

Moderni fysiikka

Loppukoe 5.4.2013

1. a) Mitä tarkoittavat käsitteet ajan dilaatio, pituuden kontraktio ja ominaisaika? Osoita Lorentzin muunnoskaavojen avulla (annettu tehtäväpaperin lopussa), että aika-paikka-avaruuden etäisyys s , $s^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2$, on invariantti Lorentzin muunnoksissa eli on sama kaikissa inertiaalikoordinaatistoissa.

b) Erään inertiaalikoordinaatiston origosta lähetetään avaruuteen sähkömagneettinen pulssi ja $2,0 \mu\text{s}$ myöhemmin toinen pulssi 300 m :n päässä siitä. Ohilentävästä avaruusaluksista mitataan pulssien lähetyspaikkojen välimatkaksi 200 m . Mikä on pulssien lähtöhetkien välinen aika avaruusaluksista mitattuna? Mikä on avaruusaluksen nopeus ko. inertiaalikoordinaatistoon nähden?

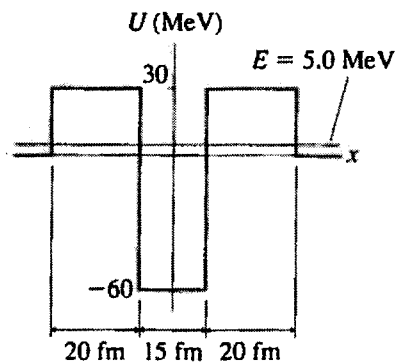
2. Alfa-aktiivista ydintä kuvataan yksinkertaisella mallilla, jossa alfa-hiukkasen potentiaalienergia $U(x)$ on oheisen kuvan mukainen. Kuopan leveys vastaa ytimen halkaisijaa. Alfa-hiukkanen on tilassa, jonka energia on 5.0 MeV .

a) Miten perustelet potentiaalimallin muodon huomioiden ytimessä vaikuttavat voimat?

b) Miten ytimen säde riippuu yleisen kaavan mukaan ytimen massaluvusta? Arvioi, mikä on kuvassa mallinnetun ytimen massaluku.

c) Hahmottele alfa-hiukkasen aaltofunktion muoto eri x -akselin alueilla.

d) Mikä on alfahiukkasen liike-energia kuopassa ja kuopan ulkopuolella?



3. Uraanin isotooppia ^{238}U esiintyy pieninä annoksina maaperässä. Yksi uraanin hajoamisketjuun kuuluvista isotoopeista on ^{222}Rn , joka emittoi 5.50 MeV :n alfahiukkasia puoliintumisajan ollessa 3.82 päivää. Radon on kaasu, ja sitä kerääntyy rakennusten perustuksiin. Jos radonin aktiivisuus ylittää 4 pCi litrassa ilmaa, perustusten tuuletus on tarpeen.

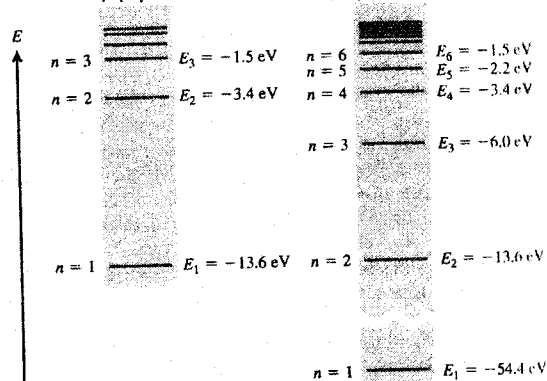
a) Kuinka monta radon-atomia on kuutiometrissä ilmaa, kun aktiivisuus on 4 pCi/litra ?

b) Alfa-hiukkasten kantama on noin 3 cm . Mallinnetaan ihmistä 180 cm korkealla, 25 cm säteisellä sylinterillä, jonka massa on 65 kg . Vain lähempänä kuin 3 cm sylinteristä olevat Rn-

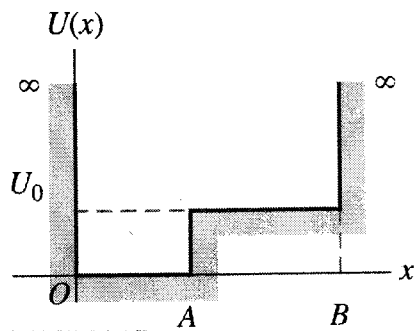
ytimet voivat aiheuttaa annosta sylinteri-ihmiseen ja vain noin 50% niistä lähtevistä alfa-hiukkasista suuntautuu sylinteriä kohti. Arvioi tämän mallin avulla, kuinka suuren ekvivalentin annoksen saa ihminen, joka viettää yhden vuoden tilassa, jossa aktiivisuus on 4 pCi /litra. Ekvivalentti annos saadaan kertomalla absorboitu annos tekijällä 15.

4. Oheisessa kuvassa on esitetty vedyn ja helium-ionin He^+ energiatasokaaviot.

- Minkä taajuinen valo virittää helium-ionin perustilalta ensimmäiselle viritystilalle?
- Mikä on helium-ionin ionisaatioenergia?
- Miksi helium-isotoopin energiat eroavat tekijällä 4 vetyatomien vastaavista energioista?
- Mikä seuraavista helium-ionin transitiosta synnyttää fotonin, jonka aallonpituus on jotakuinkin sama kuin vastaavassa heliumatomin He transitiossa syntyvän fotonin aallonpituus? (i) $n = 2 \rightarrow n = 1$, (ii) $n = 3 \rightarrow n = 2$, (iii) $n = 4 \rightarrow n = 4$, (iv) ei mikään näistä. Perustele.



- Mikä on Schrödingerin yhtälö ja mikä on sen ratkaisujen fysikaalinen tulkinta?
- Hahmottele Schrödingerin yhtälön ratkaisu tapauksissa $E > U_0$ ja $E < U_0$ hiukkaselle, jonka potentiaalienergia on oheisen kuvan mukainen.



Frequently used constants

Quantity	Symbol	Value	Unit	Relative std. uncert. u_r
speed of light in vacuum	c, c_0	299 792 458	m s^{-1}	(exact)
magnetic constant	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ $= 12.566 370 614... \times 10^{-7}$	N A^{-2} N A^{-2}	(exact)
electric constant $1/\mu_0 c^2$	ϵ_0	$8.854 187 817... \times 10^{-12}$	F m^{-1}	(exact)
Newtonian constant of gravitation	G	$6.6742(10) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	1.5×10^{-4}
Planck constant	h	$6.626 0693(11) \times 10^{-34}$	J s	1.7×10^{-7}
$h/2\pi$	\hbar	$1.054 571 68(18) \times 10^{-34}$	J s	1.7×10^{-7}
elementary charge	e	$1.602 176 53(14) \times 10^{-19}$	C	8.5×10^{-8}
magnetic flux quantum $h/2e$	Φ_0	$2.067 833 72(18) \times 10^{-16}$	Wb	8.5×10^{-8}
conductance quantum $2e^2/h$	G_0	$7.748 091 733(26) \times 10^{-5}$	S	3.3×10^{-9}
electron mass	m_e	$9.109 3826(16) \times 10^{-31}$	kg	1.7×10^{-7}
proton mass	m_p	$1.672 621 71(29) \times 10^{-27}$	kg	1.7×10^{-7}
proton-electron mass ratio	m_p/m_e	1836.152 672 61(85)		4.6×10^{-10}
fine-structure constant $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	α	$7.297 352 568(24) \times 10^{-3}$		3.3×10^{-9}
inverse fine-structure constant	α^{-1}	137.035 999 11(46)		3.3×10^{-9}
Rydberg constant $\alpha^2 m_e c/2\hbar$	R_∞	10 973 731.568 525(73)	m^{-1}	6.6×10^{-12}
Avogadro constant	N_A, L	$6.022 1415(10) \times 10^{23}$	mol^{-1}	1.7×10^{-7}
Faraday constant $N_A e$	F	96 485.3383(83)	C mol^{-1}	8.6×10^{-8}
molar gas constant	R	8.314 472(15)	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.7×10^{-6}
Boltzmann constant F/N_A	k	$1.380 6505(24) \times 10^{-23}$	J K^{-1}	1.8×10^{-6}
Stefan-Boltzmann constant $(\pi^2/60)k^4/\hbar^3 c^2$	σ	$5.670 400(40) \times 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$	7.0×10^{-6}
Non-SI units accepted for use with the SI				
electron volt: $(e/C) \text{ J}$	eV	$1.602 176 53(14) \times 10^{-19}$	J	8.5×10^{-8}
(unified) atomic mass unit $1 \text{ u} = m_u = \frac{1}{12} m(^{12}\text{C})$ $= 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}/N_A$	u	$1.660 538 86(28) \times 10^{-27}$	kg	1.7×10^{-7}

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$