

Hyvän vastauksen piirteet: FI – Fysiikka

13.9.2023

Alustavat hyvän vastauksen piirteet 13.9.2023

Alustavat hyvän vastauksen piirteet on suuntaa-antava kuvaus kokeen tehtäviin odotetuista vastauksista ja tarkoitettu ensisijaisesti tueksi alustavaa arvostelua varten. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät välttämättä sisällä ja kuvaa tehtävien kaikkia hyväksytyjä vastauksia. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät ole osa Ylioppilastutkintolautakunnan yleisissä määräyksissä ja ohjeissa tarkoitettua tietoa siitä, miten arvosteluperusteita on sovellettu yksittäisen kokelaan koesuoritukseen. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät sido Ylioppilastutkintolautakuntaa lopullisen arvostelun perusteiden laadinnassa.

Fysiikan ylioppilaskokeessa arvioinnin kohteita ovat lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisen fysiikan tiedon osaaminen ja soveltamisen taito. Kokeessa arvioidaan myös kokelaan kokeellisen tiedonhankinnan ja -käsittelyn taitoja. Näitä ovat muun muassa kokeensuunnittelu, yleisimpien mittavälineiden käytön hallinta, tulosten esittäminen ja tulkitseminen sekä johtopäätösten tekeminen. Kokeessa arvioidaan niin ikään kokelaan kykyä ymmärtää ja eritellä fysiikan luonteen mukaisia aineistoja. Arvioinnissa kiinnitetään huomiota siihen, että vastauksissa on käytetty fysiikan käsitteitä ja käsite rakenteita asianmukaisesti ja että vastaukset on esitetty selkeästi ja asiasisällön puolesta johdonmukaisesti ja hyvin jäsenellysti.

Hyvä vastaus sisältää vastauksen perustelut, ellei tehtävänannossa ole toisin mainittu. Siitä käy ilmi, että kokelas on tunnistanut oikein fysikaalisen ilmiön ja tarkastelee tilannetta fysikaalisesti mielekkäällä tavalla. Kokelas osaa kuvata sovellettavan fysikaalisen mallin ja perustella, miksi mallia voidaan käyttää kyseisessä tilanteessa. Kun vastaukseen liittyy tilannekuvioita, voimakuvioita, kytkentäkaavioita tai graafisia esityksiä, nämä on tehty selkeästi ja fysiikassa noudatettujen yleisten periaatteiden mukaisesti. Esimerkiksi voimakuviossa voimavektorit on erotettu vektorien komponenteista selkeästi.

Matemaattista käsittelyä vaativan tehtävän hyvässä vastauksessa on suurehtälöt ja kaavat perusteltu tavalla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen fysiikan kannalta oikein. Vastauksessa on esitetty tarvittavat laskut ja muut riittävät perustelut sekä lopputulos. Suureiden arvojen sijoituksia yhtälöön ei tarvitse kirjoittaa näkyviin, jos vastauksessa on selkeästi esitetty, mitä symbolia, lukuarvoa ja yksikköä kullekin suurelle käytetään. Symbolisten laskentaohjelmistojen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan ratkaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu ja lopputuloksen yhteydessä on esitetty tehtävänannossa kysytyn suureen suhteen ratkaistu suurehtälö.

Sisällys

Osa 1: 20 pisteen tehtävä

1. [Monivalintatehtäviä fysiikan eri osa-alueilta](#) 20 p.

Osa 2: 15 pisteen tehtävät

2. [Pirttikoski](#) 15 p.
3. [Olomuodon muutos](#) 15 p.
4. [Monivalintatehtäviä virtapiireistä](#) 15 p.
5. [Automatka](#) 15 p.
6. [Äänet Marsissa](#) 15 p.
7. [Deuterium-plasma](#) 15 p.
8. [Jodihoito](#) 15 p.

Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Juoksupyöränosturi	20 p.
10. Sukellus	20 p.
11. Kylmälaukku	20 p.
Koe yhteensä	120 p.

Osa 1: 20 pisteen tehtävä**1. Monivalintatehtäviä fysiikan eri osa-alueilta 20 p.**

Valitse jokaisessa osatehtävässä 1.1–1.10 parhaiten soveltuva vaihtoehto. Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1 Fissio ja fuusio ovat ydinreaktioita, joita voidaan hyödyntää energian tuotannossa. Mikä seuraavista väitteistä on oikein? **2 p.**

- Fuusiossa yhdistyy kaksi kevyttä ydintä, ja fissiossa hajoaa yksi raskas ydin. (2 p.)

1.2 Istahdat kuumassa saunassa puiselle lauteelle, josta pilkistää metallisen naulan kanta. Lauteeseen verrattuna naula tuntuu ihoasi vasten paljon polttavammalta, koska **2 p.**

- naulan lämmönjohtavuus on suurempi kuin lauteen. (2 p.)

1.3 Auto vetää asuntovaunua ja etenee vaakasuoralla moottoritieellä tasaisella vauhdilla. Asuntovaunuun kohdistuvien voimien summa **2 p.**

- on nolla. (2 p.)

1.4 Paksun metallilangan halkaisija on kaksinkertainen ohuen langan halkaisijaan verrattuna. Langat ovat yhtä pitkiä. Ohuen langan resistanssi on R . Paksun langan resistanssi on **2 p.**

- $\frac{1}{4}R$. (2 p.)

1.5 Matkustat veneellä Helsingistä suoraan Tallinnaan. Kuljet tasan puolet matkasta nopeudella v ja loppuosan nopeudella $2v$. **2 p.**

- Keskinopeutesi koko matkalla oli $\frac{4}{3}v$. (2 p.)

1.6 Akvaariossa kelluu muovinen leluvene, jossa on kivi. Kun kivi siirretään veneestä akvaarion pohjalle, vedenpinnan korkeus akvaariossa **2 p.**

- laskee. (2 p.)

1.7 Laatikko liukuu pöydällä, ja kitka pienentää sen vauhtia. Kitkavoiman tekemä työ **2 p.**

- on negatiivinen. (2 p.)

1.8 Maapallon pyörimisakseli on kallistunut noin 23° ratatason normaaliin nähden (kuva). Jos kallistuskulma olisi 0° , **2 p.**

- ei maapallolla esiintyisi vuodenaikoja. (2 p.)

1.9 Kun paristokäyttöinen lamppu sytytetään, **2 p.**

- pariston sähköinen kokonaisvaraus ei muutu. (2 p.)

1.10 Muoviputkeen on työnnetty pulloharja alhaalta (kuva). Pienen kitkavoiman takia harja pysyy putkessa. Kun putken yläpäähän lyödään lujaa kumisella nuijalla, putki liikauttaa alaspäin. Lyönnin seurauksena harja **2 p.**

- liikauttaa putken suhteen ylöspäin. (2 p.)

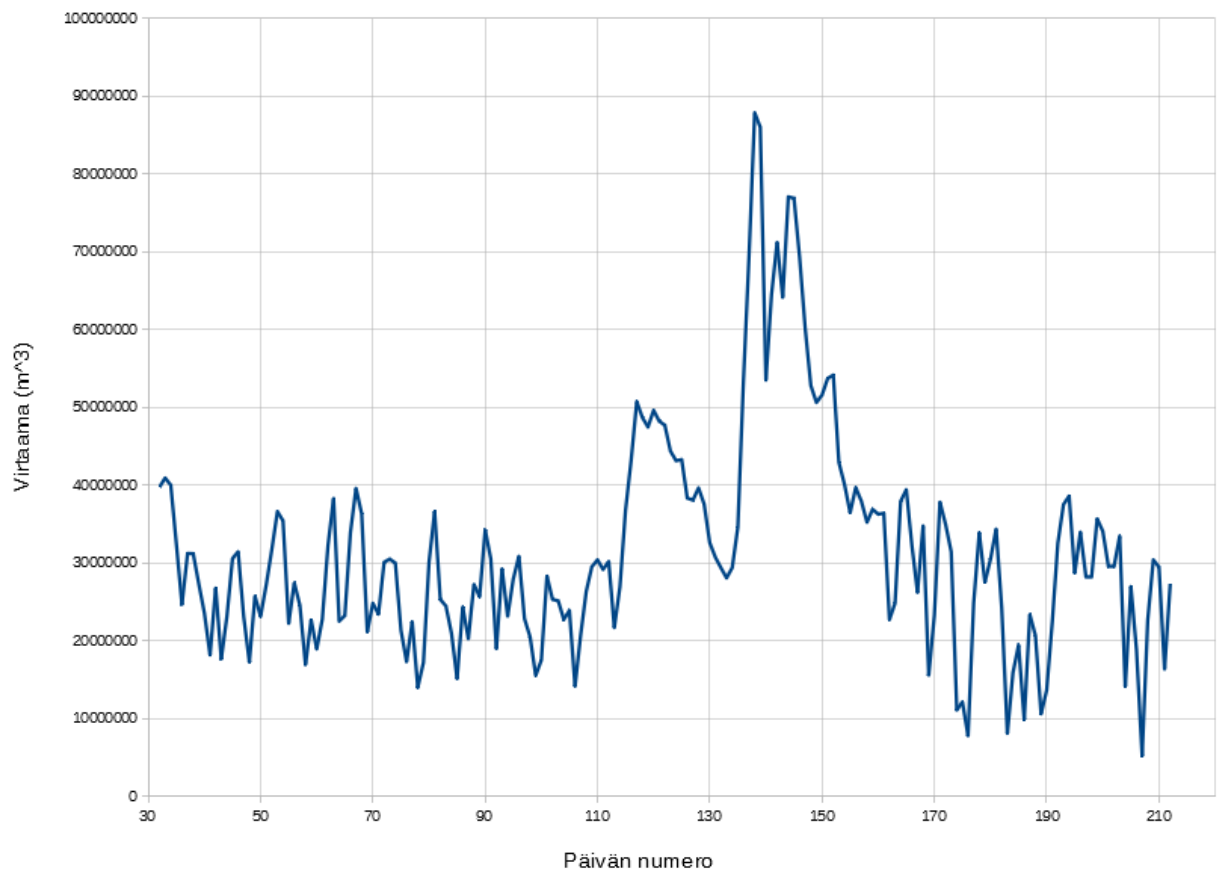
Osa 2: 15 pisteen tehtävät

2. Pirttikoski 15 p.

Aineistossa 2.A on veden virtaaman vuorokausikeskiarvo (yksikkönä m^3/s) Rovaniemen Pirttikosken voimalaitoksessa 1.2.–31.7.2022.

2.1 Esitä vuorokaudessa virranneen veden tilavuus vuoden alusta lasketun päivän numeron funktiona. **5 p.**

Vuorokaudessa virranneen veden määrä saadaan kertomalla keskivirtaama vuorokauden sekuntien lukumäärällä. Tulos esitetään vuoden alusta lasketun päivän numeron funktiona:



2.2 Minkä kuukauden aikana vettä virtasi eniten, ja mikä oli sinä kuukautena virranneen veden kokonaistilavuus? **5 p.**

Graafisella integroinnilla tai laskemalla päivittäiset virtaamat yhteen saadaan kuukausivirtaamiksi:

Kuukausi	Virtaama (kuutiometriä)
Helmikuu	772692480
Maaliskuu	804322656
Huhtikuu	867906144
Toukokuu	1606818816

Kuukausi	Virtaama (kuutiometriä)
Kesäkuu	939117888
Heinäkuu	749441376

Taulukosta nähdään, että suurin kuukausivirtaama oli toukokuussa, noin $1,6 \cdot 10^9$ kuutiometriä.

2.3 Pirttikosken voimalaitoksessa vesi putoaa 26 metriä. Kuinka paljon energiaa voimalaitos olisi enintään voinut tuottaa 13.3.2022, jos koko voimalaitoksen läpi virtaavan veden potentiaalienergia olisi voitu hyödyntää? 5 p.

Voimalaitoksen sähköenergian tuotanto ei voi olla suurempi kuin virtaavan veden potentiaalienergian muutos. Maaliskuun 13. päivänä veden virtaama oli 30 087 072 kuutiometriä, ja vastaava potentiaalienergian muutos on

$$\Delta E_p = mg\Delta h = \rho Vg\Delta h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 30087072 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 26 \text{ m} = 7674008584320 \text{ J} \approx 7,7 \text{ TJ}.$$

3. Olomuodon muutos 15 p.

Pakastimesta otetaan jääpala, jonka massa on 0,050 kg ja jonka lämpötila on $-18,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Jääpala pudotetaan lämpöeristettyyn muoviasiaan, jossa on 0,40 kg vettä lämpötilassa $+1,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Vedessä on lämpömittari. Odotetaan, kunnes mittarin lukema ei enää muutu. Sillä hetkellä astiassa on jääpala ja nestemäistä vettä. Mikä on lämpötila lopussa? Määritä jääpalan massan muutos.

Mittarin lukeman asetuttua jää ja vesi ovat tasapainossa keskenään, joten sillä hetkellä lämpötila on $T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

(3 p.)

Jääpalan pudottamisen jälkeen jää alkaa lämmentä ja vesi alkaa jäähtyä. Sovelletaan jään lämpenemiseen ja veden jäähtymiseen yhtälöä $Q = cm\Delta T$. Lopussa $T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, joten jäälle $\Delta T_j = +18 \text{ K}$ ja vedelle $\Delta T_v = -1,0 \text{ K}$.

Jään lämpeneminen nolla-asteiseksi: siirtyvä lämpö jään kannalta katsoen on

$$Q_j = c_j m_j \Delta T_j \approx (2090 \text{ J/kg K}) \cdot 0,05 \text{ kg} \cdot 18 \text{ K} = 1881 \text{ J}.$$

Veden jäähtyminen nolla-asteiseksi: siirtyvä lämpö veden kannalta katsoen on $Q_v = c_v m_v \Delta T_v \approx (4182 \text{ J/kg K}) \cdot 0,40 \text{ kg} \cdot (-1,0 \text{ K}) = -1673 \text{ J}.$

(4 p.)

Koska järjestelmä on eristetty, pitää kaikkien lämpöjen summutua nolaksi (kokonaisenergia säilyy). Huomaamme, että $Q_j + Q_v > 0$.

Tarvitaan siis olomuodon muutos, johon liittyy lämpö Q_m siten, että $Q_j + Q_v + Q_m = 0$, joten

$$Q_m = -Q_j - Q_v \approx -1881 \text{ J} + 1673 \text{ J} = -208 \text{ J}.$$

Q_m on negatiivinen, joten osan vedestä pitää jäähtyä. Jäätyessään se luovuttaa lämpö määrän $Q = -Q_m \approx 208 \text{ J}.$

Lasketaan jäätyvän veden massa, joka olkoon m .

$$Q = sm, \text{ joten } m = Q/s \approx 208 \text{ J}/(334 \text{ J/g}) \approx 0,623 \text{ g}.$$

Jääpalan massan muutos on siis $m \approx 0,62 \text{ g}.$

(8 p.)

Vain pieni osa vedestä jäähtyy, joten lopussa astiassa todellakin on sekä vettä että jäätä.

4. Monivalintatehtäviä virtapiireistä 15 p.

Kuvassa 4.A on kolme virtapiiriä. Kaikki jännitelähteet, vastukset ja johtimet ovat ideaalisia ja keskenään identtisiä. Valitse jokaisessa osatehtävässä tilannetta parhaiten kuvaava vaihtoehto. Oikea vastaus 2 p. tai 3 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

Jos olet aloittanut tehtävään vastaamisen, mutta et haluakaan jättää tehtävää arvosteltavaksi, valitse jokaisessa osatehtävässä vaihtoehto "En vastaa".

4.1 Virtapiirin 1 johtimiin on merkitty neljä pistettä A–D. Tarkastellaan potentiaalia pisteissä A, B, C ja D. Tällöin 2 p.

- $V_A = V_B > V_C = V_D$ (2 p.)

4.2 Tarkastellaan piirin 1 sähkövirtaa pisteissä A–D. Tällöin 2 p.

- $I_A = I_B = I_C = I_D$ (2 p.)

4.3 Vertaa sähkövirtojen suuruuksia piirin 1 pisteessä C ja piirin 2 pisteessä G. Tulos on, että 2 p.

- $I_G = \frac{1}{2} I_C$ (2 p.)

4.4 Vertaa potentiaalia piirin 1 pisteessä C piirin 2 pisteeseen G. Tulos on, että 2 p.

- $V_G > V_C$ (2 p.)

4.5 Vertaa sähkövirtojen suuruuksia piirin 1 pisteessä C ja piirin 3 pisteessä M. Tulos on, että 2 p.

- $I_M = I_C$ (2 p.)

4.6 Vertaa sähkövirtojen suuruuksia piirin 2 pisteessä E ja piirin 3 pisteessä K. Tulos on, että 2 p.

- $I_E = \frac{1}{4} I_K$ (2 p.)

4.7 Miten piireissä 1, 2 ja 3 kulutetut sähkötehot vertautuvat toisiinsa? 3 p.

- $P_3 > P_1 > P_2$ (3 p.)

5. Automatka 15 p.

Autolla ajetaan tasaisella nopeudella Helsingistä Hyvinkäälle ja sitten Hyvinkäältä takaisin Helsinkiin. Helsingin ja Hyvinkään välinen etäisyys tietä pitkin on 58 km. Helsingissä lähtöpaikan korkeus merenpinnasta on 17 m ja Hyvinkäällä kohteen korkeus merenpinnasta 105 m. Auton massa on 1 600 kg, ja sen bensiinimoottorin hyötysuhde on 24 %. Voit olettaa, että vastusvoimat ovat keskimäärin yhtä suuret meno- ja paluumatkalla. Bensiinin lämpöarvo on 31,2 MJ/l.

5.1 Kuinka monta litraa enemmän bensiiniä kuluu menomatkalla kuin paluumatkalla? 9 p.

Menomatkalla polttoaineen energiaa kuluu auton potentiaalienergian kasvattamiseen ja vastusvoimien tekemään työhön.

$$E_{\text{meno}} = \Delta E_p + W = mg\Delta h + W$$

Paluumatkalla polttoaineen energiaa kuluu yhä vastusvoimien tekemän työn voittamiseen, mutta potentiaalienergia vähenee.

$$E_{\text{paluu}} = -mg\Delta h + W$$

Meno- ja paluumatkalla kuluneiden energioiden erotus on

$$\Delta E = E_{\text{meno}} - E_{\text{paluu}} = 2mg\Delta h = 2\,762\,496 \text{ J.}$$

(4 p.)

Energia tuotetaan bensiiniä polttamalla

$$\Delta E = \eta H \Delta V,$$

joten bensiininkulutuksen ero meno- ja paluumatkan välillä on

$$\Delta V = \frac{\Delta E}{\eta H} = \frac{2mg\Delta h}{\eta H} = 0,3689231 \approx 0,371.$$

(5 p.)

5.2 Jos menomatka ajetaan suuremmalla nopeudella kuin paluumatka, miten tämä vaikuttaa bensiininkulutuksen eroon meno- ja paluumatkan välillä? **6 p.**

Kun menomatka ajetaan suuremmalla nopeudella kuin paluumatka, on vastusvoimien tekemä työ menomatkalla suurempi kuin paluumatkalla. Tällöin

$$\Delta E = E_{\text{meno}} - E_{\text{paluu}} = 2mg\Delta h + W_{\text{meno}} - W_{\text{paluu}} > 2mg\Delta h,$$

eli energiankulutuksen ja samalla bensiininkulutuksen ero kasvaa.

6. Äänet Marsissa 15 p.

Vuonna 2022 NASAn Perseverance-mönkijä onnistui tallentamaan ääniaaltoja Marsin pinnalla. Äänen nopeudeksi Marsissa mitattiin noin 240 m/s alle 400 hertsin taajuuksilla ja noin 250 m/s korkeammilla taajuuksilla. Samanlaisen äänilähteen tuottamat äänet havaittiin Marsissa noin 20 desibeliä heikompina kuin Maassa. Marsin pinnalla kaasukehän tiheys on 0,02 kg/m³, kun taas Maan ilmakehän tiheys merenpinnan tasolla on noin 1,2 kg/m³.

6.1 Miksi ääniaaltojen esiintyminen Marsin kaasukehässä oli merkittävä löydös, joka kohahdutti tiedemaailmaa? **3 p.**

Ääniaalto tarvitsee edetäkseen väliaineen. Oli ajateltu, että Marsin kaasukehän tiheys tai paine tai molemmat ovat liian alhaisia, jotta ääniaalto voisi edetä.

6.2 Miten äänen nopeuden ja taajuuden keskinäinen riippuvuus Marsissa eroaa niiden riippuvuudesta Maan pinnalla? **3 p.**

Maan pinnalla äänen nopeus on (likimain) vakio taajuuden funktiona (kuuloalueen taajuuksilla).

6.3 Havainnollistetaan Marsissa havaittua 20 dB:n eroa Maan pinnalla tehtävällä kokeella. Kuinka paljon äänen intensiteettiä Maassa on kasvatettava suhteessa alkuperäiseen intensiteettiin, jos intensiteettitasoa halutaan kasvattaa 20 dB? **5 p.**

Käytetään intensiteettitaso suureyhtälöä:

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I}{I_0},$$

jossa

$$I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Nyt pätee

$$L_1 - L_2 = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_1}{I_0} - 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_2}{I_0} = 20 \text{ dB}.$$

Tästä saadaan

$$\log \frac{I_1}{I_0} - \log \frac{I_2}{I_0} = 2$$

ja edelleen

$$\log \frac{I_1}{I_2} = 2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 10^2 = 100.$$

Intensiteetti pitää siis satakertaistaa, jos intensiteettitasoa halutaan nostaa 20 dB.

6.4 Pohdi annettujen tietojen perusteella, millainen olisi puheen tai musiikin kuuntelukokemus Marsissa verrattuna Maahan olettaen, että äänien kuuntelu Marsissa olisi mahdollista ilman suojausjärjestelyjä. **4 p.**

Marsissa kaikki äänet kuultaisiin (20 dB) vaimeampina. Lisäksi, koska korkeat äänet (yli 400 Hz) etenevät noin 4 % nopeammin, ne kuultaisiin aiemmin kuin matalat äänet. Tällöin puhe tai musiikki kuulostaisi epäselvältä.

7. Deuterium-plasma 15 p.

Korkeassa lämpötilassa materiaali on neljännessä olomuodossa eli plasmana, jota voi kuvata ionisoituneeksi kaasuksi. Plasmamuodossa atomien ytimet ja elektronit liikkuvat vapaana toisistaan. Plasmaa voidaan ohjata sähkö- ja magneettikentillä.

Deuterium on raskas vety, jonka ytimessä on protoni ja neutroni. Näin ollen deuteriumplasma koostuu elektroneista sekä deuteriumytimistä eli deuteroneista.

- 7.1 Plasmaa sisältävässä laitteessa on aluksi homogeeninen magneettikenttä mutta ei sähkökenttää. Deuteronin ja elektronin alkunopeus on magneettikenttää vastaan kohtisuorassa. Miten deuteroni ja elektroni liikkuvat magneettikentässä? Millä kahdella tavalla niiden liikkeet eroavat toisistaan? **6 p.**

Homogeenisessa magneettikentässä deuteroni ja elektroni kulkevat ympyrärataa vakiovauhdilla (alkunopeudella) magneettikenttää vastaan kohtisuorassa tasossa. Massaeron takia ympyrä ratojen säteet ovat erilaiset, ja varauksen vastakkaisen merkin takia kiertosuunnat ovat vastakkaiset.

- 7.2 Plasmaa sisältävään laitteeseen, jossa on homogeeninen magneettikenttä, kytketään homogeeninen sähkökenttä, joka on samansuuntainen magneettikentän kanssa. Deuteronin alkunopeus on magneettikenttää vastaan kohtisuorassa. Selitä, miksi sähkökentän kytkemisen jälkeen deuteroni liikkuu kuvan 7.A mukaista ruuviviivan muotoista rataa. **5 p.**

Koska deuteroni on varattu hiukkanen, sen liikettä ohjaavat sähkö- ja magneettikenttä. Magneettikentän aiheuttama ympyräliike säilyy kenttää vastaan kohtisuorassa suunnassa. Sähkökenttä synnyttää voiman $F = qE = +eE$, joka aiheuttaa kiihtyvän liikkeen sähkökentän suunnassa. Yhteisvaikutuksena nähdään kuvan ruuviviivan kaltainen helikaalinen liike.

- 7.3 Fuusioreaktorissa polttoaine on plasmana. Miksi juuri sähkö- ja magneettikenttiä käytetään fuusioreaktorissa plasman ohjaamiseen? Miksi plasma pyritään pitämään tiheänä? **4 p.**

Fuusioreaktorin rakennemateriaalit sulaisivat, jos kuumen ($10^6 \dots 10^8$ K) plasman hiukkaset koskettaisivat niitä, joten plasman koossapito ei onnistu kiinteillä rakenteilla. Kosketukset vältetään käyttämällä ohjaukseen sähkö- ja magneettikenttiä.

(2 p.)

Jos rakennemateriaalit sekoittuisivat plasmaan, siihen myös tulisi epäpuhtauksia, mikä haittaisi fuusioreaktioita.

Fuusioreaktio vaatii, että positiivisesti varatut vetyisotooppien ytimet ylittävät Coulombin vallin, jotta ne voivat fuusioitua. Kun plasman tiheys kasvaa, fuusioreaktioiden todennäköisyys kasvaa. Fuusioreaktorin hyötysuhde riippuu plasman tiheyden, koossapitoajan ja lämpötilan tulosta (Lawsonin kriteeri).

(2 p.)

8. Jodihoito 15 p.

Kilpirauhassyöpää hoidetaan poistamalla kilpirauhanen leikkauksella. Jäljelle jäänyt rauhaskudos tuhotaan radioaktiivisella jodin isotoopilla I-131, sillä kehossa jodia kertyy erityisesti kilpirauhaskudokseen. Tutustu tekstiin 8.A ja vastaa osatehtäviin 8.1–8.3.

- 8.1 Kirjoita I-131:n hajoamisyhtälö. **3 p.**



8.2 Hajoamisen seurauksena syntyy myös gammasäteilyä, kun tytärtyimen viritystila purkautuu. Määritä gammasäteilyn puoliintumisvakisuus. Vertaile jodihoidossa syntyneen beeta- ja gammasäteilyn soveltuvuutta syöpäsolujen tuhoamiseen. **6 p.**

Heikennyslain $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$ mukaan gammasäteilyn intensiteetti kudoksessa pienenee puoleen matkalla

$$x = \frac{\ln(I_0/I)}{\mu} = \frac{\ln 2}{0,11 \frac{1}{\text{cm}}} \approx 6 \text{ cm.}$$

Gammasäteilystä puolet absorboituu tällä matkalla, mutta puolet etenee kudoksessa pidemmän matkan, jopa kehon ulkopuolelle. Gammasäteilyn energia absorboituu laajalle alueelle kehoa, joten se ei ole tehokasta syöpäkasvaimen tuhoamiseen.

Aineiston mukaan beetahajoamisessa syntyneiden elektronien kantama kudoksessa on noin millimetri, joten niiden liike-energia absorboituu kudokseen paikallisesti. Siten kilpirauhaskudokseen sitoutuneen radiojodin beetasäteily tuhoaa tehokkaasti lähikudoksessa olevia syöpäsoluja.

8.3 Potilaalle juotetaan I-131:tä sisältävää nestettä, jonka aktiivisuus on 6,5 GBq. Jodista 20 % sitoutuu jäljelle jääneeseen kilpirauhaskudokseen ja loppuosa leviää ympäri kehoa. Kuinka monta täyttä vuorokautta radioaktiivisen jodin antamisesta pitää odottaa, kunnes potilas voidaan kotiuttaa? **6 p.**

Alkuannoksesta $A_0 = 6,5 \text{ GBq}$ osa $x = 0,2$ sitoutuu kilpirauhaskudokseen, jossa radioaktiivisuus vähenee hajoamislain mukaisesti fysikaalisella puoliintumisaikalla $T_{\text{fys}} = 8,02 \text{ d}$. Muualla kehossa olevan osuuden $1 - x = 0,8$ efektiivinen puoliintumisaika on

$$\frac{1}{T_{\text{ef}}} = \frac{1}{8,02 \text{ d}} + \frac{1}{1 \text{ d}} = 1,1247 \frac{1}{\text{d}} \Rightarrow T_{\text{ef}} = 0,8891 \text{ d.}$$

Jodin radioaktiivisuus sekä kilpirauhasessa että muualla kehossa pienenee hajoamislain

$A = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-(\ln 2)t/T_{1/2}}$ mukaisesti. Potilaan kehon radioaktiivisuus on siten

$$A = x A_0 e^{-(\ln 2)t/T_{\text{fys}}} + (1 - x) e^{-(\ln 2)t/T_{\text{ef}}}.$$

Potilaan kehon radioaktiivisuus täysinä vuorokausina radiojodin antamisen hetkestä on

$$A(0\text{d}) = 6,50 \text{ GBq}$$

$$A(1\text{d}) = 3,57 \text{ GBq}$$

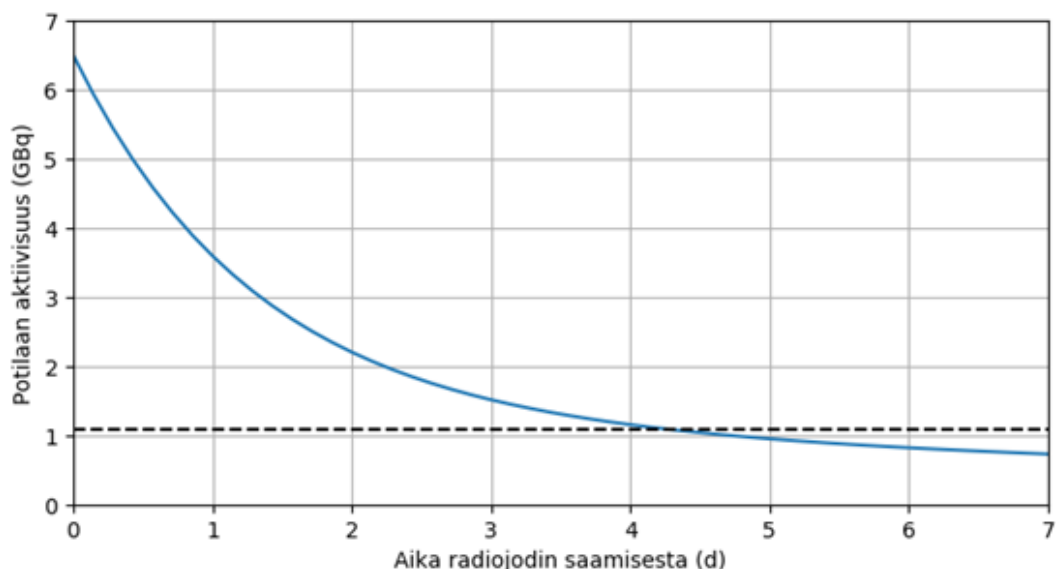
$$A(2\text{d}) = 2,19 \text{ GBq}$$

$$A(3\text{d}) = 1,50 \text{ GBq}$$

$$A(4\text{d}) = 1,15 \text{ GBq}$$

$$A(5\text{d}) = 0,95 \text{ GBq.}$$

Graafinen esitys potilaan kehon radioaktiivisuuden vähenemisestä:



Potilas voidaan kotiuttaa, kun radiojodin antamisesta on kulunut viisi vuorokautta.

Osa 3: 20 pisteen tehtävät

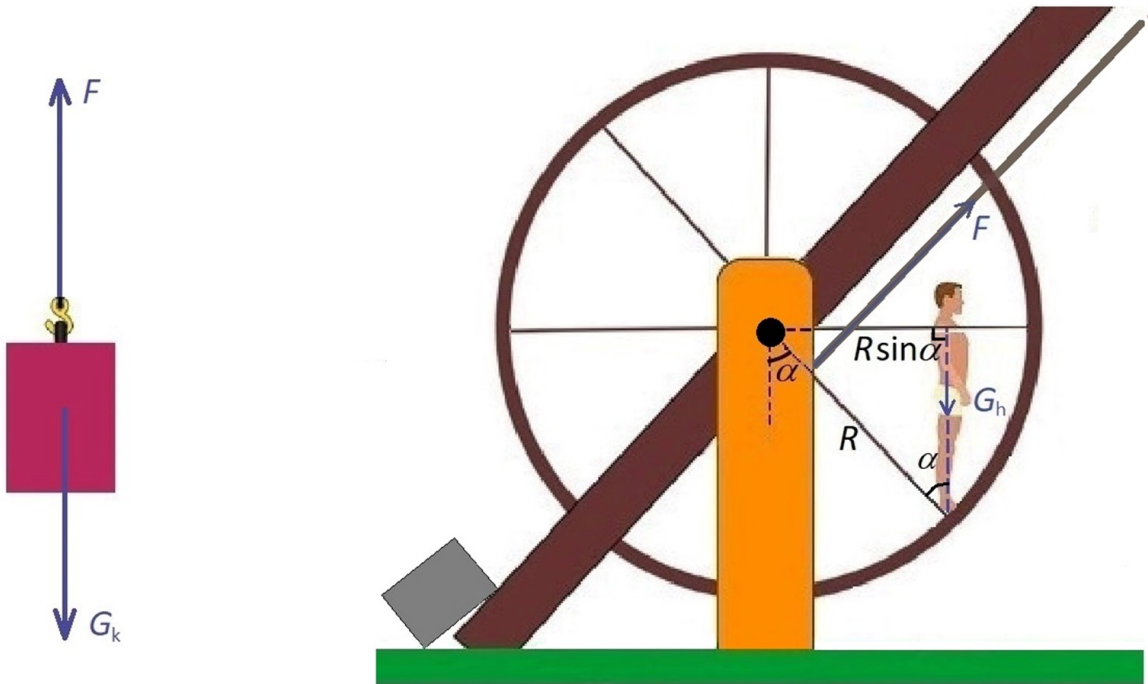
9. Juoksupyöränosturi 20 p.

Antiikin ja keskiajan rakennustyömailla käytettiin laajalti videon 9.A esittämää juoksupyöränosturia. Kun ihminen kävelee juoksupyörän sisällä, kuormaan kiinnitetty köysi kelautuu juoksupyörän akselille asennetun rummun ympärille ja kuorma nousee. Kuvassa 9.B hahmotetaan juoksupyöränosturin rakennetta sivulta ja edestä nähtynä. Kuvassa nosturia on yksinkertaistettu, ja siinä esitetään vain nosturin toimintaperiaatteen ymmärtämisen kannalta olennaiset osat.

Juoksupyörän halkaisija on 4,0 m ja rummun halkaisija on 0,34 m. Kuorman massa on 420 kg ja henkilön massa on 81 kg. Laitteistossa esiintyvää kitkaa ei oteta huomioon.

9.1 Selitä sopivan kuvion avulla, mitkä voimat aiheuttavat momentin rummun ja juoksupyörän yhteisen akselin suhteen. Mihin kohtaan juoksupyörällä ihmisen on asetettava seisomaan, jotta kuorma alkaisi nousta? Anna vastauksesi pystysuunnan ja ihmisen jalkaterien kautta kulkevan juoksupyörän säteen välisen kulman α avulla. 12 p.

Nosturin juoksupyörän ja rummun säteet ovat vastaavasti $R = 2,0$ m ja $r = 0,17$ m, kuorman massa $m_k = 420$ kg ja henkilön massa $m_h = 81$ kg. Putoamiskiihtyvyyden $g = 9,81$ m/s², kuorman painovoima $G_k = m_k g = 4120$ N ja ihmisen painovoima $G_h = m_h g = 794,6$ N.



Oheisissa kuvissa F on köyden jännitysvoima. Kun kuorma on lähtemäisillään liikkeelle, alustan kuormaan kohdistama tukivoima on pienentynyt nollaan ja köysivoima tasapainottaa kuorman painovoiman vasemmanpuoleisen kuvan mukaisesti. Valitaan positiivinen suunta ylöspäin, jolloin voimaehto saadaan muotoon $F - G_k = 0$. Siis $F = G_k = 4120$ N.

Tarkastellaan sitten juoksupyörän, ihmisen ja rummun yhdistelmää ja valitaan oikeanpuoleisessa kuvassa kiertosuunta myötäpäivään positiiviseksi. Yhdistelmään vaikuttavat ihmisen painovoiman momentti $G_h R \sin \alpha$ ja rumpuun kohdistuvan köysivoiman momentti $-Fr$. Ne tasapainottavat toisensa, joten momenttiehto on $G_h R \sin \alpha - Fr = 0$.

Siten $\sin \alpha = Fr / G_h R = 0,4407$, joten $\alpha = 26,15^\circ$. Kuorma siis alkaa nousta, kun $\alpha > 26^\circ$.

- Kuormaan vaikuttavien voimien tunnistaminen ja kuorman tasapainoehto 4 p.
- Momenttien tunnistaminen ja momenttiehto 6 p.
- Tulos 2 p.

9.2 Kun ihminen alkaa kävellä, juoksupyörä pyörii tasaisesti 2,0 kierrosta minuutissa. Määritä kuorman nopeus ja nosturin teho. **4 p.**

Juoksupyörän ja rummun pyörimisnopeus on $n = 2,0$ 1/min ja vastaava kulmanopeus $\omega = 2\pi n = 0,20941$ 1/s. Kuorman nopeus on yhtä suuri kuin rummulle kelautuvan köyden nopeus, joka puolestaan on yhtä suuri kuin rummun kehäpisteen nopeus. Siis $v = \omega r = 35,60$ mm/s ≈ 36 mm/s.

- Tulos 2 p.

Nosturin teho voidaan määrittää kuormaan vaikuttavan köysivoiman tehona. Koska kuormalla ei ole kiihtyvyyttä, kohdan 9.1 voimaehto pätee nytkin. Kysytty teho on $P = Fv = G_k v = 146,7$ W ≈ 150 W.

- Tulos 2 p.

9.3 Antiikin Roomassa juoksupyöränostureilla nostettiin ihmisvoimin useiden tonnin kuormia esimerkiksi Colosseumia ja Pantheonin rakennettaessa. Millä eri tavoilla kuvan 9.B esittämää nosturia voidaan kehittää, jotta sillä olisi mahdollista nostaa raskaampia kappaleita? **4 p.**

Riittävän leveään juoksupyörään mahtuu useampi ihminen kävelemään rinnakkain. Laitteiston välityssuhde saadaan suuremmaksi kasvattamalla juoksupyörän ja rummun halkaisijoiden suhdetta tai väkipyörien lukumäärää.

- Kaksi järkevää parannusehdotusta 4 p.

10. Sukellus 20 p.

Lue teksti 10.A sukellustaulukkojen hyödyistä ja vastaa osatehtäviin 10.1–10.4.

10.1 Määritä sukeltajan kehoon vaikuttava paine 65 metrin syvyydessä, jos ilmanpaine meren pinnan tasolla on 101,3 kPa. **3 p.**

Sukeltajan kehoon vaikuttava paine on hydrostaattisen paineen ja ilmanpaineen summa:

$$p = p_h + p_0 = \rho gh + p_0$$

jossa $\rho = 1,0 \cdot 10^3$ kg/m³ on veden tiheys, $g = 9,81$ m/s² on putoamiskiihtyvyyden kiihtyvyyden käänteinen, h on syvyys veden alla ja $p_0 = 101,3$ kPa on veden pinnalla vaikuttava ilmanpaine.

Kokonaispaine 65 metrin syvyydessä on

$$p = \rho gh + p_0 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 65 \text{ m} + 101,3 \text{ kPa} = 738,950 \text{ kPa} \approx 740 \text{ kPa}.$$

10.2 Erittäin pitkäkestoisessa sukelluksessa 65 metrin syvyydessä sukeltaja on hengittänyt paineistettua tavallista ilmaa, jossa on 78 % typpeä. Sukeltaja nousee liian äkillisesti pintaan, eikä yhtään ylimääräistä typpeä ehdi poistua sukeltajan kehosta. Määritä sukeltajan vereen ylimääräisestä tyypestä aiheutuneiden kuplien kokonaistilavuus millilitroissa. Sukeltajan veren tilavuus ja lämpötila ovat 5,0 litraa ja 37 °C. Ilmanpaine meren pinnan tasolla on 101,3 kPa. Henryn lain mukainen verrannollisuuskerroin tyypeille on 6,0 μmol/(m³ · Pa). **7 p.**

Veressä liuenneen typen konsentraatio on Henryn lain mukaan suoraan verrannollinen typen osapaineeseen, eli $c = H_s p_{N_2}$, jossa $H_s = 6,0$ μmol/m³ · Pa on verrannollisuuskerroin ja $p_{N_2} = 0,78 \cdot p$ on typen osapaine tietyllä paineella p . Ainemäärä saadaan kertomalla konsentraatio liuoksen tilavuudella, $n = cV$, jolloin vereen liuenneen typen ainemäärä 65 metrin syvyydessä on

$$n_1 = H_s p_{N_2} V_0 = 0,78 \cdot (p_h + p_0) V_0,$$

jossa $V_0 = 5,0$ l = 0,005 m³ on veren tilavuus, p_h on hydrostaattinen paine ja $p_0 = 101,3$ kPa on ilmanpaine meren pinnan tasolla.

Pinnan tasolla vereen liuenneen typen ainemäärä on

$$n_2 = H_s p_{N_2} V_0 = H_s \cdot 0,78 \cdot p_0 V_0,$$

jolloin ylimääräisen typen ainemäärä on

$$n = n_1 - n_2 = H_s \cdot 0,78 \cdot (p_h + p_0 - p_0) V_0 = H_s \cdot 0,78 \cdot p_h V_0.$$

(3 p.)

Typpi on inertti kaasu ja käyttäytyy riittävän pienissä paineissa ideaalikaasun tavoin, jolloin ylimääräisen typen tilavuus voidaan ratkaista käyttäen ideaalikaasun tilanyhtälöä, $pV = nRT$.

(2 p.)

Ylimääräisen typen tilavuus on

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1}{p_0} H_s \cdot 0,78 \cdot p_h V_0 RT,$$

jossa $R = 8,314510 \text{ Pa m}^3 / \text{mol} \cdot \text{K}$ ja $T = 37^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} + 37^\circ\text{C} = 310,15 \text{ K}$ on lämpötila.

Koska hydrostaattinen paine on $p_h = \rho gh$, jossa $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ on veden tiheys, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ on putoamiskiihtyvyyys ja $h = 65 \text{ m}$ on syvyys veden alla, saadaan

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{p_0} H_s \cdot 0,78 \cdot \rho gh V_0 RT \\ &= \frac{1}{101300 \text{ Pa}} \cdot 6,0 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \text{ Pa}} \cdot 0,78 \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 65 \text{ m} \cdot 0,005 \text{ m}^3 \\ &\quad \cdot 8,314510 \frac{\text{Pa m}^3}{\text{mol K}} \cdot 310,15 \text{ K} = 0,00037984 \text{ m}^3 \approx 380 \text{ ml} \end{aligned}$$

eli veressä syntyneiden typpikuplien kokonaistilavuus on noin 380 ml.

(2 p.)

10.3 Määritä taulukon 10.B ja jonkin graafiseen esitykseen tehdyn sovituksen avulla enimmäisaika, jonka sukeltaja voi viipyä 10 metrin syvyydessä ilman että hänen on tarpeen tehdä erillistä dekompressiopysähdystä nousun aikana.

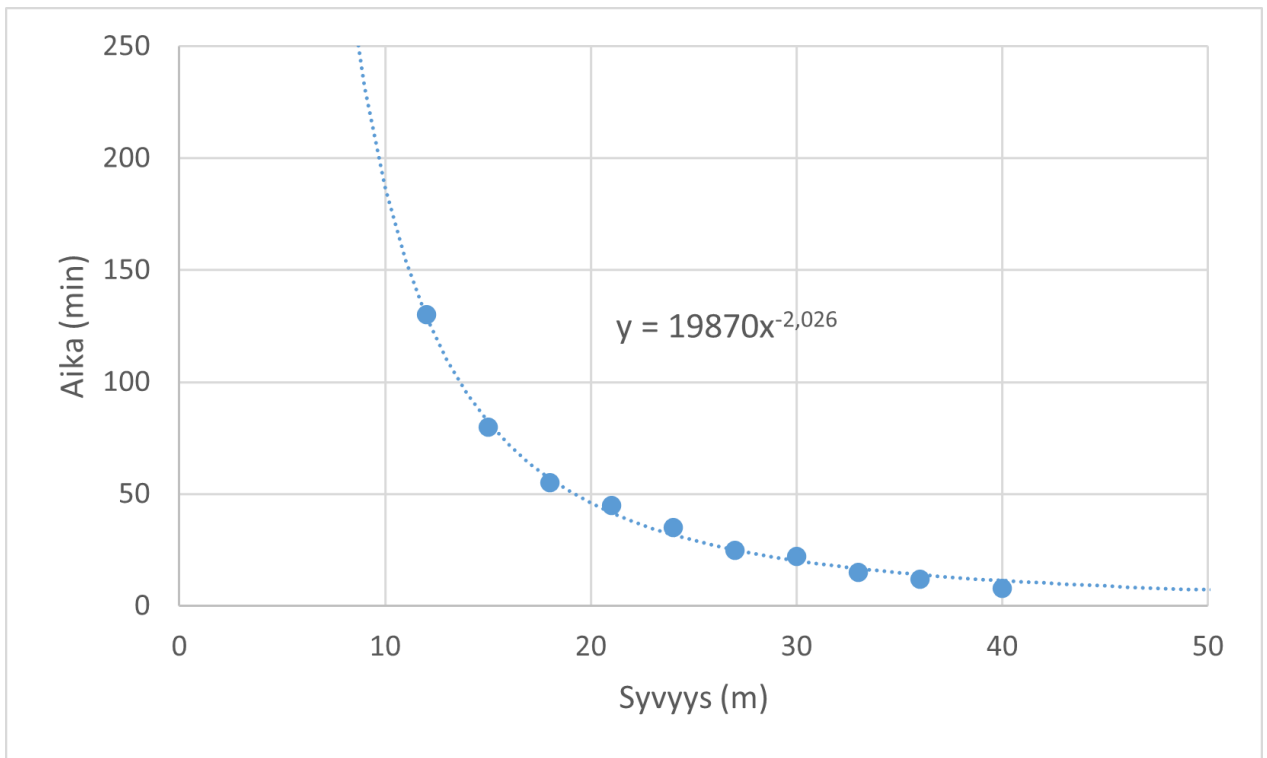
4 p.

Taulukon 10.B mittausdataan voi sovittaa potenssifunktion syvyys-aika-koordinaatistossa.

(2 p.)

Enimmäisajan eri syvyyksillä pystyy sitten määrittämään joko ekstrapolaatiolla tai käyttämällä sovituksen yhtälöä:

$$f(10) = 19870 \cdot 10^{-2,026} \text{ min} = 187,154 \approx 190 \text{ min}.$$



Syvyydellä 10 m sukelluksen enimmäisaika on 190 min.

(Sovitteesta ja laskinohjelmasta riippuen lopputulokset välillä 160 min ... 210 min hyväksytään.)

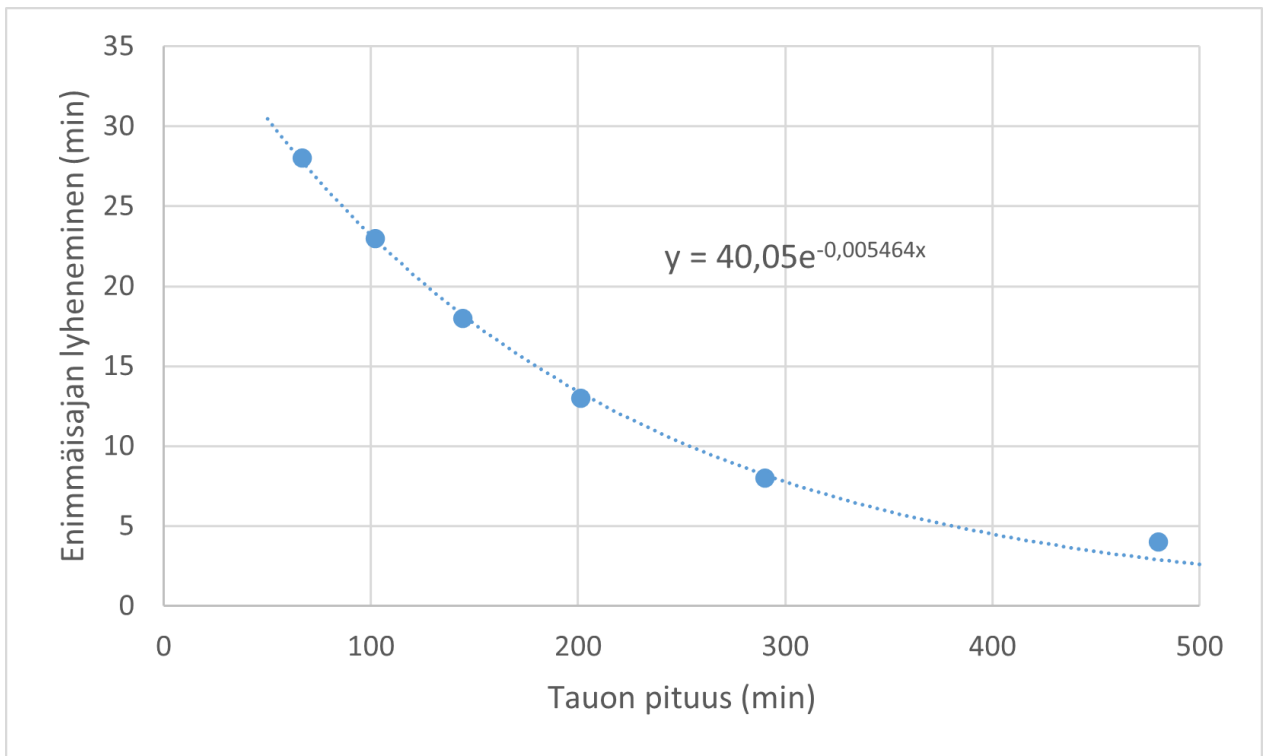
(2 p.)

10.4 Määritä taulukon 10.C ja graafiseen esitykseen tehdyn sovituksen avulla ihmiskehon ylimääräisen typen puoliintumisaika eli aika, jossa puolet ylimääräisestä typestä on poistunut sukeltajan kehosta. **6 p.**

Taulukko 10.C esittää uusintasukelluksen enimmäiskeston sukelluksien välisen taukoajan funktiona. Uusintasukelluksen kesto voi olla pidempi pidemmän tauon jälkeen, koska suurempi määrä typpeä on silloin ehtinyt poistua kehosta.

Nopeus, jolla ensimmäisen sukelluksen aikana vereen liennut ylimääräinen typpi poistuu kehosta, pystytään arvioimaan vertailemalla, kuinka paljon uusintasukelluksen enimmäisaika lyhenee eripituisten taukojen ansiosta. Lyheneminen voidaan laskea alkuperäisen enimmäisajan, $t_a = 35$ min, ja uusintasukelluksen enimmäiskeston, t_u , erotuksena: $t = t_a - t_u$.

(2 p.)



Taulukkolaskennan avulla voidaan laskea enimmäisajan lyheneminen jokaiselle uusintasukelluksen enimmäiskestolle, jonka jälkeen lyheneminen voidaan piirtää kuvaajaan tauon pituuden funktiona.

Lyheneminen, ja siten myös ylimääräisen tyypin määrän väheneminen, on eksponentiaalista, joten sovittamalla eksponenttifunktio pistejoukkoon voidaan arvioida ylimääräisen tyypin puoliintumisaika.

Sovituksen yhtälö on samaa muotoa kuin yleinen hajoamislaki, $N = N_0 e^{-\lambda t}$, josta puoliintumisaika voidaan laskea hajoamisvakion avulla:

(2 p.)

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{0,005464 \frac{1}{\text{min}}} = 126,857 \text{ min} \approx 130 \text{ min},$$

eli ylimääräisen tyypin puoliintumisaika on noin 130 min.

(2 p.)

(Puoliintumisaika voidaan myös arvioida graafisesti suoraan kuvaajasta. Sovitteesta ja laskinohjelmasta riippuen lopputulokset välillä 100 min ... 150 min hyväksytään.)

11. Kylmälaukku 20 p.

Tavalliseen vaihtojännitteeseen (~ 230 V) kytkettäviä laitteita voidaan käyttää autossa vaihtosuuntajan eli invertterin avulla. Invertteri tuottaa auton akun 12 V:n tasajännitteestä vaihtojännitettä.

11.1 Invertteriin kytketty kylmälaukku jää toimimaan pienellä teholla pysäköinnin jälkeen. Kuinka kauan kestää, että auton akun varaustila laskee täydestä 20 %:iin, kun kylmälaukku toimii jatkuvasti keskimääräisellä 35 watin teholla? Invertterin hyötysuhde on 87 %, ja auton akun kapasiteetti on 60 Ah. **4 p.**

Auton akun jännite on 12 V, joten akun kapasiteetti wattitunneissa ilmoitettuna on

$E = It \cdot U = 60 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ V} = 720 \text{ Wh}$. Akun ja invertterin tehonkulutus on yhteensä $P = P_0 / \eta = 35 \text{ W} / 0,87 = 40,2 \text{ W}$.

Auton varaustila laskee 20 %:iin ajassa $t = (0,8 \cdot E) / P = 14,32 \text{ h} \approx 14 \text{ h}$.

11.2 Invertteriltä täydellä teholla toimivalle kylmälaukulle menevän sähkövirran suuruus ja jännite mitattiin (aineisto 11.A). Määritä kylmälaukun keskimääräinen tehonkulutus. **10 p.**

Tehtävä voidaan ratkaista usealla eri tavalla. Alla olevassa taulukossa on kuvattu pääpiirteissään neljän toisistaan eroavan ratkaisutavan vaiheet ja niistä annettavat pisteet.

Keskimääräiseksi tehoksi saadaan noin 75 W.

Menetelmä	Kuvaaja + keskiarvo	Kuvaaja + graafinen integrointi	Taulukkolaskenta, keskiarvo tai pulssisuhde	Taulukkolaskenta, I^2R	Pisteet
Vaihe 1	Hetkellisen tehon määrittäminen perusteluineen kertomalla taulukon sarakkeet keskenään	Hetkellisen tehon määrittäminen perusteluineen kertomalla taulukon sarakkeet keskenään	Hetkellisen tehon määrittäminen perusteluineen kertomalla taulukon sarakkeet keskenään	Resistanssin määrittäminen perusteluineen ja suureen I^2 laskeminen	4
Vaihe 2	Oikean mittaisen välin valinta kuvaajalta arvojen määrittämistä varten	Oikean mittaisen välin valinta kuvaajalta arvojen määrittämistä varten	Oikean mittaisen välin valinta taulukosta TAI Oikean pulssisuhteen määrittäminen	Oikean mittaisen välin valinta taulukosta arvojen määrittämistä varten	2
Vaihe 3	Keskiarvon määrittäminen perusteluineen	Graafinen integrointi ja oikealla aikavälillä jakaminen	Keskiarvon laskenta perusteluineen TAI Lasku pulssisuhteen avulla	Keskiarvon laskenta neliöidyistä arvoista perusteluineen	2
Vaihe 4	Lopputulokset	Lopputulokset	Lopputulokset	Lopputulokset	2

11.3 Edullisten sähköisten kylmälaukkujen toiminta perustuu tyypillisesti Peltier-elementtiin. Tietoja laitteesta on annettu aineistoissa 11.B ja 11.C. Päätele aineistojen perusteella, mitkä tekijät heikentävät Peltier-elementillä toimivien kylmälaukkujen viilennystehoä. **6 p.**

Sähkövirran kasvaessa hukkalämmöntuotto kasvaa nopeammin kuin viilennysteho. Elementissä lämpötilaerot pääsevät tasoittumaan melko helposti, sillä kuuma ja kylmä puoli ovat hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi kuuman ja kylmän puolen välissä on hyvin lämpöä johtavaa ainetta (kun taas ulkopinnoilla aine on heikommin lämpöä johtavaa).