

IZBIRNO TEKMOVANJE ZA EUPhO

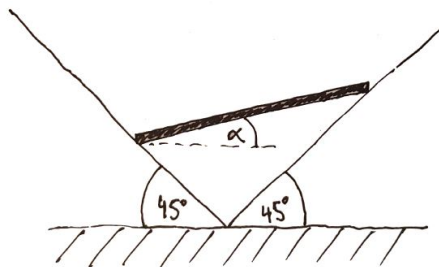
Ljubljana, 2. 7. 2020

čas reševanja nalog je 120 minut.

1. Dolgo vodoravno korito v obliki črke V ima ob spodnjem robu kot 90° kot kaže slika. V koritu je pravokotno na spodnji rob poprek položena deska, da je kot med vodoravnico in desko na levi strani α kot kaže slika. Na levi strani med desko in stranico korita ni lepenja, koeficient lepenja na desni strani je 0,1.

a) Določi interval vrednosti kota α , da palica ne zdrsne.

[4 točke]



2. Uteži z masama m_1 in $m_2 = 3m_1$ visita na nitkah z dolžino l s skupnim obesiščem. Na začetku sta na višinah h_1 in h_2 glede na najnižjo točko, nato ju spustimo. Ko se srečata, uteži prožno trčita.

a) Določi njuni maksimalni višini nad najnižjo točko po prvem trku. Višini izrazi s h_1 , h_2 in razmerjem mas. [3 točke]

b) Kolikšni pa sta ti višini po drugem trku, ki je tudi prožen? [2 točki]

Predpostavi, da je $h_1, h_2 \ll l$.

3. Majhna jadrnica pluje s hitrostjo 6,0 vozlov pod kotom proti valovom. Hitrost jadrnice je merjena glede na kopno, 1 vozlov pomeni 1 morsko miljo na uro, 1 morska milja je 1852 m. Kot med hitrostjo jadrnice in smerjo širjenja valov je 60° . Predpostavi, da je valovanje morske gladine sinusno, amplituda valov je 30 cm. Na morski gladini se jadrnica giblje gor in dol z nihajnim časom 1,0 s. V globoki vodi podaja hitrost valovanja na gladini zveza $c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$.

a) Kolikšna je amplituda pospeška, s katerim se giblje jadrnica v navpični smeri? [1 točka]

b) Krmar ima maso 85 kg in se ves čas trdno drži jadrnice. Skiciraj graf odvisnosti navpične komponente sile jadrnice na krmarja v odvisnosti od časa za dva nihaja jadrnice. Čas naj bo nič takrat, ko je jadrnica v najnižji legi, sila naj bo pozitivna, ko kaže navzgor. [2 točki]

c) Kolikšni sta valovna dolžina in hitrost valovanja? [4 točke]

d) Kolikšni bi bili amplitudi pospeška, če bi se ob nespremenjenih hitrostih valovanja in jadrnice ta gibala v isti smeri ali pa v nasprotni smeri kot valovi? [2 točki]

4. Od maja 2019 so v veljavi nove definicije osnovnih enot. Nove definicije izhajajo iz atomskega sveta ter temeljijo na naravnih konstantah in ne več na etalonih – kot v primeru dosedanje definicije kilograma – ali predpisanih merskih postopkih. Do sedaj sta bili v atomskem svetu zasidrani enoti za čas in dolžino; ti dve definiciji ostaneta v veljavi v okviru novega dogovora.

Sekunda je že od leta 1968 definirana kot 9 192 631 770 nihajev cezijevega atoma pri prehodu med izbranimi atomskima nivojema. Čas trajanja pojava ali poskusa torej izmerimo tako, da *štejemo* nihaje atomske ure od začetka do konca pojava:

$$t = \mathcal{N}_t \frac{1}{\nu_0},$$

pri čemer je ν_0 omenjena frekvenca cezijeve atomske ure.

Meter je od 1975 definiran kot razdalja, ki jo svetloba v vakuum prepotuje v $1/299\,792\,458$ sekunde. Razdaljo torej merimo prek časa potovanja (laserske) svetlobe:

$$s = ct = \mathcal{N}_s \frac{c}{\nu_0},$$

torej s *šetjem* (nihajev atomske ure). To pomeni, da je s tem dogovorom vrednost svetlobne hitrosti fiksirana, ni obremenjena z napako in je ne merimo.

V **novem dogovoru** uporabimo tak pristop pri vseh osnovnih količinah: enote definiramo, tako da fiksiramo vrednosti izbranih osnovnih konstant. Te konstante so: Planckova konstanta za definicijo kilograma, osnovni naboj (naboj elektrona ali protona) za definicijo Coulomba, Boltzmannova konstanta za definicijo Kelvina in Avogadrovo število za definicijo mola.

Če je pri naboju in množini snovi povezava med izbrano naravno konstanto in enoto očitna, pa to ne velja za maso in temperaturo. Pri nalogi se bomo posvetili novi definiciji kilograma. Cilj bo povezati merjeno maso s Planckovo konstanto in svetlobno hitrostjo.

- a) Maso in Planckovo konstanto najhitreje povežemo prek zveze med energijo fotona in njegovo frekvenco, $E = h\nu$, in Einsteinove zveze med energijo in maso, $E = mc^2$. Če izberemo fotone značilnega elektromagnetnega valovanja, recimo kar tistega, ki ga oddaja cezijeva ura, lahko kilogram definiramo preko mase določenega števila fotonov: *kilogram je definiran kot masa $\mathcal{N}_f$ fotonov EM valovanja cezijeve atomske ure.*

Izračunaj $\mathcal{N}_f$ (zadoščajo tri pomembne števke).

[2 točki]

Definicija kilograma je neoporečna in – podobno kot pri času in dolžini – maso merimo s *šetjem*. Na žalost pa je za konkretno merjenje mase telesa povsem neuporabna. Na srečo se Planckova konstanta pojavlja tudi pri nekaterih električnih količinah in to nam omogoča, da maso merimo preko električne sile s *Kibblavo* tehtnico, prvotno namenjene prav za merjenje Planckove konstante.

Planckova konstanta povezuje enosmerno napetost, ki se pojavi na *Josephsonovem stiku* dveh superprevodnikov, in frekvenco izmeničnega toka ν , ki teče skozi stik: $U = n\nu h/2e_0$, pri čemer je n naravno število. Z zaporedno vezavo večjega števila stikov z znanimi $\nu \equiv \nu_u$ in n sestavimo napetostne vire z znano gonilno napetostjo, ki jo lahko izrazimo kot

$$U_g = \mathcal{N}_u \nu_u \frac{h}{2e_0}.$$

Josephsonov stik uporabljamo tudi za merjenje napetosti preko merjenja frekvence izmeničnega toka, ki ga napetost požene skozi stik:

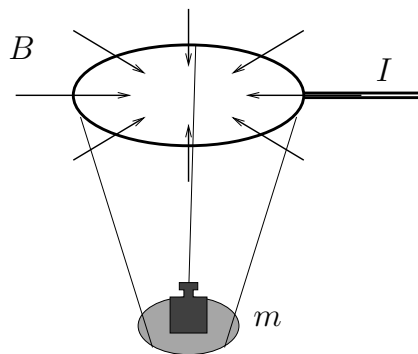
$$U_i = \mathcal{N}_i \nu_i \frac{h}{2e_0}.$$

Pri *Hallovem pojavu* merimo gostoto magnetnega polja preko napetosti na polprevodniški sondi, skozi katero teče enosmerni električni tok. Pri *kvantni verziji* pojava se izkaže, da je razmerje med napetostjo in tokom *kvantizirano*:

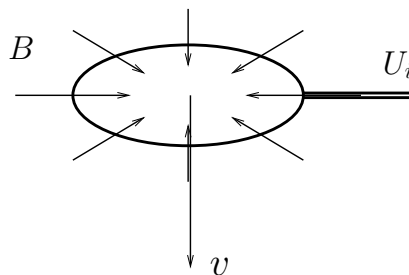
$$\frac{U}{I} = R = \frac{1}{\mathcal{N}_R} \frac{h}{e_0^2},$$

pri čemer je $\mathcal{N}_R$ naravno število. S kombinacijo Josephsonovih stikov in Hallove sonde lahko ustvarimo tokovni vir s točno določeno velikostjo toka.

- b) S Kibblovo tehtnico merimo maso merjenca v več korakih. V prvem koraku uravnovesimo težo merjenca z magnetno silo na krožno zanko, po kateri teče tok, ki ga generiramo s prej opisanimi napravami. Magnetno polje je pravokotno na obod zanke, kot kaže slika b), in ima po vsej zanki enako velikost. Izrazi maso merjenca z dolžino zanke l , gostoto magnetnega polja B in tokom po zanki I . (Težo zanke in nosilec merjenca pred meritvijo uravnovesimo z ustrezno utežjo, zato magnetna sila uravnovesi samo težo merjenca.) [2 točki]



b)



c)

- c) Gostote magnetnega polja in dolžine zanke ni mogoče dovolj natančno meriti, zato produkt obeh količin izmerimo s poskusom v drugem koraku. Merjenec odstranimo in odklopimo tokovni izvir. Zanko spustimo, da pada skozi isto magnetno polje in pri tem hitro doseže končno hitrost, kot kaže slika c). Izrazi produkt gostote magnetnega polja in dolžine zanke s hitrostjo zanke in inducirano napetostjo v njej. Končno izrazi maso merjenca s tokom, inducirano napetostjo in hitrostjo padanja zanke. Pri poskusu merimo hitrost zanke preko spremembe razdalje s v času t_v ; pri tem uporabimo laser in atomsko uro. [2 točki]
- d) V enačbah se pojavi težni pospešek na mestu poskusa, zato moramo težni pospešek poznati z enako natančnostjo kot druge merjene količine. Meritev težnega pospeška izvedemo neodvisno od ostalih meritev in sicer kar z merjenjem pospeška prostega pada telesa v vakuumu. Pri poskusu merimo višinsko razliko d in čas padanja t_g z laserjem in atomsko uro, kot je opisano v uvodu. Izrazi težni pospešek s c , ν_0 ter $\mathcal{N}_d$ in $\mathcal{N}_g$. [2 točki]
- e) Zapiši končni izraz za maso merjenca z osnovnimi konstantami, frekvenco atomske ure ν_0 , frekvenco pri nastavitvi gonilne napetosti ν_u , frekvenco pri merjenju inducirane napetosti v zanki ν_i , in (naravnimi) števili, ki jih dobimo pri merjenju gonilne napetosti $\mathcal{N}_u$, upora $\mathcal{N}_R$, inducirane napetosti $\mathcal{N}_i$, hitrosti $\mathcal{N}_s$ in $\mathcal{N}_v$ ter težnega pospeška. Upoštevaj, da so vsi vodniki in priključki superprevodni in da je edini upor v vezjih upor Hallove sonde. [4 točke]

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}, \quad h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}, \quad e_0 = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ As}.$$