

Tentti 16.12.2016, tentaattori Jouko Nieminen.

Kirjoitusvälineiden lisäksi on sallittu funktiolaskin ja A4-kokoinen kaavakokoelma/luntilappu. Paperin molemmilla puolilla saa olla merkintöjä.

1. (a) Mainitse kaksi merkittävää atomien välistä sidostyyppiä. Anna kummastakin esimerkki. (2p) (b) Selitä lyhyesti, mikä on plasmataajuus, ja miten se liittyy valon heijastumiseen metallipinnasta. (1p) (c) Miksi fosfolipidi-molekyylit järjestäytyvät kaksinkertaiseksi kalvoksi (esim. solukalvo) vesiympäristössä? (1p) (d) Minkä kahden fysikaalisen suureen suhdetta Reynoldsin luku kuvaa? Mitä Reynoldsin luvun arvo kertoo fluidin virtauksen luonteesta? (2p)

2. Pallonmuotoinen kvanttipiste on istutettu piioksidikomponenttiin, jonka dielektrisyyskerroin on $\epsilon_r = 4.5$ (Huomaa, että permeabiliteetti on siis $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$). (a) Jos sen varausenergia on 96 meV , määritä kvanttipisteen kapasitanssi ja säde. (2p) (b) Jos kvanttivankeuden (*quantum confinement*) varmuusrajana termiselle energialle käytetään peukalosääntöä $10 \cdot k_B T$, missä lämpötiloissa kvanttipiste toimii yhden elektronin transistorina? (2p) (c) Miten kyseisen kvanttipisteen varausenergia skaalautuu suhteessa sen säteeseen? Jos haluttaisiin kvanttipisteen toimivan lämpötilassa 310 K , mikä olisi sen säteen oltava? (2p)

3. (a) Nanohiukkanen, jonka läpimitta on 100 nm ja tiheys on $\rho = 1.9 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ putoaa vapaasti painovoiman vaikutuksesta tyynessä. Määritä rajanopeus, jonka hiukkanen saavuttaa kun gravitaatio ja ilman vastus (*drag force*) kumoavat toisensa. (2p) (b) Mikä on hiukkasen liikkeeseen liittyvä Reynoldsin luku? (1p) (c) Jos vastaava nanohiukkanen liikkuu vedessä, mikä olisi sen nopeuden oltava, jotta Reynoldsin luku olisi sama? (1p) (d) Miten putoamisen rajanopeus skaalautuu suhteessa tiheyseroon ja viskositeettiin? Onko vedessä putoavan yllä kuvaillun nanohiukkasen mahdollista saavuttaa painovoiman vaikutuksesta (c)-kohdan nopeutta? (2p) Vedelle $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ja $\mu = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ja ilmalle $\rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$ ja $\mu = 1.72 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

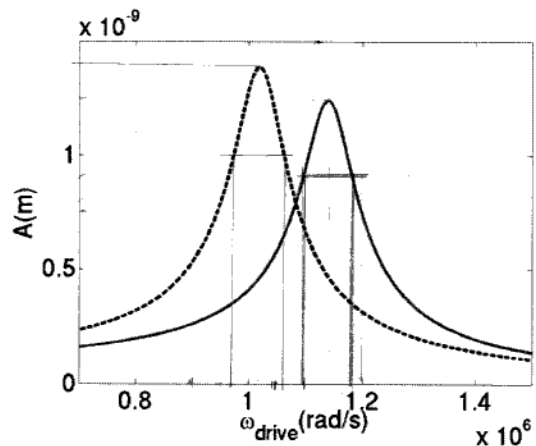
4. Oheisen kuvan kaksi käyrää esittävät AFM-mikroskoopin nanoliuskan (*cantilever*) värähtelyamplitudia liuskan värähtelyä ajavan kulmataajuuden ω_d funktiona. Yhtenäinen käyrä kuvaa liuskan värähtelyä, kun mikroskoopin kärki ei vuorovaikuta näytteen kanssa, katkoviivan tapauksessa näyte kohdistaa kärkeen voiman, joka muuttaa efektiivistä jousivakiota.

(a) Tarkastele ensin yhtenäistä käyrää. Määrittele siitä resonanssitaajuus ω_0 ja laatukerroin Q_0 . Resonanssitaajuuden määrittelyssä voit jättää vaimennuksen huomiotta. (b) Määritä samat suureet (ω_1 ja Q_1) tapaukselle, jossa näyte kohdistaa mikroskoopin kärkeen voiman. (c) Johda lauseke *jousivakion suhteelliselle muutokselle* $\frac{\Delta k}{k_0}$ resonanssitaajuuksien funktiona ja määritä suhteellinen muutos kuvan tapaukselle.

5. Skaalaustehtäviä. Oleta oheisissa kohdissa tarkasteltavalle esineelle, kappaleelle tai laitteelle karakteristinen koko D joka on sama joka suuntaan. (a) Olkoon hiukkasella tiheys ρ . Osoita, että sen massa skaalautuu kuten $m \propto D^3$. (1p) (b) Tarkastele harmonista värähtelijää, jonka jousivakio ei riipu värähtelijän koosta. Miten skaalautuu värähtelijän taajuus suhteessa värähtelijän kokoon D ? (2p) (c) Tarkastele torsiovärähtelijää joka pääsee kiertymään keskiakselinsa ympäri ja sen hitausmomentti on $\frac{1}{12} mL^2$, missä $L = D/2$ on etäisyys kiertoakselista. Värähtelijän hitausmomentti skaalautuu kuten $I \propto D^n$. Määritä eksponentti n . Jos värähtelijän torsiovakio κ on riippumaton värähtelijän koosta, miten skaalautuu värähdystaajuus suhteessa kokoon D ? (3p)

Kenties tarvitsemiasi vakioita:

Boltzmannin vakio $k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$, alkeisvaraus $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$, tyhjän permittiivisyys $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, Planckin vakio $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eVs}$, redusoitu Planckin vakio $\hbar = 1.054 \times 10^{-34} \text{ Js}$, Avogadron luku $N_A = 6.022 \times 10^{23}$, Yleinen kaasuvakio $R = 8.315 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, valon nopeus $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$, gravitaatiovakio $G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, elektronin massa $m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$, protonin massa $m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$. $1u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Elektronivoltti: $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$.



Tehtävän 4. kuva.