

---

**FYSA270 Biologinen fysiikka / JY**

Loppukoe (Perjantai 04.06.2010, tentaattori: J. Akola )

---

**Tehtävä 1. (3 p)**

Tarkastele satunnaiskävelijää, jonka paikka hetkellä  $t$  on  $\vec{r}(t)$ . Olkoon  $\vec{r}(0) = 0$ . Osoita (johda), että satunnaiskävelijälle  $\langle [\vec{r}(t) - \vec{r}(0)]^2 \rangle \sim A t^x$ , jossa eksponentti  $x = 1$ .

Edellisen osan etutekijä  $A$  on verrannollinen diffuusiotehtäjä  $D$ . Seuraavaksi oletetaan, että satunnaiskävelijä on (integraali)proteiini, joka liikkuu solukalvon pinnan suuntaisesti siihen upotettuna. Solukalvo ympäröi pallomaista solua, jonka halkaisija on  $30 \mu\text{m}$ . Arvioi kuinka kauan kestää, että ko. proteiini kulkee satunnaiskävelijän tavoin liikkuen solun ympäri lähtöpisteestä solun vastakkaiselle puolelle ja sieltä takaisin. Voit olettaa, että proteiinin diffuusiotehtäjä on suuruudeltaan  $D = 1 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{s}$ .

**Tehtävä 2. (9 p)**

Määrittele oheiset käsitteet (yhtälöt) ja keskustele niistä. Voit piirtää myös havainnollistavia kuvia.

- Dimensioanalyysi. (1 p)
- Terminen räikkä (thermal ratchet). (1 p)
- Entrooppinen voima. (1 p)
- Mikä on allaolevan yhtälön merkitys?

$$S = k_B \ln \left[ \left( \frac{2\pi^{3N/2}}{(3N/2 - 1)!} \right) (2mE)^{3N/2} V^N \frac{1}{N!} h^{-3N} \frac{1}{2} \right] \quad (1)$$

Mitä ovat muuttujat? (1 p)

- Arrhenius-laki (Arrhenius-kuvaus). (1 p)
- Lipidi. (1 p)
- $pK$  ja  $pH$  ja niiden välinen yhteys. Mitä tapahtuu, kun tarkasteltavan aineen  $pK$  on pienempi kuin nesteen  $pH$ ? Voiko  $pK$  olla nolaa pienempi? (2 p)
- Vetyidos. (1 p)
- Reynoldsin luku. (1 p)

**Tehtävä 3. (3 p)**

Tyypillisesti tekstikirjoissa kerrotaan ATP:n hydrolyysissä vapautuvan energiaa  $\Delta G'^0 = -7.3 \text{kcal/mol}$ . Toisaalta on todettu, että eräs molekyyli-moottori kuluttaa yhden ATP-molekyylin per askel ja tekee tällöin työtä  $14 k_B T$ :n verran. Osoita näiden väitteiden yhteensopivuus lähtien liikkeelle tiedosta, että tyypilliset solunsisäiset konsentraatiot ovat:  $[\text{ATP}] = 0.01$  (eli  $c_{\text{ATP}} = 10 \text{mM}$ ),  $[\text{ADP}] = 0.001$  ja  $[\text{P}_i] = 0.01$  (tämä viimeinen on siis inorgaaninen fosfaatti).

KÄÄNNÄ SIVUA!

**Tehtävä 4.** (3 p)

Oleta, että elimistösi tiheys (tilanteessa, jossa keuhkoissa on vähän ilmaa) on  $1050 \text{ kg/m}^3$ , mikä on hivenen enemmän kuin veden tiheys  $1000 \text{ kg/m}^3$ . (a) Laske ruumiisi efektiivinen massa tilanteessa, jossa sukellat uima-altaassa (huomioi nesteen noste). Voit arvioida itsesi tilavuutta sylinterillä, jonka korkeus on 180 cm ja säde on 20 cm. (b) Seuraavaksi oletetaan uivasi rintauintia siten, että pääsi on koko ajan veden pinnalla (ei hyvä, sillä se rasittaa liikaa niskaa), kun taas muu osa ruumiista on veden pinnan alla. Jos pääsi vie noin 7% ruumiin painosta ja tilavuudesta, arvioi nyt koko ruumiisi efektiivinen massa uinnin aikana. (c) Tulkitse näiden tulosten perusteella massan merkitystä solutasolla.

**Tehtävä 5.** (6 p)

Entropia voi saada aikaan entropisen voiman. Tätä varten tarkastele Gaussista ketjua, jossa  $N$  monomeeriä on kytketty lineaarisesti toisiinsa siten, että ainoa monomeerien välinen sisäinen potentiaali on monomeeri-monomeri kytkentä (joka pitää kahden toisiinsa kytketyn monomeerin etäisyyden  $\ell$  vakiona). Muilta osin monomeerit saavat mennä päällekkäin ja ketjun peräkkäiset segmentit voivat heilua vapaasti suhteessa toisiinsa. Laske tällaiselle ketjulle sen vapaaenergia. Laske siitä edelleen voima, joka tarvitaan ketjun päiden välisen etäisyyden pitämiseksi vakiona. [Vinkki: Voit tarkastella 1-ulotteista ketjua. Lähde liikkeelle normaalijakaumasta ( $P(x) \sim \exp(-x^2/2\sigma^2)$ ) ja entropian määritelmästä.]

**Tehtävä 6.** (6 p)

Tee allaolevista *joko* kohta (a) *tai* (b).

(a) Oleta nesteeseen olevan kokoonpuristumatonta ja oleellisesti homogeenista. Samalla oletetaan, että nesteessä oleva kalvo on puoliläpäisevä siten, että se päästää lävitseen kaiken nesteeseen, mutta ei siinä olevia liuotainepartikkeleita kuten ioneja, joiden lukumääräkonsentraatio on  $c$ . Puoliläpäisevän kalvon ylitse muodostuu silloin niin kutsuttu osmoottinen paine, joka lämpötilassa  $T$  ideaalikaasun tyyppiselle systeemille noudattaa van't Hoffin yhtälöä  $p_{\text{equil}} = c k_B T$ . Johda tämä yhtälö ja keskustele sen merkityksestä biologisissa systeemeissä.

(b) Kirjoita essee molekyyli-moottoreiden toimintaperiaatteista ja yhteydestä malleihin termisistä räikistä (thermal ratchets).