatus, lk 18)

K: Sest selles teises punktis asub teine keha, mis on esimese kehaga vastastikmõjus (interaction). See teine keha võib olla sfääri mistahes punktis. Kõik sfääri punktid on ju samaväärsed. Kui me räägime väljast esimese keha ümber, siis me mõtlemegi tervet hulka punkte, kus võiks asuda see teine keha, millele hakkab esimese keha poolt mõjuma jõud. Väli on jõu tekkimise võimalikkus.

Kui statsionaarsed olekud on ajas muutumatud, kuidas Bohri teise postulaadi järgi on võimalik siirduda ühest statsionaarsest olekust teise? (Bohri aatomimudel, lk 18)

K: Mõiste "statsionaarne" tähendabki "selline, mis ajas ei muutu". Kuni elektron viibib statsionaarses olekus, seni tema omadused ei muutu. Aga kui toimub siire (transition), siis hakkavad elektroni omadused muutuma. Elektron tuleb sellest olekust välja ja siirdub teise olekusse. Siire on protsess. Looduses ju toimuvad protsessid (ehk loodusnähtused), kui nad mingi looduseadusega keelatud pole (if they are not forbidden). Kvantsiire on kõige elementaarsem näide looduse protsessi kohta.

Miks mikroobjektide kirjeldamiseks on vaja kvantarve? (lk 18)

K: Sest kehtib atomistlik printsiip: igal asjal on olemas vähimad võimalikud portsjonid. Kui loodus ise ei ole mingil kindlal ühesugusel viisil lõputult osadeks jagatav, siis ei ole lõputult jagatavad ka füüsikalised suurused, mis loodust kirjeldavad. See tähendab, et mikroosakest kirjeldavad suurused sisaldavad mingi arvu vähimaid portsjoneid. Seda arvu nimetataksegi kvantarvuks. Näiteks impulsimomendi vähimaks võimalikuks portsjoniks on Plancki nurkkonstant $1,05*10^{-34} J*s$. Mistahes impulsimoment on täisarv (kvantarv) Plancki nurkkonstante. Makromaaailmas on see arv väga suur (ca 10^{30}). Seepärast me ei märka vaid ühe portsjoni võrra toimuvat muutust. Aga mikroobjekti korral on kvantarv piisavalt väike, mistõttu portsulisus on märgatav.

Kuidas laineomadustest tuleneb, et elektronorbiitidel on kindlad raadiused? (lk 19)

K: Orbiidi mõõde peab olema lainepikkusega määratud. Näiteks Bohri mudeli korral eeldatakse, et elektroni laine kulgeb piki ringjoonelist orbiiti ümber tuuma. Sel juhul peab orbiidi pikkusele mahtuma täisarv

(peakvantarv) lainepikkusi, et laine iseennast ära kustutama ei hakkaks. Vaid sellisel juhul on ühe ja sellesama laine kaks osa samas faasis. Kaks osa, mis erinevad tuuma ümber tehtud tiirude arvu võrra.

Mis määrab, kas spinnid on sama- või vastassuunalised? (lk 19)

K: Ühe konkreetse elektroni spinni suuna määrab reeglina elektronile mõjuv magnetväli. Minimaalse energia korral ühtib spinni suund magnetvälja suunaga. Magnetväli pöörab elektroni spinni oma suunale - samamoodi nagu Maa magnetväli pöörab kompassinõela. Elektroni spinni suund on selles tähenduses suund, milles see elektron ise magnetvälja tekitab. Kaks spinni suunda, millele vastavad spinnkvantarvud $+1/2$ ja $-1/2$, on lihtsalt kaks erinevat pöörlemise suunda ühe ja sama pöörlemistelje korral. Kui kaks elektroni täidavad ühte ja sedasama ruumiosa, siis nende spinnid (pöörlemise suunad) peavad olema vastandlikud. Kaks mistahes elektroni peavad alati millegi poolest erinevama. Kui spinn (pöörlemise suund) on ühesugune, siis peab erinevus seisnema milleski muus. Näiteks selles, et elektronid täidavad ruumi erinevaid osi. Miks see kõik nii on? Seepärast, et kehtib Pauli printsiip (tõrjutusprintsiip). Aga printsiip ise sellepärast printsiip ongi, et seda ei saa enam põhjendada. Pole võimalik vastata küsimusele "miks see on nii?" Lihtsalt on ja kõik.

Mis olekute kidumisel toimub? Mis tagajärgi sellel on, et erinevates olekutes elektronidel on sama energia? (lk 19)

K: Ei midagi muud erilist kui ainult see, et koguenergiat saab leida elektronide arvu ning ühe elektroni energia korrumise teel.

Kas kvantarvude järjekord on tõrjutusprintsiibi suhtes (või üldse) oluline? Saan aru, et nende lugemist alustatakse tuuma poolt. Kas see põhjustab järjekorra olulisust? (lk 19)

K: Jah ikka on oluline. Lugemist alustatakse tuuma poolt põhjusel, et kehtib energia miinimumi printsiip. Olekus kvantarvuga 1 ehk tuumale kõige lähemal viibival elektronil on kõige väiksem võimalik energia. Kõik elektronid "tahaksid" olla selles olekus, aga kõik ei saa - tõrjutusprintsiip ei luba. Kui elektrone aatomisse lisandub, siis peavad uued elektronid asetuma olekutesse, mis on tuumast kaugemal ja mille kvantarv on suurem.

Kust tuleneb ühte elektronikihti mahtuvate elektronide maksimaalne arv ($2n^2$)? (lk 19)

K: Põhjuseks on meie maailma üldine laenguline sümmeetria. Kui lisandub uus võimalus ehk laenguna käsitletava suuruse uus väärtus (mida seni ei kasutatud), siis peab tekkima ka vastupidine võimalus. Peab esinema antud variandi suhtes sümmeetriline variant. Kui mingi elektronikiht on saanud täis, siis järgmises kihis peab lisanduma uus elektronide asetumise võimalus koos oma vastandvõimalusega. Tuumale kõige lähemas elektronikihis (peakvantarvuga $n = 1$) on ainult üks variant paiknemiseks (suuna suhtes ükskõikne olek orbitaalkvantarvuga $l = 0$) ehk s-olek. Järgmises kihis ($n = 2$) on olemas seesama "ükskõikne" orbitaali tüüp ($l = 0$), aga ka kolm lisavarianti (p-olekut, mille jaoks $l = 1$), sest suuna suhtes ükskõiksele paiknemise põhimõttele ($m = 0$) lisandub "suunatud" variant ($m = +1$) ja sellele vastassuunaline variant ($m = -1$). Seega kokku tekib 4 ehk n ruudus varianti (üks s-olek ja kolm p-olekut). Kolmandat kihti ($n = 3$) "ehitatakse" esialgu samamoodi nagu teist (4 juba tuntud varianti), aga siis võetakse lisaks kasutusele uus paiknemisviis ehk d-olek, millel elektroni orbitaalne impulsimoment on suurem kui p-olekus (vastav vektor on pikem). Impulsimomendi vektori pikkus on ruutjuur arvust $2 \cdot 3$ ehk ruutjuur 6-st Plancki nurkkonstanti (see arv on ca 2,45). Vektori projektsioonid mingile suunale saavad aga omada väärtusi 2, 1, 0, -1 ja -2 Plancki nurkkonstanti (need arvud on magnetkvantarvu m viis võimalikku väärtust). Neljale vanale paiknemisviisile lisandub viis uut. Kokku tekib seega 9 varianti (jälle n ruudus!). Nii läheb see värk edasi. Neljandas kihis ($n=4$) on juba võimalik f-olek, millel elektroni orbitaalse impulsimomendi pikkus on ruutjuur arvust $3 \cdot 4$ ehk ruutjuur 12-st Plancki nurkkonstanti (see arv on ca 3,46). Vektor on veel pikem, kui d-oleku oma. Vektori projektsioonid mingile suunale saavad aga omada väärtusi 3, 2, 1, 0, -1, -2 ja -3 Plancki nurkkonstanti (magnetkvantarvu m seitse võimalikku väärtust). Üheksale vanale paiknemisviisile lisandub seitse uut. Kokku tekib seega 16 ehk 4 ruudus varianti.

Saime, et igas kihis on kasutusel n^2 orbitaali (elektroni paiknemise moodust). Neist igalühel saab olla kaks elektroni vastandlike spinnidega (Pauli printsiip). Kokku saamegi maksimaalselt ($2n^2$) elektroni.

Miks aatomi orbitaalse impulsimomendi määramisel kvantarv on L? Kuidas suure tähega kvantarvud erinevad väikse tähega kirjutatavatest? (lk 20)

K: Väikese tähega kvantarvud kehtivad ühe elektroni kohta, suure tähega kvantarvud aga aatomi kui terviku kohta. Nad kirjeldavad aatomi kõigi elektronide summaarset mõju.

Mis on röntgenkvant? (lk 20)

K: Põhimõtteliselt samasugune nagu nähtava valguse kvant, ainult 1000 kuni 10000 korda suurema sageduse ning energiaga. Kõik on ikka needsamad elektromagnetlained, mille skaalaga me palju tegelesime, õppides neljandaks kontrolltöoks. Kui nähtava valguse kvandi energiad on vahemikus ca 1,6 kuni 3,2 eV, siis röntgenkvandi energia on tüüpiliselt mitukümmend keV. Suurem sagedus aga tähendab väiksemat lainepikkust vaakumis (lainepikkuse ja sageduse korrutis on üks ja seesama absoluutkiirus c). Nähtava valguse lainepikkust me mõõdame nanomeetrites, röntgenkvandi oma aga pikomeetrites. Suurest kvandi energiast tuleneb röntgenkiirguse suur ainet läbitungimise võime.

Kui tuum koosneb ainult nukleonidest, kuidas tekib vahe nukleonide massi ja tuuma massi vahel? (massidefekt, lk 20)

K: See masside vahe, korrutatuna absoluutkiiruse ruuduga (Einstein'i valemi $E = mc^2$ kohaselt), on tuuma seoseenergia. Seoseenergia on energia, mille me peame süsteemile juurde andma, kui me soovime lõhkuda seda süsteemi koostisosadeks. Samas süsteemi moodustumisel seoseenergia vabaneb. Mida väiksema süsteemiga on tegemist, seda suurema osa tema koguenergiast üldiselt moodustab seoseenergia. Tuumaosakeste seisuenergia on prootonil ca 938,1 MeV ja neutronil 939,5 MeV, tuuma seoseenergia on aga suurusjärgus 10 MeV (näiteks heeliumi tuumal ca 19 MeV). Prootoni enda kolme koostiskvargi summaarne seisueenergia on aga kõigest ca 9 MeV ning kõik ülejäänu (929 MeV) on seoseenergia. See on peamiselt muidugi gluuonite energia.

Miks alfakiirguse puhul on oluline, et ta koosneb just heeliumi tuumadest? Beeta- ja gammakiirguse puhul ainet pole ju nii täpselt määratletud. (radioaktiivsus, lk 20)

K: On ikka määratletud. Lugege tähelepanelikumalt. Beetakiirgus koosneb kiiretest elektronidest ja gammakiirgus gammakvantidest. Beetakiirguse elektronid tekivad tuumas sisalduvate neutronite beetalagunemisel prootoniks, elektroniks ja elektron-antineutriinoks. Kiireteks me nimetame neid elektrone sellepärast, et nende kineetiline energia võib olla seisuenergiale lähedane ja isegi seisuenergiast suurem. Aeglastel elektronidel on kineetiline energia seisuenergiast (0,511 MeV) palju väiksem. Gammakvandid on aga üldse mitte aine vaid väli. Nad on elektromagnetlainete kvandid, kuid veel palju suurema energiaga kui röntgenkvandid. Gammakvandi energia on tüüpiliselt 1-10 MeV, röntgenkvandil aga kõigest 0,01 kuni 0,05 MeV (10 kuni 50 keV). Nimetused alfa-, beeta- ja gammakiirgus on täiesti tinglikud. Nad võeti kasutusele siis, kui kiirguse olemus (koostis) polnud veel selge. Muuseas, samal põhjusel nimetati röntgenkiirgust ka x-kiirteks. Inglise keeles on see nimetus säilinud tänapäevani (x-rays).

Miks geomeetrilise optika puhul võib lainepikkuse lugeda nulliks? (lk 21)

K: Sellega me rõhutame fakti, et me ei pea geomeetrilises optikas lainenähtusi enam tähtsateks. Laineoptika nähtused (interferents, difraktsioon ja polarisatsioon) ilmnevad juhtudel, mil valgus on vastastikmõjus väga väikeste, valguse lainepikkusega samas suurusjärgus mõõtmeid omavate kehade (näiteks CD-plaadi radade muster). Geomeetriline optika uurib aga palju suuremaid süsteeme (läätseid, peegleid jms). Need kehad on valguse lainepikkusest kümneid tuhandeid kordi suuremad. Valguse lainepikkus on nende kehade mõõtmetega võrreldes nii väike, et lainenähtusi enamasti ei esine. Seepärast ongi geomeetriline optika selline laineoptika piirjuht, mille korral valguse lainepikkust võib lugeda nulliks.

Miks sisefotoefekti puhul tekib elektron-auk-paar? (lk 22)

K: Aines neelduva kvandi energia arvel katkestatakse üks keemiline side. See tähendab, et üks keemilise sideme elektron muudetakse juhtivuselektroniks. Sellega tekib keemilises sidemes elektroni puudumise seisund, mida nimetatakse auguks. Nii augud kui elektronid on pooljuhis vabadeks laengukandjateks. Vastavalt me registreerime sisefotoefekti esinemist enamasti aine elektrijuhtivuse suurenemise kaudu.

Kuidas määrata, kas kiirgus on tasakaaluline või mitte? (luminestsents, lk 23)

K: Sõna "tasakaaluline" tähendab aine ja kiirguse keskmise temperatuuri ligikaudset võrdsust. Kiirguse temperatuuriks me nimetame kiirgusspektri maksimumi lainepikkuse põhjal (vt Wieneri seadus) määratud temperatuuri. Luminestsents on mittetasakaaluline. See tähendab, et tema kvandi energia on palju suurem kiirgava aine osakeste soojusliikumise keskmisest energiast ühe osakese kohta. Teiste sõnadega, luminestsentsi korral kiirguse temperatuur ületab tunduvalt kiirgava aine temperatuuri. Soojuskiirguse korral on need kaks temperatuuri aga ligikaudu võrdsed.

Miks amplituudi võrdumisest tõenäosuse tihedusega järgneb, et mikroosakesega kaasnevaid laineid võib nimetada leiulaineteks? (suurus, mis muutub osakese-laines, lk 24)

K: Jutt käib osakese avastamise tõenäosuse tihedusest. Korrektne on rääkida amplituudi **ruudu** võrdumisest tõenäosuse tihedusega. Kui me teeme interferentsi või difraktsiooni katseid valguslainetega, siis on ekraanil tekkivate maksimumide asukohas valguse intensiivsus suur. See tähendab, et neisse kohtadesse satub palju valguskvante. Kui me teeme samasuguse katse osakestega (näiteks elektronidega), siis langeb interferentsi maksimumide piirkonda palju uuritavaid osakesi. See tähendab, et tõenäosus nende sattumiseks sinna on suur. Niisiis, valguskvandi leiulainena võib vaadelda sedasama elektromagnetlainet, millest koosneb valgus. Aine osakeste korral on aga tegemist de Broglie lainetega, mille amplituudiks on ruutjuur tõenäosuse tihedusest ning intensiivsuseks (amplituudi ruuduks) on see tõenäosuse tihedus ise.

Kuidas seina paksus mõjutab laine amplituudi? (tunneleffekt, lk 25)

K: Tahtsite tegelikult küsida: "kuidas seina paksus mõjutab laine amplituudi kahanemist seina läbimisel?" Ikka mõjutab. Mida paksem on sein, seda raskem on osakese leiulainel seina läbida. Aga oluline on ka seina kõrgus. Tunneliefekti esinemise tõenäosust määravaks suuruseks osutub seina paksuse ja kõrguse korrutis (veelgi täpsemalt: seina kõrguse integraal üle seinaga ristuva ruumikoordinaadi). Tunneliefekti esinemise tõenäosuse valemis seisab see integraal arvu $e^{-2,7183\dots}$ negatiivses astendajas.

Mis rakendusi tunnelmikroskoobil on? (lk 25)

K: Peamine rakendus on võimalus uurida ("vaadata") üksikuid aatomeid mingil pinnal.

Kas termodünaamika teine printsiip tuleneb esimesest? (lk 26)

K: Kindlasti mitte. Esimene printsiip on lihtsalt energia jäävuse seadus. Ta ütleb, et tööd ei saa teha rohkem kui on selle jaoks kasutada soojust või mingit muud energiat. Teine printsiip aga ütleb, et kasulikku tööd ei saa teha isegi mitte kasutatava soojushulgaga ühepalju. Soojusmasina töö käigus tuleb osa soojendilt võetavast energiast vältimatult anda jahutile. TD teine printsiip ütleb, et soojus ei saa minna külmemalt kehalt soojemale iseenesest (ilma, et tehtaks tööd). Kui esimene printsiip on vaid "arvepidaja", siis teine printsiip määrab protsesside suuna ning on seetõttu palju olulisem. Kumbki printsiip edastab omaette mõtet. Üks ei taandu teisele.

Millistel juhtudel keha mõõtmed ei muutu temperatuuriga võrdeliselt? (soojuspaisumine, lk 26)

K: Väga madalatel temperatuuridel, kui tekib vajadus arvestada kvantefekte.

Mis on molekuli efektiivdiameeter, kuidas ta erineb „tavalisest” diameetrist? (vaba tee pikkus, lk 28)

K: Molekuli efektiivdiameeter on sellise kera diameeter, mis mehaanilistes protsessides käitub samamoodi nagu antud molekul. Molekul tegelikult ei ole üldjuhul kerakujuline.

Mis on singulaarne olek? (entalpia, lk 28)

K: Olek, mille korral uuritava gaasikoguse kõik olekuparameetrid (rõhk, ruumala, temperatuur ja entroopia) - on nullid.

Kuidas bosonid tekivad/kaovad? (lk 28)

K: Mingites fermionidega toimuvates protsessides.

Mis tähendus on d- ja u-kvarkidel, miks neid eristatakse ja mille alusel? (nõrk vastastikmõju, lk 28)

K: On vähemasti kaks asja, mille alusel saab neid eristada. Üks on seisumass (d-kvargil ca kaks korda suurem kui u-kvargil). Teine on elektrilaeng (d-kvargil $-1/3$ ja u-kvargil $+2/3$ elementaarlaengut). Meie tavaline aine koosnebki ainult d- ja u-kvarkidest. Ülejäänud 4 kvarki (s-, c-, b- ja t-kvark) on palju suurema seisumassiga ja palju lühema elueaga.

Miks Plancki ajastu ja kiirgusdominantse ajastu kestus on nii lühike? (globaalne faasisiirete teooria, lk 30)

K: Makromaaailma nähtuste põhjal kujundatav aja mõiste pole rangelt võttes kohane nende ajastute kirjeldamiseks. Selles mõttes on tegemist pseudoprobleemiga. Me mõtleme ise mingil kindlal viisil välja aja ning siis märkame, et see väljamõeldis ei sobi kõikide maailma protsesside kirjeldamiseks. Aga mingi inimlik väljamõeldis ei peagi sobima nende protsesside kirjeldamiseks, mille mastaabid on inimlikult hoomatavatest kapitaalselt erinevad.

Mis on alfaosake? (neljas faasisiire, lk 30)

K: Seesama alfaosake (heeliumi aatomi tuum), millest räägitakse radioaktiivsuse juures.