

Taskulaskimet ja MAOL:in taulukot ovat tentissä sallittuja. Kaavakokoelmat eivät ole sallittuja. Yhteensä 5 tehtävää (kahdella sivulla).

**Tehtävä 1. (9 p)**

Selitä seuraavat termit ja käsitteet

- Reynoldsin luku
- Keskimääräinen vapaa matka (mean free path)
- Sähköinen kaksoiskerros (electrical double layer)
- Eriste ja sen määrittely elektronivyörakenteen kautta
- Nanoskaala: millä fysikaalisella perusteella jokin partikkeli tulkitaan kuuluvan nanoskaalalle?
- Kvanttikaivo
- Fotonin ja fononin erot
- Valosähköinen ilmiö
- Motiliteetti

**Tehtävä 2. (6 p)**

Skaalausrelaatiot. Jokaista tarkasteltavaa fysikaalista suuretta kuvaa karakteristinen ulottuvuus  $D$  (dimensiot metrejä). Tämän perusteella kuvaa, kuinka seuraavat suureet skaalautuvat ulottuvuuden suhteen (sitien esim. pituus  $L$  skaalautuu muodossa  $L \sim D^1$ ).

- Reynoldsin luku
- Ihmisen juoksuvoima suhteessa ihmisen kokoon
- Virta
- Lämpökapasiteetti
- Pallon muotoisen nanopartikkelin dispersio, eli sen pinta-atomien ja partikkelin ytimessä olevien atomien lukumäärien suhde
- Varattuun hiukkaseen vaikuttava sähköstaattinen voima

**Tehtävä 3. (6 p)**

van der Waals –vuorovaikutusta kuvataan toisinaan potentiaalilla

$$E(x) = \varepsilon \left[ \left( \frac{2r_{vdw}}{x} \right)^{12} - 4 \left( \frac{2r_{vdw}}{x} \right)^6 \right],$$

jossa  $x$  on etäisyys kahden partikkelin välillä,  $\varepsilon > 0$  on energiaa kuvaava parametri ja  $r_{vdw}$  kuvaa partikkelien kokoa. a) Laske van der Waals –voiman yhtälö. b) Määritä maksimivoima attraktiiviselle vuorovaikutukselle. c) Jos vertaat tätä maksimivoimaa kahden varauksen (molempien varaus  $q = e$ , mutta yksi on positiivinen ja toinen negatiivinen) väliseen attraktiiviseen voimaan, niin mikä on se varauksien välinen etäisyys, jolla tämä toteutuu? d) Miksi yllä olevassa yhtälössä on attraktiiviselle vuorovaikutukselle eksponentti 3 ja repulsiiviselle taas eksponentti 12?

**Tehtävä 4. (3 p)**

Pallomaisen partikkelin säde on  $R_{iso}$ . Se muodostuu pienemmistä pallomaisista partikkeleista, joiden säde on  $R_{pieni}$ . Pieniä partikkeleita (säde  $R_{pieni}$ ) on niin paljon, että niistä saa muodostettua suunnilleen pallomaista partikkelia muistuttavan ison partikkelin (säde  $R_{iso}$ ). Oletamme, että iso pallo pysyy kasassa van der Waals –vuorovaikutuksilla, mitkä sitovat pieniä palloja toisiinsa, jolloin ne sitoutuvat yhteen.

- Laske ensin ison pallomaisen partikkelin dispersio eli sen pinnan suhde tilavuuteen.
- Pienet pallot (säde  $R_{pieni}$ ) vuorovaikuttavat keskenään van der Waals –vuorovaikutuksilla, joiden maksimikantama on  $3 \times R_{pieni}$ . Tätä suuremmilla etäisyyksillä pienet pallot eivät ”tunne” toisiaan eli ne eivät pysty vuorovaikuttamaan van der Waals –vuorovaikutusten kautta. Laske ison pallon pienin mahdollinen säde, joka mahdollistaa sen, että ison pallon keskimmäisimpänä oleva pieni pallo ei enää tunne (van der Waals –vuorovaikutuksilla) ison pallon pinnassa olevia pieniä palloja.

**Tehtävä 5. (6 p)**

Pallomainen partikkeli (säde on  $R$ , tiheys on  $\rho$ ) putoaa gravitaation ansiosta nesteessä, jonka viskositeetti on  $\eta$  ja tiheys on  $\rho_n$ . Voimme olettaa, että  $\rho > \rho_n$ . Partikkeli lähtee liikkeelle levosta ja sen nopeus kasvaa, kunnes sen nopeus vakiintuu vakioarvoon  $v$ , jota kutsutaan terminaalinopeudeksi. a) Määritä yhtälö nopeudelle  $v$ . b) Systeemi on lämpötilassa  $T$ , joten putoavaan partikkeliin vaikuttaa myös lämpötilan aiheuttama terminen kohina. Kuinka suuri (tai pieni) täytyy partikkelin koon olla, että partikkeli kelluisi suunnilleen paikallaan, jolloin se pystyisi vastustamaan termisen energian ( $k_B T$ ) avulla gravitaatiota?