



ÜLESANNETE VIHIK: VANEM RÜHM

Sissejuhatus

Oluline

Eesti loodusteaduste olümpiaadi piirkonnavoore tuleb lahendada kaks suurt ülesannet, millel on hulk alamülesandeid.

Enne lahendamata asumist soovitame Sul kogu tööga lühidalt tutvuda, et saaksid oma tegevusi mõistlikult kavandada. Ülesannete lahendamise järjekord ei ole oluline. Püüa vastused vormistada võimalikult selgelt ja korrektset. Valikvastuste puhul jälgi, et Su valikud oleksid märgitud arusaadavalt!

- Ülesannete lahendamiseks ei tohi kasutada kõrvalist abi.
- Käesolev ülesannete vihik antakse kätte trükitult.
- Ülesannete vihik on ainult ülesannete tekstide lugemiseks, vastused tuleb kirjutada **vastuste vihikusse**. Ülesannete vihikut hindajatele ei edastata.
- Ülesannete vihiku lõppu on lisatud **perioodilisustabel (Lisa 1)** ja **moolarvutuste valemid (Lisa 2)**!
- Vastused tuleb kirjutada pasta- või tindipliiatsiga.
- Ülesannete vihik antakse võistlejale kätte võistluse algushetkel ja võistluse algusaeg hakkab sellest pihta.
- Arvutusülesannetes esita kindlasti ka lahenduskäik (kirjuta vastuste vihikus olemasse kasti), muidu Sinu vastust ei arvestata!
- Arvulised vastused eeldavad ühikuid!
- Valikvastuselist ülesannete hindamisel arvestame õigete ja valede valikute osakaalu.

Ülesannete lahendamiseks on aega neli tundi, mis algab ülesannete vihiku võistlejale edastamisest ja lõpeb vastuste vihiku ära korjamisega.

Pärast piirkonnavoore lõppu saad tutvuda **õigete lahendustega** ja anda piirkonnavoore kohta **tagasisidet** veebilehel <https://teaduskool.ut.ee/et/olumpiaadisusteem/loodusteadused!>



1. MAAILMAMERE SÜSINIKURINGE (76,5 p)

Maa kliima soojeneb atmosfääri paisatavate nn kasvuhoonegaaside, eriti süsihappegaasi (CO₂) tõttu. Et leida sellele probleemile lahendusi, on oluline mõista, kuidas ringleb süsinik looduslikes süsteemides. "Maakera kopsudena" mainitakse sageli troopilisi vihmametsi, mis aga lisanduvat CO₂ atmosfäärist oluliselt eemaldada ei suuda. Hoopis vähem tehakse juttu teisest süsinikuringesse kuuluvast süsteemist – ookeanidest. Need on Maa süsinikuringe äärmiselt oluliseks osaks, hoiustades hinnanguliselt ligi 40 triljonit tonni süsinikku. Ookeanide ja atmosfääri vahel toimub aktiivne süsinikuvahetus. Kuna süsihappegaasi sisaldus atmosfääris on viimase paari sajandiga fossiilkütuste põletamise tõttu suurenenud, lahustub ka ookeanides üha rohkem süsihappegaasi, mis fotosünteesi vahendusel orgaanilisteks aineteks muudetakse. Osa neist ainetest sadestub setetena ookeanipõhja. Maailmameri on seega oluliseks puhvriks kliima soojenemise takistamisel; samas on see aga äärmiselt keeruline ja haavatav süsteem ning teadlased alles uurivad, milline võib olla CO₂ kontsentratsiooni kasvu pikaajaline mõju maailmamere ökosüsteemidele.

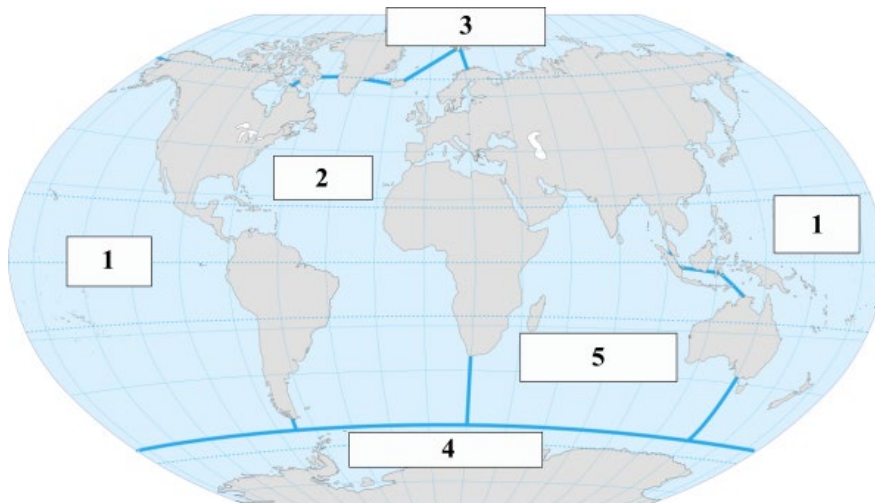
Selles ülesandes uurid Sa CO₂ sidumist ning hoiustamist maailmameres.

1.1. Maailmameri

Maailmameri on jaotatud viieks ookeaniks: Atlandi ookean, Vaikne ookean, India ookean, Põhja-Jäämeri ja Lõuna-Jäämeri. Järgnevalt on toodud viis kirjeldust, millest igaüks vastab ühele ookeanile.

- A. Kõige väiksema pindala ja sügavusega ookean, mis on aastaringselt osaliselt jääga kaetud.
- B. Ookean, mille sisemerete hulka kuulub ka Läänemeri.
- C. Kõige soojema veega ookean.
- D. Maailma kõige suurema pindalaga ookean, kus asub ühtlasi maailmamere kõige sügavam punkt Mariaani süvik.
- E. Ainus ookean, mis piirneb vaid ühe mandriga.

1.1.1. Joonisel 1 on näidatud maailmakaart, kus iga ookean on tähistatud numbriga (1...5). Vii iga ookean vastuste vihiku tabelis kokku õige kirjelduse ning numbriga kaardil. (5 p)



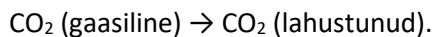
Joonis 1. Maailma ookeanid



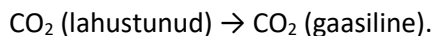
1.2. CO₂ lahustumine merevees

Esmalt uurime, kuidas jõuab süsihappegaas atmosfäärist ookeani.

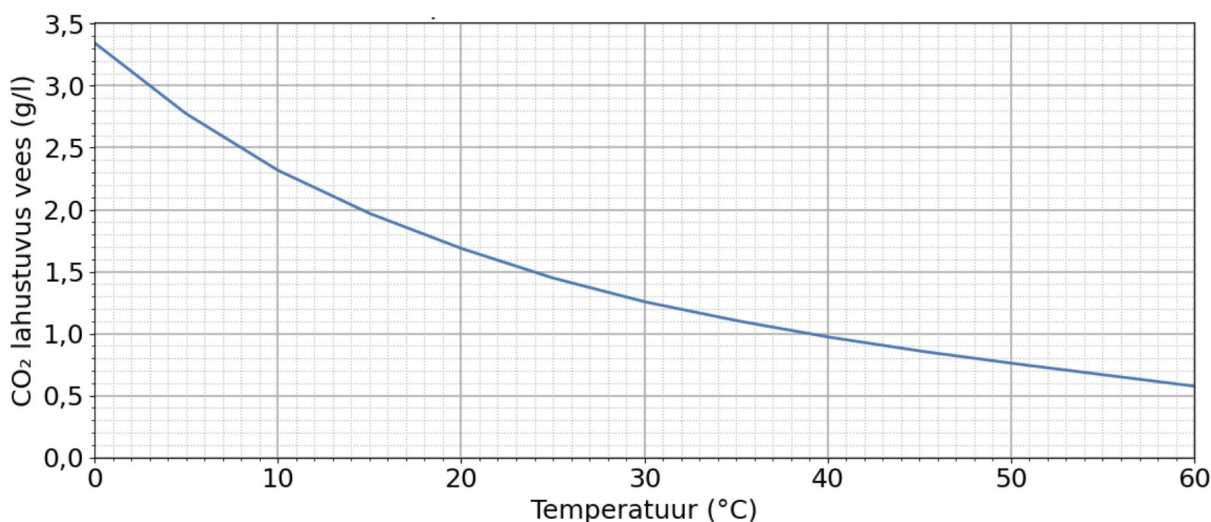
Atmosfääri ja ookeani pinnakihtide vahel toimub pidev gaasivahetus. Kui süsihappegaasi kontsentratsioon atmosfääris on kõrge võrreldes süsihappegaasi kontsentratsiooniga merevees, lahustub CO₂ vees:



Kui merevesi on võrreldes atmosfääriga CO₂-st küllastunud, vabaneb CO₂ tagasi atmosfääri:



CO₂ lahustuvus ookeanivees sõltub mitmest tegurist: temperatuurist, rõhust ning teistest vees lahustunud ainetest. **Joonisel 2** toodud graafik kirjeldab CO₂ lahustuvuse sõltuvust vee temperatuurist (puhta vee korral, atmosfäärirõhul).



Joonis 2. CO₂ vees lahustuvuse sõltuvus temperatuurist

1.2.1. Mida saab eeltoodud graafiku põhjal järeldada? Märki vastuste vihikus, kas väide on tõene või väär, lisades väite tähe järel + või –. (2 p)

- | |
|---|
| A. 20 °C juures võib ühes liitris vees lahustuda kuni 1,7 g süsihappegaasi. |
| B. Mida kõrgem on vee temperatuur, seda suurem on CO ₂ lahustuvus vees. |
| C. CO ₂ lahustuvus vees sõltub lineaarselt vee temperatuurist. |
| D. Võttes arvesse ainult CO ₂ lahustuvuse sõltuvust temperatuurist, peaks CO ₂ maailmameres paremini lahustuma suurematel laiuskraadidel. |

1.2.2. CO₂ lahustuvust mõjutab ka vees lahustunud soolade kontsentratsioon. Mida suurem on lahustunud soolade kontsentratsioon, seda väiksem on CO₂ lahustuvus vees.

Milline keemiline ühend põhjustab peamiselt merevee soolsust? Kirjuta vastuste vihikusse selle ühendi keemiline valem ning keemiline nimetus ja tavaelus kasutatav nimetus. (1,5 p)



Kuigi atmosfäärist pärinev süsinik satub vette CO₂ kujul, reageerib lahustunud CO₂ seejärel osaliselt vee molekulidega, moodustades süsihappe (H₂CO₃). See dissotsieerub ehk jaguneb vesinikiooniks ning vesinikkarbonaatiooniks; viimane võib omakorda jaguneda vesinikiooniks ning karbonaatiooniks.

1.2.3. Kirjuta vastuste vihikusse tasakaalustatud keemilised võrrandid, kirjeldamaks:

1) süsihappe moodustumist süsihappegaasist;

2) vesinikkarbonaatiooni moodustumist süsihapest. (3 p)

1.3. Bioloogiline süsinikupump ja fotosüntees

Kui süsihappegaas on ookeanis lahustunud, võib see osaleda erinevates protsessides. Nn ookeanide süsinikupump (süsiniku ringlemise süsteem) koosneb üldistatult **bioloogilisest** ning **füüsikalisest** süsinikuringest. Uurime, kuidas kumbki süsteem atmosfäärist süsinikku eemaldab.

Bioloogiline süsinikupump põhineb maailmameres elavate organismide võimel toota atmosfäärist pärinevast süsihappegaasist orgaanilist ainet. Tekkinud orgaaniline aine liigub läbi ookeani toiduvõrgustike ning sellest vabaneb rakuhingamise või lagunemisprotsesside käigus kas taas süsinikdioksiid või transportitakse see surnud organismide ning jääkainetena ookeani sügavamatesse kihtidesse (>500 m). Ookeani süvakihtides võib süsinik sel moel ladestuda väga pikaks ajaks, sadadeks kuni tuhandeteks aastateks.

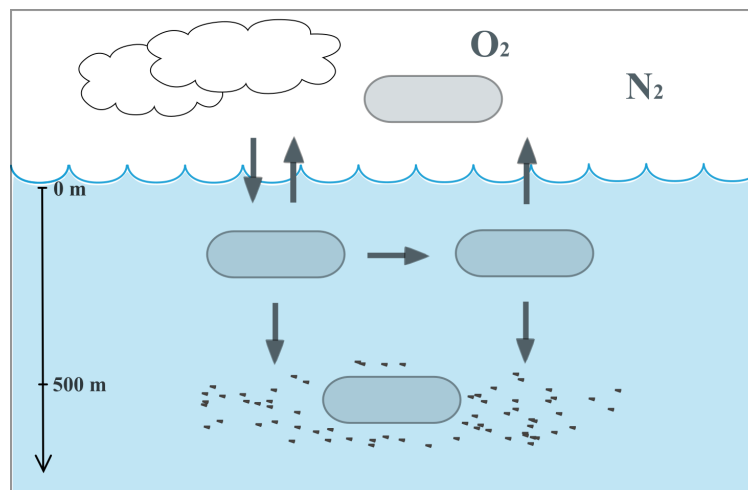
1.3.1. Joonisel 3 on kujutatud ookeani bioloogilise süsinikuringe skeem, kus nooled kirjeldavad süsiniku liikumist süsinikuringe eri lülide vahel. **Lõpeta skeem, märkides vastuste vihiku joonisel igasse kastikesse allolevast loetelust õigele mõistele vastava numbriga. (2 p)**

1. Tootjad

2. CO₂

3. Tarbijad

4. Jääkained



Joonis 3. Bioloogiline süsinikupump

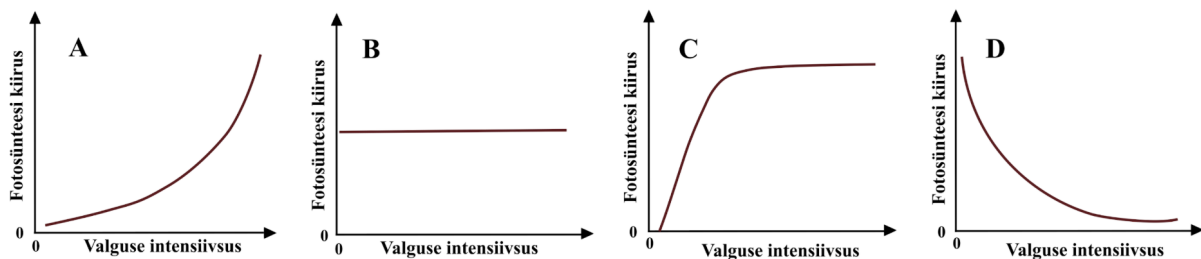
Kõige olulisem looduslik protsess süsihappegaasi eemaldamiseks atmosfäärist on **fotosüntees**. Fotosünteesivad organismid ehk tootjad sisaldavad erilisi pigmente (klorofüllid, karotenoidid jt), mis neelavad päikesekiirgust. Päikeselt saadud energia abil valmistavad tootjad atmosfääris leiduvat süsihappegaasi lähteainena kasutades endale vajalikke toitaineid. Fotosünteesi käigus reageerib süsihappegaas veega, moodustades glükoosi (C₆H₁₂O₆) ning hapniku (O₂). Glükoosi kasutavad tootjad energia salvestamiseks ning enda kudede ning elundite ehitamiseks.



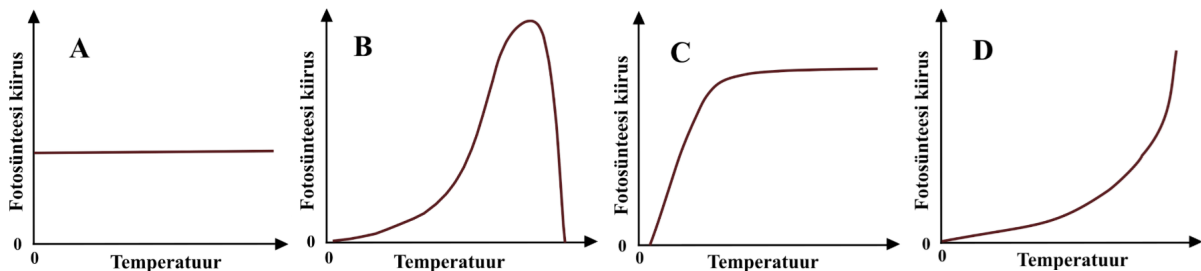
1.3.2. Kirjuta vastuste vihikusse fotosünteesi tasakaalustatud reaktsioonivõrrand. Näita võrrandis ära ka reaktsiooni toimumiseks vajalik lisaenergia. (3,5 p)

Fotosünteesi reaktsiooni aitavad rakkudes läbi viia erilised molekulid – ensüümid, mis võimaldavad teisi molekule lõhustada või kokku liita, moodustades uusi keemilisi ühendeid. Seega sõltub fotosünteesi kiirus lisaks reaktsiooni lähteainete ning päikesekiirguse kättesaadavusele ka ensüümidest. Ensüümimolekule on rakus piiratud arv ning igaüks neist saab korraga tegeleda vaid ühe või väheste teiste molekulide liitmisega või lõhustamisega. Ensüümide tõhusus sõltub ka temperatuurist: igal ensüümil on sobiv (optimaalne) temperatuurivahemik, mille juures toimub selle ensüümi abil läbiviidav reaktsioon kõige kiiremini.

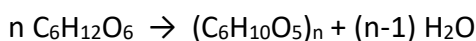
1.3.3. Otsusta, milline graafik näitab õigesti fotosünteesireaktsiooni kiiruse sõltuvust päikese valguskiirguse intensiivsusest, ning tõmba vastuste vihikus selle tähisele (A–D) ring ümber. (1 p)



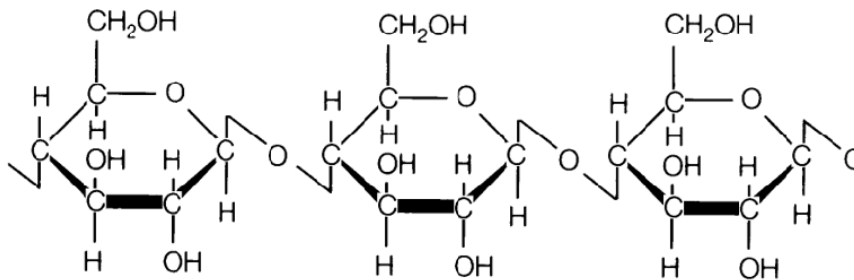
1.3.4. Otsusta, milline graafik näitab õigesti fotosünteesi reaktsiooni kiiruse sõltuvust temperatuurist, ning tõmba vastuste vihikus selle tähisele (A–D) ring ümber. (1 p)



Fotosünteesis toodetud glükoos muudetakse omakorda keerulisemateks ühenditeks, sealhulgas erinevateks **polümeerideks**. Need on ained, mille suured molekulid koosnevad paljudest ühesugustest lülidest (valemis näitab lülide arvu indeks n). Taimede rakukestade tähtsaim koostisosa **tselluloos** on pikki kiude moodustav polümeer, mille struktuur tekib glükoosimolekulide omavahelisel liitumisel vastava ensüümi abil:



Tselluloosi struktuurivalem on näidatud **joonisel 4**.



Joonis 4. Tselluloosi struktuurivalem

1.3.5. Tuvasta jooniselt tselluloosi molekulis korduv lüli ning tõmba sellele vastuste vihikus ring ümber. (1 p)

Kuigi fotosünteesis seovad tootjad süsihappegaasi, toimub elutegevuse käigus pidevalt ka süsihappegaasi vabanemine. Kõik organismid peavad energia saamiseks hingama. Raku hingamise käigus lagundatakse rakkudes leiduv glükoos hapniku abil taas süsihappegaasiks ja veeks.

1.3.6. Kuidas erineb raku hingamise keemiline võrrand fotosünteesi võrrandist? (1 p)

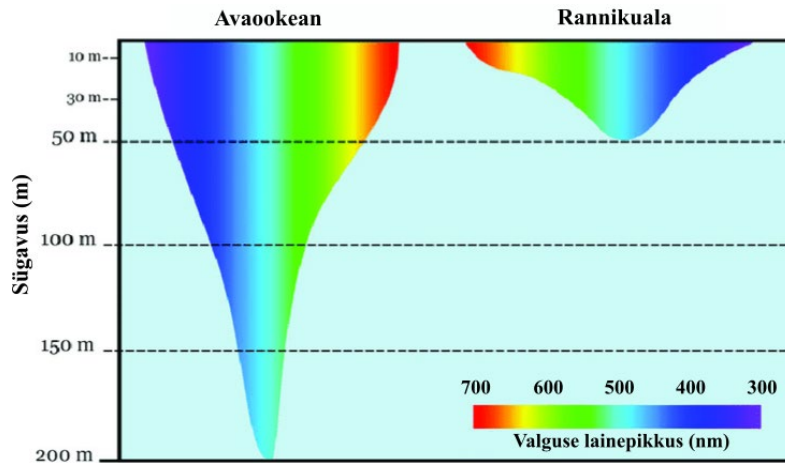
1.3.7. Maailmameres leidub arvukalt erinevaid fotosünteesivaid organisme, kes on omakorda toiduks teistele mereelanikele. Koosta vastuste vihikus neljast lülist koosnev toiduahel, mis algab mõne ookeanis elava tootjaga. (2 p)

1.4. Ookeani fotosünteesijad ja nende pigmendid

Võrreldes maismaataimedega mõjutab veekeskkond oluliselt päikesekiirguse kättesaadavust. Merevesi neelab päikesekiirgust, mistõttu saavad fotosünteesivad organismid elada vaid madalas vees. Maailmamere sügavusvööndit, kus saab toimuda fotosüntees, nimetatakse ookeani valgusvööndiks.

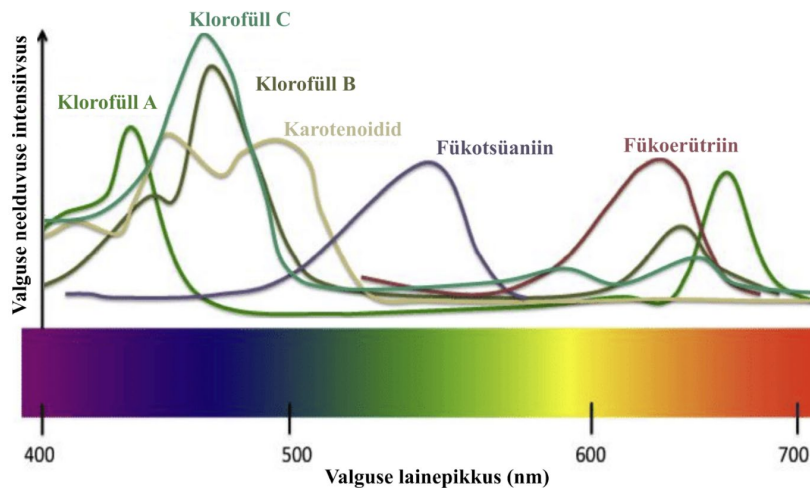
1.4.1. Nimeta veel üks füüsikaline nähtus lisaks neeldumisele, mille tõttu ei jõua kogu veepinnale langev päikesekiirgus vees elavate fotosünteesivate organismideni. (1 p)

Valguse neeldumine merevees sõltub valguse **lainepikkusest**. Päikesekiirgus koosneb erineva lainepikkusega kiirgusest: nähtava valguse lainepikkustele (380–720 nm) vastavaid värve kirjeldab päikesekiirguse spekter (näidatud **jooniste 5 ja 6** alumises osas). Erineva lainepikkusega ehk erinevat värvi valgus neeldub vees erineval määral ning jõuab seega ookeanis erinevale sügavusele. **Joonisel 5** on näidatud, kui sügavale jõuab kindla lainepikkusega (värvusega) valgus tüüpilises avaookeanis ning rannikupiirkonnas. Kui avaookeanis võib valgusvöönd küündida 200 m sügavusele, siis rannikumeres, kus vees on rohkem toitainet ja elustikku, on valgusvöönd kitsam, sest vees hõljuvad osakesed (näiteks setted ning mikroorganismid) neelavad ja hajutavad valgust, takistades selle jõudmist sügavamatesse veekihtidesse.



Joonis 5. Valguse levik ookeani sügavusse rannikul ja avaookeanis sõltuvalt lainepikkusest

Fotosünteesivad organismid sisaldavad erilisi pigmente (värvaineid), mis neelavad päikesekiirgust, muutes selle keemiliseks energiaks. Erinevad pigmendid neelavad erinevat värvi valgust — näiteks klorofüllid A, B ja C neelavad sinist ja punast valgust, seega vajavad nende abil fotosünteesivad maismaataimed just päikesekiirguse spektri sinist ja punast osa. Vees elavad fotosünteesijad on aga kohastunud kasutama erineva lainepikkusega valgust, sõltuvalt oma elupaigast. Selleks toodavad nad lisaks klorofüllidele ka teisi pigmente. Joonis 6 kujutab erinevate pigmentide neeldumisspektreid, näidates, kui intensiivselt neeldub neis pigmentides erineva lainepikkusega valgus.



Joonis 6. Mereorganismides leiduvate fotosünteesiks kasutatavate pigmentide neeldumisspektrid

1.4.2. Otsusta iga väite puhul, kas see on tõene või väär, märkides vastuste vihikus selle väite tähe alla + või –. (6 p)

A. Merevesi neelab punast valgust tugevamini kui sinist valgust.

B. Kõige paremini neeldub merevees valgus lainepikkusega 500 nm.

C. Fükooerütriini kasutamine võimaldab tootjatel elada avaookeani valgustsooni sügavaimas osas.

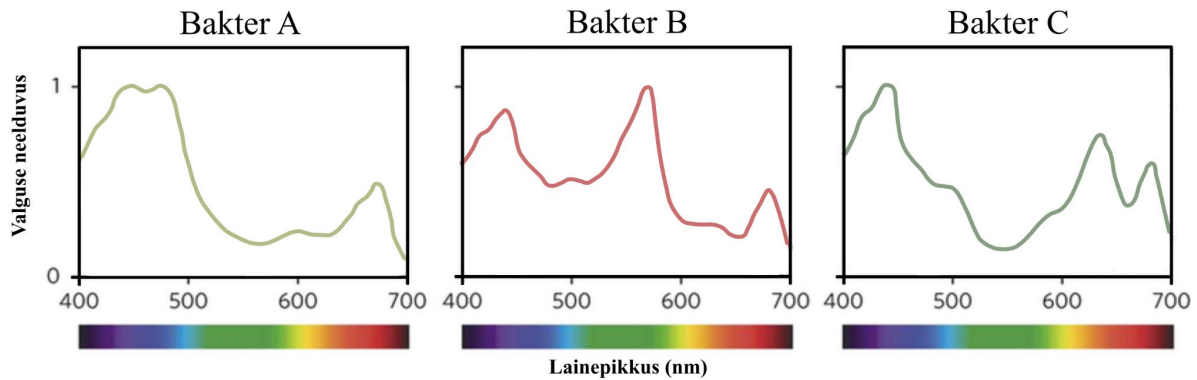
D. Ranniku lähedal neelab merevesi rohkem sinist valgust kui avaookeani vesi, mistõttu pole võimalik rannikuvees klorofüllil fotosünteesiks kasutada.



E. Sukelduja, kes ujub lambita ranniku lähedal 30 m sügavusel, näeb vaid siniseid ja rohelisi toone.

F. 100 m sügavusel elavate liikide jaoks on punane efektiivsemaks varjevärvuseks kui sinine.

Peamine tootja ookeanides on fütoplankton ehk taimhõljum, mis koosneb tillukestest fotosünteesivatest bakteritest, vetikatest jm. **Joonis 7** kujutab kolmele vees elavale fotosünteesivale bakterile omaseid valguse neeldumisspektreid. Iga bakteri neeldumisspektri kuju kirjeldab, millise lainepikkuse juures valgus bakterirakkudes rohkem neeldub. Neeldumisspektri kuju määravad bakterirakus leiduvad pigmendid.

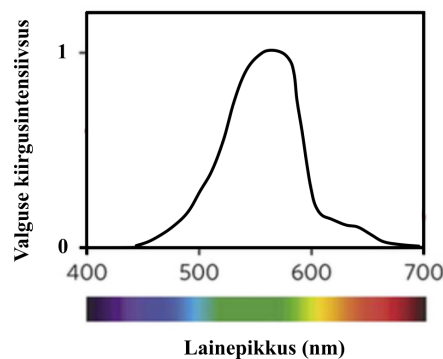


Joonis 7. Kolme fotosünteesiva bakteri neeldumisspektrid

1.4.3. Järgnevas tabelis on loetletud peamised pigmendid, mida iga bakter fotosünteesiks kasutab. **Otsusta, millisele bakterile vastab iga pigmentide loetelu, märkides vastuste vihikus igas reas sobiva lahtri ristikesega. (3 p)**

Pigmentid	Bakter A	Bakter B	Bakter C
Klorofüllid, karotenoidid, fükotsüaniin			
Klorofüllid			
Klorofüllid, karotenoidid, fukoerütriin			

1.4.4. Iga organism on kohastunud kasutama fotosünteesiks oma keskkonnas leiduva lainepikkusega valgust. **Joonisel 8** on kolmest eelmainitud bakterist ühele vastava elupaiga päikesekiirguse spekter.



Joonis 8. Päikesekiirguse spekter küsitava bakteri elupaigas



Milline bakter on kõige paremini kohastunud fotosünteesiks joonisel 8 kirjeldatud elupaigas? Selle ja järgmise ülesande puhul tõmba vastuste vihikus õige variandi numbrile ring ümber. (1 p)

1. Bakter A 2. Bakter B 3. Bakter C

1.4.5. Milline on tõenäoliselt peamine pigment või pigmentide rühm, mida see bakter fotosünteesiks kasutab? (1 p)

1. Klorofüllid 2. Karotenoidid 3. Fükoeütriin 4. Fükotsüaniin

1.5. *Prochlorococcus*

Kõige levinum fotosünteesiv organism ookeanis on väike kerakujuline bakter *Prochlorococcus*. 1 ml merevees võib olla üle 100 000 *Prochlorococcus* raku! Uurime selle bakteri näitel, kuidas panustab fütoplankton CO₂ sidumisse atmosfäärist.

1.5.1. *Prochlorococcus* paljuneb pooldumise teel – ühest bakterirakust saab kindla ajaperioodi järel kaks uut raku. Joonista vastuste vihikusse skeem, kus on kujutatud ühest *Prochlorococcus* rakust alguse saavat rakujagunemist, näidates ära kolme järgmise põlvkonna kõik rakud. (2 p)

1.5.2. Fütoplanktonit moodustavad pisikesed organismid paljunevad kiiresti. *Prochlorococcus* jaguneb keskmiselt iga 24 tunni ehk ühe päeva tagant. *Prochlorococcus* paljunemise uuringus lisati ajahetkel t=0 vette üks äsja tekkinud rakk.

Lõpeta tabel vastuste vihikus. Eelda, et rakujagunemine toimub iga 24 h tagant ning et ükski rakk uuringu käigus ei hukku. (1,5 p)

Aeg (päeva)	0	1	2	3	4	5	6	7
Rakkude arv populatsioonis	1	2						

1.5.3. Joonista graafik, mis kujutab *Prochlorococcus* populatsiooni kasvu ühe nädala jooksul. Selleks kanni vastuste vihikus ette antud ruudustikku igale päevale vastav andmepunkt eelmise ülesande tabelist ning ühenda punktid sujuva joonega. Vali ise sobilik vertikaaltelje skaala. (3 p)

1.5.4. Oma elutegevuse käigus seob iga *Prochlorococcus* rakk süsinikku (C) keskmise kiirusega 2,5 femtogrammi tunnis (fg/h). 1 fg on 10⁻¹⁵ g. Kui palju süsinikku (fg) seob endaga üks *Prochlorococcus* rakk ühe pooldumistsükli jooksul ideaaltingimustes? (1 p)

1.5.5. Kui palju süsihappegaasi (fg) seob endaga üks *Prochlorococcus* rakk ühe pooldumistsükli jooksul? (2 p)

1.5.6. Mitu süsihappegaasi molekuli seob üks *Prochlorococcus* rakk ühe pooldumistsükli jooksul? Vajadusel kasuta viimasel leheküljel lisas toodud valemeid. (2 p)



1.5.7. Hinnanguline *Prochlorococcuse* rakkude aasta keskmine koguarv ookeanides on ühe uuringu andmetel ligikaudu $2,9 \cdot 10^{27}$. **Arvuta, kui palju süsihappegaasi seovad kõigi maailma ookeanide *Prochlorococcuse* populatsioonid ühe aasta jooksul. Vastus esita megatonnides. (2,5 p)**

1.6. Biomassi uppumine

Ookeani pindmises valgustsoonis tekib palju surnud taimede ning loomade jääke, mis sisaldavad atmosfäärist fotosünteesi abil seotud süsinikku. Suurem osa neist jääkidest tarbitakse kiirelt ja lagundatud orgaanilisest ainest vabanenud süsihappegaas satub vette ning tarbitakse uuesti fotosünteesis või liigub tagasi atmosfääri. Väike osa ookeani valgustsoonis tekkinud jääkainetest jõuab aga ka ookeani sügavamatesse kihtidesse (nn “merelumi”), panustades nii süsiniku eemaldamise atmosfäärist. Et ookeani süvakihtidesse püsima jääda, peavad uppuvad jääkainete osakesed jõudma vähemalt 500 m sügavusele (sõltuvalt maailmamere piirkonnast).

Bioosakeste uppumine ookeanis on keeruline protsess, mis sõltub paljudest teguritest. Teadlased alustavad keerukate süsteemide uurimist lihtsustatud mudelitest. Üks viis kirjeldamiseks osakeste langemist vees on Stokes’i seadus. Sellele vastava valemil abil saab välja arvutada kindla raadiuse ja tihedusega kerakujulise osakese langemiskiiruse vedelikus, mille tihedus ja viskoossus (vastupanuvõime voolamisele) on samuti teada:

$$v = \frac{2r^2 g (\rho_{osake} - \rho_{vesi})}{9\mu}, \text{ kus:}$$

v – osakese langemiskiirus;

r – osakese efektiivne raadius;

g – raskuskiirendus, Maal 9,81 N/kg;

ρ_{osake} – osakese tihedus;

ρ_{vesi} – vee tihedus (mereveel keskmiselt 1025 kg/m³);

μ – vedeliku viskoossus (mereveel keskmiselt $1 \cdot 10^{-3}$ Pa · s ehk N · s /m²).

Kasuta järgnevale küsimustele vastamisel Stokes’i seadust.

1.6.1. Ränivetikas diameetriga 100 μm ja tihedusega 1,2 g/cm³ alustab oma teekonda merepinnalt. **Arvuta, kui kaua aega kulub sel ränivetikal Stokes’i seaduse järgi, et jõuda süvaookeani (500 m sügavuseni). Vastus esita päevades. (5 p)**

1.6.2. Märki vastuste vihikus iga loetletud asjaolule vastava tähe juurde, kas see asjaolu soodustab (+) või takistab (–) süsiniku vertikaalset liikumist ookeani pinnakihtidest sügavamasse vette. (4 p)

A. Madalas vees hukkunud vetikate külge kleepub rannikult vette kantud liivateri, mille tihedus ületab vetikate tihedust.

B. Troopilistes sisemeres on rohke aurustumise tõttu soolsus kõrgem kui avaookeanis.

C. Ainuraksed vetikad moodustavad kolooniaid, milles üksikud rakud koonduvad suuremateks kogumiteks.

D. Ookeanivee tihedus suureneb vee sügavuse suurenedes.



Stokes'i seadus on kasulik lihtsustus, mis aitab teadlastel hinnata osakeste liikumise seaduspärasusi. Tegelikkus on aga keerulisem, kui see võrrand võimaldab kirjeldada.

1.6.3. Nimeta kaks tegurit või nähtust, mida Stokes'i võrrand ei arvesta, kuid mis mõjutavad päris ookeanides biomassi transporti süvaookeani. (2 p)

Väike osa ookeanis toodetud orgaanilisest ainest settib lõpuks ookeanipõhja. Ookeanipõhja kuhjunud setetest tekivad pikkamisi settekivimid. Neisse seotud süsinik siseneb Maa kivimiringesse ja võib jääda sel moel hoiustatuks kuni sadadeks miljoniteks aastateks. Paljud iidsete merede põhjas tekkinud settekivimid on tänapäeval meie jaoks olulised loodusvarad; samas on nende kasutuselevõtt aga üheks globaalse soojenemise otseseks põhjustajaks.

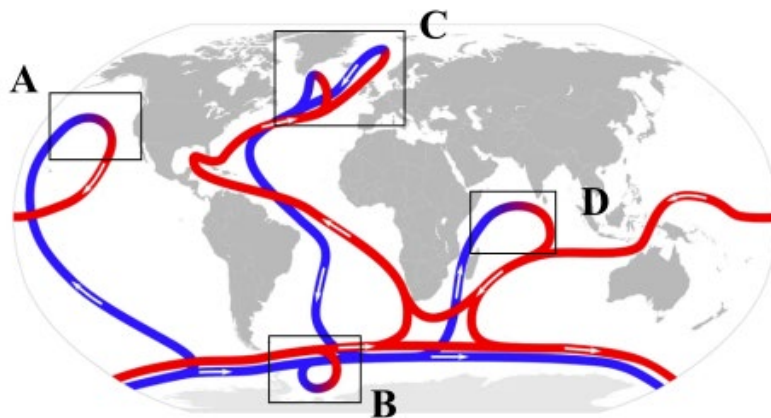
1.6.4. Nimeta kaks peamiselt surnud mereorganismidest tekkinud Eesti settekivimit, mis on meile olulisteks maavaradeks. (2 p)

1.6.5. Milline energiaallikana kasutatav Eesti maavara on peamiseks CO₂ heidete allikaks? (1 p)

1.7. Füüsikaline süsinikupump: "suur ookeanikonveier"

Füüsikaline süsinikupump tähistab ookeanis lahustunud anorgaanilise süsiniku ringlemist ookeani hoovuste abil. Kui süsinikuühenditega rikastunud vesi satub hoovuse kaudu sügavale ookeani ning kaotab vahetu kontakti atmosfääriga, ei saa süsinik enam atmosfääri vabaneda. Sel viisil eemaldatakse süsinik atmosfäärist hetkeni, mil süvavesi taas hoovustega pinnale kerkib.

Maailmamere vesi on tänu hoovustele pidevas ringluses. "Suur ookeanikonveier" ehk **termohaliinne ringlus** on protsess, milles maailmamere veemassid liiguvad suurte hoovustena läbi ookeanide. Need hoovused tekivad veemasside erineva tiheduse tõttu. Maailmamere teatud piirkondades tekivad külmad, suure tihedusega veemassid, mis vajuvad süvaookeani (nn pealisvee sukeldumine); teistes piirkondades kerkivad veemassid taas kõrgemale (nn süvavee kerge). Pealisvee sukeldumise ning süvavee kerke vahepeal läbivad veemassid süvaveehoovustena ookeane.



Joonis 9. Ookeanide termohaliinne ringlus ehk "suur ookeanikonveier"

Joonisel 9 on maailmakaardile kantud ookeanide termohaliinse ringluse skeem. Punasel taustal nooled näitavad pindmiselt liikuvaid veemasse, sinisel taustal nooled sügaval liikuvaid hoovuseid.



1.7.1. Eeltoodud kaardil on tähistatud kõik neli piirkonda, kus toimub kas pealisvee sukeldumine või süvavee kerge (A–D). Otsusta iga piirkonna kohta, kas seal toimub pealisvee sukeldumine või süvavee kerge. Märgi vastuste vihikus sobivad lahtrid ristikesega. (2 p)

Piirkond	Pealisvee sukeldumine	Süvavee kerge
A		
B		
C		
D		

1.7.2. Milline alltoodud variantidest kirjeldab õigesti Põhja-Jäämeres tekkinud sügava veemassi teekonda läbi maailmamere? Tõmba vastuste vihikus õige valiku tähele ring ümber. (1 p)

A. Põhja-Jäämeri → Atlandi ookean → Lõuna-Jäämeri → India ookean → Vaikne ookean → Atlandi ookean → Põhja-Jäämeri

B. Põhja-Jäämeri → Vaikne ookean → India ookean → Atlandi ookean → Põhja-Jäämeri

C. Põhja-Jäämeri → Atlandi ookean → Lõuna-Jäämeri → Atlandi ookean → Põhja-Jäämeri

D. Põhja-Jäämeri → Atlandi ookean → Lõuna-Jäämeri → India ookean → Atlandi ookean → Põhja-Jäämeri

1.7.3. Järgnev tekst kirjeldab sügavate veemasside teket kahes maailmamere piirkonnas – Atlandi ookeani põhjaosas ning Lõuna-Jäämeres. Loe hoolikalt teksti ning jooni vastuste vihikus igast paksus kaldkirjas toodud sõnapaarist alla lausesse sobiv sõna. (4 p)

Termohaliinse ringluse liikumapanevaks jõuks on erinevused ookeani erinevate veemasside tiheduste vahel. Tiheduste erinevused on eelkõige põhjustatud temperatuuride erinevusest, aga ka veemasside erinevast soolsusest (mida mõjutab vee aurumine, aga ka jää teke ning sulamine poolustel) – sellest ka nimetus termohaliinne (kreeka keeles *thermos* - soe, *hális* - sool, soolane).

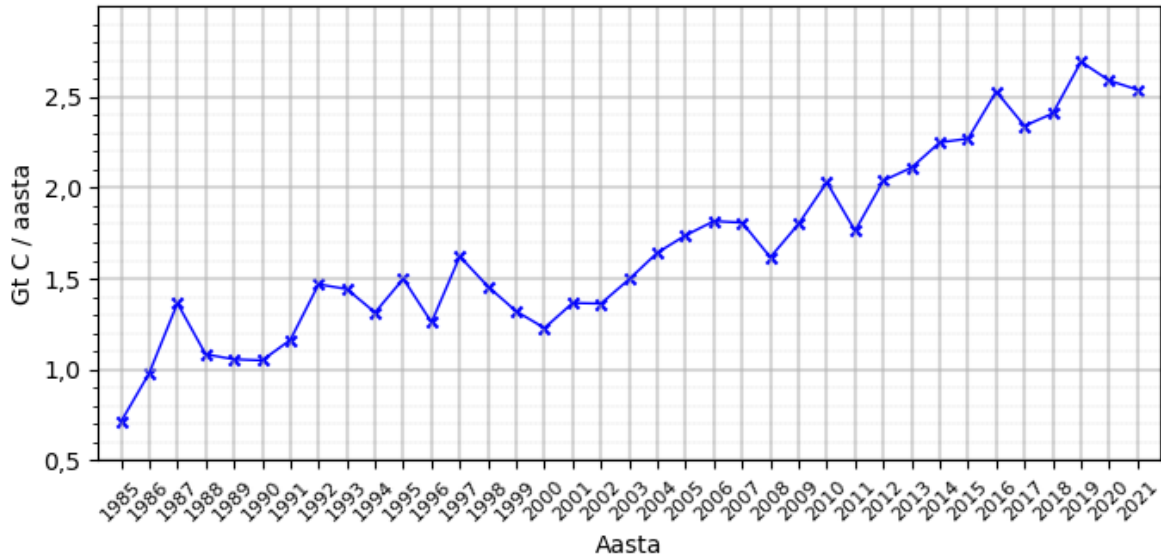
Atlandi ookeanis liiguvad sooja veega pinnahoovused **ekvaatori / polaarjoone** lähedalt **põhjapooluse / lõunapooluse** suunas. Mida lähemale jõuab vesi poolusele, seda **soojem / külmem** on õhk, **soojendades / jahutades** hoovustes liikuvat vett. Polaaralade kuivad tuuled põhjustavad lisaks intensiivset vee aurumist, mis **suurendab / vähendab** vee soolsust. Nende protsesside mõjul pinnavee tihedus **suureneb / väheneb**, põhjustades pinnavee sukeldumise ning uue süvavee tekke Atlandi ookeani põhjaosas.

Lõuna-Jäämeres jahutavad **Arktika / Antarktika** kohalt puhuvad külmad tuuled samuti merevett. Jahtumisel vesi jäätub, kuna merevees lahustunud soolad ei sobitu jää kristallvõresse ning jäävad ümbritsevasse merevette, **suurendades / vähendades** vee soolsust ning tihedust ja luues nii sobivad tingimused süvaveemasside tekkeks.



1.8. Ookeanide roll inimtekkelise CO₂ sidumisel

Joonisel 10 toodud graafik põhineb Euroopa Liidu teadusprogrammi Copernicus andmetel ja näitab hinnangulist ookeanide poolt atmosfäärist eemaldatud CO₂ hulka aastate kaupa ajavahemikus 1985–2021. Kasutatud ühikuks on Gt süsinikku (C) aastas. 1 Gt ehk gigatonn = 10⁹ tonni. Siniste ristikestega on näidatud iga aasta jaoks arvutatud väärtused.



Joonis 10. Aastane maailmameres talletatud süsiniku kogus 1985–2021

Süsihappegaasi sisaldus atmosfääris on fossiilkütuste põletamisest tekkinud heidete tõttu suurenenud ja nii on ka ookeanides lahustunud üha suurem hulk süsihappegaasi.

1.8.1. Märgi vastuste vihiku tabelisse, kui palju süsinikku hoiustasid maailma ookeanid aastatel 1985 ja 2021. (1 p)

1.8.2. Mitu protsenti on kasvanud aastane ookeanide poolt seotud süsiniku hulk aastal 2021 võrreldes aastaga 1985? (1,5 p)

1.8.3. Globaalne inimtekkelise süsihappegaasi heide vahemikus 1985–2021 oli hinnanguliselt 1030 Gt CO₂ ja summaarne ookeanide poolt seotud süsiniku hulk samas vahemikus hinnanguliselt 63 Gt. Mitu protsenti aastatel 1985–2021 inimeste poolt atmosfääri paisatud CO₂ hulgast talletati maailma ookeanides? (3 p)

Kuigi CO₂ lahustumine vees aitab pidurdada kliima soojenemist, võivad sellel olla tõsised tagajärjed maailmamere ökosüsteemidele. Näiteks põhjustab CO₂ kontsentratsiooni tõus **ookeanide hapestumist**, sest süsihappegaas reageerib veega, moodustades süsihappe. Süsihape võib omakorda reageerida kaltsiumkarbonaadiga mereorganismide lubikodades, põhjustades nende hävimist.

1.8.4. Nimeta üks lubikojaga organism, keda ookeanide hapestumine ohustab. (1 p)

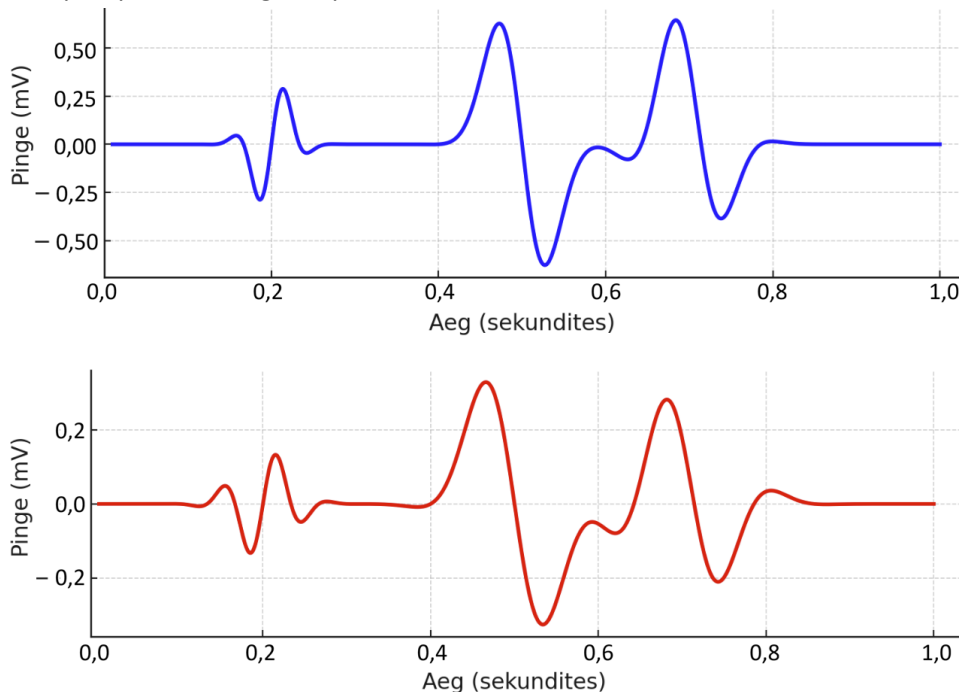


2. INIMENE KOSMOSES (61,5 p)

2.1. Astronauti füüsiline treening Maal ja kosmoselennu ajal

Järgmise kümnendi vältel on USA riikliku kosmoseagentuuri NASA ja erafirma SpaceX koostööna kavas viia inimesed enam kui 50-aastase vaheaja järel taas Kuule ning seejärel ka Marsile. Kosmosereisid panevad inimkeha tugevasti ja mitmel viisil proovile. Seetõttu hakkavad tulevased astronautid kosmosereisiks valmistuma juba aastaid enne missiooni algust. Võrdselt tähtsad on nii vaimne kui ka füüsiline treening. Keha treenimise üheks eesmärgiks on astronauti vereringesüsteemi ettevalmistamine kaaluta keskkonna talumiseks. Piisava innu ja visaduse korral võib ehk Sinustki saada tulevase kosmosemissiooni liige! Seetõttu saad järgmistes ülesannetes uurida, kuidas kosmosesse minekuks valmistuda, kuidas kosmoselend inimkeha mõjutab ja selle taluvuspiire testib.

Et keha ebaloomulikes oludes võimalikult heas seisus hoida, peavad astronautid kosmoses tegema füüsilist treeningut vähemalt kaks tundi päevas. Allpool on toodud kaks elektrokardiogrammi (EKG, südame elektrilise pinge graafik) ühe astronauti südame tööst sama treeningu ajal Maa peal ja kosmoses kaaluta oleku tingimustes. Mida suurem pinge südames töö ajal rakendub, seda rohkem tööd süda vere pumpamiseks tegema peab.



Joonis 11. Väljavõtted astronauti EKGst eri tingimustes treenides

2.1.1. Kumb joonisel 11 toodud graafik näitab astronauti südametööd treeningu ajal kosmoses? Jooni vastuste vihikus alla õige vastus. (1 p)

2.1.2. Miks valisid selle graafiku? (1 p)

2.1.3. Võttes arvesse analüüsitud graafikuid ja andmeid, hindade, kas Maa tingimustega võrdväärse treeningefekti jaoks peab astronaut kosmoses treenima rohkem või vähem. (0,5 p)

2.1.4. Nimeta kaks muutust inimkehas, mida pidev füüsiline treening pika aja jooksul tekitab. (1 p)



2.1.5. Millised muutused inimkehas intensiivse füüsilise treeningu, nt jooksulindil jooksmise ajal lühiajaliselt toimuvad? Märki vastuste vihikus toimuvale muutusele vastava tähe alla +, mittetoimuvale muutusele vastava tähe alla –. (2,5 p)

A. Vererõhk langeb	F. Südamelihase töö intensiivistub
B. Lihaste veresoone ahenevad	G. Verevarustus lihastes suureneb
C. Pulss kiireneb	H. Hapnikutase veres langeb
D. Soolestiku verevarustus paraneb	I. Hingamissagedus suureneb
E. Hapniku omastamine suureneb	J. Kehatemperatuur langeb

2.2. Astronautide veri

Lisaks keha treenimisele peab ka astronautiks pürgija üldine tervis korras olema. Enne kosmosesse saatmist peavad kandidaadid läbima mitmeid teste, mida kasutatakse nende tervise hindamiseks.

Astronautidele tehakse enne lendu mitmeid vereteste, sealhulgas klassikaline vereproov ehk hemogramm veeniverest. Veri täidab organismis tähtsaid rolle, mille hulka kuuluvad rakkude varustamine hapniku ja toitainetega, jääkainete eemaldamine, keemilise info edastamine, kehatemperatuuri reguleerimine ja keha kaitsmine sissetungijate vastu. Veres leidub erinevaid olulisi rakke. Hapnikku ja peamist jääkainet süsihappegaasi seovad ning transpordivad punalibled ehk erütrotsüüdid rauarikka ühendi hemoglobiini abil. Valgeliblesid ehk leukotsüüte on mitut liiki (monotsüüdid, neutrofiilid, trombotsüüdid) – kõik need kaitsevad meid, võideldes kehasse tunginud haigusetekiitajatega. Vereliistakud ehk trombotsüüdid aitavad sulgeda haavu. Veri voolab veresoontes. Kopsudes hapnikuga rikastatud verd viivad südamest kehasse laiali arterid, mis kulgevad keha sisemuses ja mille siserõhk on kõrge. Need lõpevad peente kapillaaridena, mis varustavad rakke hapnikuga, saades vastu süsihappegaasi ja muid jääke. Süsihappegaasirikka vere toovad kehasse tagasi veenid, milles rõhk on madalam ja mis kulgevad enamuses kehapinna lähedal.

2.2.1. Otsusta iga väite puhul, kas see on tõene või väär, märkides vastuste vihikus selle väite tähe alla + või –. (3 p)

Väide
A. Vere kõik ülesanded on seotud ainete transportimisega kehas.
B. Hemoglobiin tagab hapniku ja süsihappegaasi jõudmise igasse keharakku.
C. Neutrofiilid on üheks kolmest leukotsüütide alaliigist.
D. Valgelibled hävitavad meie organismi ründavaid ohtlikke baktereid.
E. Arterid ei osale erinevalt kapillaaridest keharakkude hapnikuga varustamisel.
F. Läbi naha paistvate veenide tähtis roll on süsihappegaasi kehasse eemaldamine.

**2.2.2. Miks võetakse vereprooviks verd veenidest, mitte arteritest? Võimalikke vere koostise erinevusi ära arvesta! (1 p)**

Vereproovi tulemused esitatakse tavaliselt tabelina, mille kõiki näituseid võrreldakse normaalväärtustega. **Tabelis 1** on antud mõne peamise verenäitaja normaalväärtused ja võimalikud põhjused normist kõrvalekaldumiseks, **Tabelis 2** aga nelja astronauti vereproovi tulemused.

Tabel 1. Hematogrammi näidud (osakesi või gramme 1 liitris veres) ja nende diagnostiline tõlgendus.

Näitaja	Normaalvahemik 1 l veres	Normist hälbiva näidu võimalikud põhjused	
		Üle normi	Alla normi
Erütrotsüütide arv (RBC)	$4,1...5,7 \cdot 10^{12}$	Kestev füüsiline koormus või kõrgmäestikust viibimine, suitsetamine, neeruhaigus	Aneemia ehk kehvveresus, rauapuudus
Leukotsüütide arv (WBC)	$4,1...9,7 \cdot 10^9$	Äge põletik, infektsioon, verehaigused, kasvaja	Sepsis, kasvaja, viirushaigused
Trombotsüütide arv (Plt)	$157...372 \cdot 10^9$	Stress ja raske füüsiline koormus, rauapuudus-aneemia, põletikud	Alkoholism, rasedus, viiruslikud põletikud
Monotsüütide arv (Mono)	$0,24...0,8 \cdot 10^9$	Bakteriaalsed põletikud	Immuunpuudulikkus, aneemia
Neutrofiilide arv (Neut)	$1,9...6,7 \cdot 10^9$	Bakteriaalsed põletikud, äge verejooks, kasvaja, rasedus	Viiruslikud põletikud, autoimmuunhaigused, alkoholism
Lümfotsüütide arv (Lymph)	$1,3...3,1 \cdot 10^9$	Viiruslikud põletikud, menstruatsioon	Aneemia, kemoteraapia, neerukahjustus
Hemoglobiin (Hb) naistel	121...150 g	Füüsiline koormus, vedelikukaotus	Aneemia, rasedus
Hemoglobiin (Hb) meestel	134...170 g		Aneemia

Tabel 2. Nelja astronauti vereanalüüsi tulemused

Näitaja	Tiit	Teet	Tiina	Teele
RBC	$5,6 \cdot 10^{12}$	$3,0 \cdot 10^{12}$	$5,4 \cdot 10^{12}$	$5,2 \cdot 10^{12}$
WBC	$8,7 \cdot 10^9$	$8,5 \cdot 10^9$	$5,7 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^9$
Plt	$249 \cdot 10^9$	$394 \cdot 10^9$	$321 \cdot 10^9$	$58 \cdot 10^9$
Mono	$0,67 \cdot 10^9$	$0,73 \cdot 10^9$	$0,39 \cdot 10^9$	$0,45 \cdot 10^9$
Neut	$5,7 \cdot 10^9$	$6,2 \cdot 10^9$	$6,7 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^9$
Lymph	$2,0 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$	$8,8 \cdot 10^9$
Hb	141 g	112 g	145 g	141 g



2.2.3. Analüüsi iga astronauti vereproovi (Tabel 2) Tabeli 1 abil ja too vastuste vihikus välja näitajad, mille väärtused on normi piiridest väljas. Leia iga hälbe võimalikud põhjused (terviseprobleemid) ja lisa järelalus iga isiku tervisliku seisundi kohta (T – terve, H – haige). (4 p)

2.2.4. Kelle lubaksid näitude põhjal kohe kosmosemissioonile saata? (1 p)

2.2.5. Kes peaks oma menüüsse rohkem rauda sisaldavaid toiduaineid lisama? (0,5 p)

2.2.6. Milliseid toiduaineid võiks ta rohkem tarvitada? Nimeta vähemalt kaks. (1 p)

2.2.7. Arstid andsid rauapuuduses olevale astronautile aega kaks kuud, et oma erütrotsüütide arv ja hemoglobiini tase normi viia. Kas see oleks võimalik vaid toitumist muutes? Süües rauarikkaid toite tõuseks tema RBC arv päevas keskmiselt $0,02 \cdot 10^{12}$ tk/l ja hemoglobiini näit 0,2 g/l. (3,5 p)

Üks kiirem võimalus rauapuudusest taastumise toetamiseks on süstida veeni preparaati, mis koosneb rauddekstraanist (keemiline ühend, kus raud on seotud suurema orgaanilise molekuli koostisesse) ning füsioloogilisest lahusest, mis on 0,9% keedusoola (NaCl) vesilahus. Süstelahuse valmistamiseks peab arst võtma 750 mg rauddekstraani ja lahustama selle 250 ml füsioloogilises lahuses.

2.2.8. Mitu grammi vett ja soola peab arst võtma, et valmistada kõigepealt 250 ml füsioloogilist lahust? Eelda, et füsioloogilise lahuse tihedus on täpselt 1 g/ml. (2 p)

2.2.9. Millise rauddekstraanisisaldusega süstelahus (promillides, ‰) saadakse? Üks promill tähistab ühte osa tuhandest. (2 p)

2.2.10. Kui tekib vajadus järgmise doosi rauddekstraani sisaldus tõsta 5 promillini, siis mitu mg rauddekstraani peaks samasse ruumalasse süstelahusesse juurde lisama? (2 p)

Kui kosmosereisil saab astronaut suurema vigastuse ja peaks vajama vereülekannet, siis ainsad võimalikud doonorid on tema kaasastronautid. Paraku ei saa kõik inimesed omavahel veredoonoriteks olla, sest neil on erinevad veregrupid. A-veregrupiga inimesel on vere punaliblede pinnal valk nimega antigeen A, B-grupi korral antigeen B, AB grupi korral mõlemad antigeenid, 0-grupi korral antigeene ei ole. Kehavõõra(ste) antigeeni(de)ga vere ülekandmisel tekib immuunsüsteemi kohene vastureaktsioon, põhjustades vere hüübimist ja surmavaid trombe.

Järgnev tabel 3 näitab, milliste veregruppide verd saab kindla veregrupiga isikule üle kanda.

Tabel 3. Veredoonorluse võimalused sõltuvalt veregruppidest (ABO-süsteem)

Vere saaja	Veredoonor			
	0	A	B	AB
0	saab	ei saa	ei saa	ei saa
A	saab	saab	ei saa	ei saa
B	saab	ei saa	saab	ei saa
AB	saab	saab	saab	saab



Sarnasel põhjusel on vaja arvestada vere **reesusfaktoriga**, mis tuleneb kolmandast olulisest punaliblede pinnal leiduda võivast antigeenist (D-antigeen). Kui D-antigeen on olemas, on reesusfaktor positiivne (Rh+), kui see puudub, siis negatiivne (Rh-). Doonorluses tuleb jälgida, et reesusnegatiivsele patsiendile kantaks üle vaid reesusnegatiivset verd.

Eesti esimesel kosmosemissioonil osalevate astronautide kombineeritud veregrupid on sellised.

Tiit	Teet	Tauno	Tiina	Teele	Tiiu
O+	A+	B-	AB+	AB-	A+

2.2.11. Märki vastuste vihiku tabelisse, kas antud paarides (Teet ja Tiiu, Teet ja Tiina, Tiit ja Tauno, Teele ja Tauno, Tiina ja Teet, Tauno ja Teele) tohiks esimene astronaut teisele veredoonoriks olla (+) või mitte (–). Lisa ise tabelisse üks sobiv ja üks mittesobiv veredoonori ja saaja paar. (5 p)

2.2.12. Kellele tiimist ei leidu ühtegi sobivat doonorit? (1 p)

Kui samal missioonil pole astronauti jaoks ühtegi sobivat doonorit, jääb üle vaid võimalus varuda ette selle inimese enda verd. Korruga on lubatud võtta verd kuni 10% kogu inimese olemasoleva vere massist ning veri moodustab tavaliselt 8% inimese kehamassist. Eelda, et vere tihedus on 1 g/ml.

2.2.13. Mitu milliliitrit verd võiks korruga annetada 80 kg kaaluv astronaut Tauno? (1 p)

Samas on iseendale doonoriks olemise takistuseks asjaolu, et doonorveri säilib inimkeha väliselt kuni 35 päeva. Seega on vaja verd võtta kindlate ajavahemike tagant. Pärast verekaotust hakkab organism verd kiirendatult juurde tootma, kuid kaaluta olekus toimub see aeglasemalt kui Maal.

2.2.14. Pärast vere võtmist suudab Tauno keha Maal juurde toota kokku 100 miljardit erütrotsüüti päevas, kuid kosmoses vaid 75% sellest. Mitu päeva võtab aega, et Tauno erütrotsüütide arv taastuks doonorluse-eelsele tasemele Maal, ja mitu päeva kuluks selleks kosmoses? Arvesta, et Taunol on algselt veres 30 triljonit punast verelible ja juurde tekkivate libelede arv on summaarne ehk hävivad vererakud on sealt juba maha lahutatud. (2 p)

2.2.15. Kas Taunol on mõtet kosmosereisil viibides oma verd doonorvere kogumise eesmärgil koguda lasta? Tõmba ring ümber sobivale valikule ja lisa põhjendus! (1 p)

2.3. Kosmosereisi täiendavad mõjud inimesele

Lisaks vere koostise muutumisele mõjutab kaaluta olek ka pea kõiki teisi tervise aspekte. Allpool on toodud veel huvitavaid muutuseid, mis inimkehaga kosmoses viibides juhtuvad. **Leia valikust iga nähtuse kõige loogilisem põhjus ja tõmba vastavale tähele vastuste vihikus ring ümber. (5 p)**

2.3.1. Südame mõõtmete vähenemine

- A. Kosmoses on rohkem hapnikku, süda saab vähema tööga sama hulga hapnikku pumbatud.
- B. Kaaluta olekus peab süda vähem tööd tegema ega vaja vere pumpamiseks nii palju lihasmassi.
- C. Kosmosereisi ajal on ümbritsev temperatuur külmem ja südamelihhas tõmbub kokku.
- D. Vaakumi tõttu "imetakse" süda väiksemaks kokku.



2.3.2. Inimene keha pikenedmine

- A. Luud muutuvad gravitatsiooni puudumise tõttu pikemaks.
- B. Lihased muutuvad pikemaks ja venitavad ka keha pikemaks.
- C. Kosmiline kiirgus hoogustab kasvuhormooni tootmist ajuripatsis.
- D. Kaaluta oleku tõttu laienevad selgroolülide vahelised vahemikud.

2.3.3. Silmanägemise halvenemine

- A. Süda ei suuda kosmoses nii palju verd ja hapnikku silmadeni pumbata.
- B. Töö kosmoselaevas on suuresti seotud ekraanide ja näidikute jälgimisega, mis kahjustab silmi.
- C. Kosmiline kiirgus kahjustab tundlikke silmarakke.
- D. Rohkem vedelikku liigub peapiirkonda ja surub silmanärvile.

2.3.4. Luude hõrenemine

- A. Kosmosereisiks ette nähtud toit ei sisalda piisaval hulgal kaltsiumit.
- B. Luud ei pea kaaluta olekus inimest enam nii palju toetama, mistõttu luurakkude lagundamine kiireneb ja uusi rakke tekib vähem.
- C. Toidust saadava raua omastamine on gravitatsioonita tingimustes ebaefektiivne.
- D. Kosmilise kiirguse tõttu hävib rohkem luurakke, kui neid tekkida jõuab.

2.3.5. Näo paisumine

- A. Kaaluta olekus jagunevad vedelikud kehas ühtlaselt ning rohkem vedelikku jõuab pea piirkonda.
- B. Kaaluta olekus nõrgenevad näolihased ja kuna neid ei saa treenida, toimub nende lõtvumine.
- C. Nägu ja hingamisteed tursuvad kosmoselaeva filtreeritud ja tehislõõhu tõttu.
- D. Nägu tursub kosmilisest kiirgusest tekkiva paistetuse tõttu.

Rängaks väljakutseks astronauti kehale on tegelikult juba kosmosereisi esimesed sekundid. Kosmosesse suunduva kanderaketi startides puutuvad astronautid kokku mitu korda suuremate keha mõjutavate jõududega, kui me Maal harjunud oleme. Raskusjõud on jõud, millega Maa tõmbab meid oma raskuskeskme poole. Raketi startimisel lisandub raskusjõule ülisuure kiirenduse mõju, mistõttu kogevad astronautid tavalisest raskusjõust kuni 9 korda suuremat maapinna suunas mõjuvat jõudu. Keha tuleb selleks ette valmistada, sest vähenev vererõhk peas võib muidu viia teadvuse kaotuseni ja tugevate kaelalihasteta võib pea järsk allapoole tõmbamine tekitada kaelalülide vigastuse.

2.3.6. Miks võib vähenenud vererõhk peapiirkonnas viia teadvuse kaotuseni? (1 p)

2.3.7. Paku välja kaks loodusteaduslikult loogilist võimalust, kuidas saab leevendada ülitugeva allapoole tõmbava jõu kahjulikku mõju astronauti kehale. (2 p)

2.4. Kosmiline kiirgus

Kosmiline kiirgus on osakeste voog, mis pärineb tähtedelt. Kosmiline kiirgus koosneb peamiselt laetud osakestest – väikese aatomnumbriga elementide aatomituumadest. Kosmiline kiirgus on ioniseeriv kiirgus (sarnaselt radioaktiivsele kiirgusele), sest suure energia tõttu võib see muuta molekule ioonideks neist elektrone välja lüües. Ioniseerimine kahjustab inimkeha rakke. Eriti ohtlikud on kahjustused raku pärilikkusaines DNAs: need kahjustused võivad raku tappa, takistada selle jagunemist või hoopis põhjustada kontrollimatut jagunemist, mis viib vähi tekkeni. Pikki kosmosereise



planeerides tuleb arvestada, et astronautide organism võib pidevast kokkupuutest kosmilise kiirgusega nõrgeneda ja vähirisk tõusta.

2.4.1. Milline järgnevatest on peamine kosmilise kiirguse osake? (1 p)

- A. Elektromagnetiline kiirgus
- B. Vesiniku molekul
- C. Neutron
- D. Prooton

2.4.2. Kokkupuude kosmilise kiirgusega võib suurendada inimese riski haigestumiseks näiteks bakter- või viirushaigustesse. Mis võib olla selle peamiseks põhjuseks? (1 p)

- A. Kiirgus kahjustab immuunsüsteemi rakke, vähendades immuunsüsteemi efektiivsust.
- B. Kiirgus kiirendab bakterite ja viiruste paljunemist kehas.
- C. Kiirguse mõjul vere pH tõuseb, mis lihtsustab haigustekitajate levikut.
- D. Kiirguse põhjustatud kahjustuste parandamisele kulub palju energiat, seda jääb vähem alles haigustekitajatega võitlemiseks.

Astronautide vähkkasvajatesse haigestumise riski vähendamiseks on teadlased määratlenud maksimaalsed lubatud kiirgusdoosid kosmosemissioonil. Kiirgusdoosi mõõdetakse siivertites (Sv), võttes arvesse kiirguse kogust ja tüüpi. **Tabelis 4** on toodud lubatud kiirgusdoos millisiivertites (mSv) ühe aasta pikkuse kosmosemissiooni korral olenevalt astronauti soost ja vanusest.

Tabel 4. Kosmilise kiirguse lubatud aastased piirmäärad astronautidel

Vanus (aasta)	Lubatud kiirguse piirmäär (mSv)	
	Mehed	Naised
25	520	370
30	620	470
35	720	550
40	800	620
45	950	750
50	1150	920
55	1470	1120

Rahvusvahelises kosmosejaamas (ISS) saab astronaut ööpäevas keskmiselt 731 mikrosiiverti (μSv) suuruse kiirgusdoosi. Kuu pinnal saaks astronaut ööpäevas keskmiselt 1369 μSv kiirgust.

2.4.3. Arvuta, kui palju kiirgust saaks astronaut, kui ta veedaks ühe aasta ISS pardal. Esita vastus millisiivertites (mSv). (1,5 p)

2.4.4. Kas 40-aastane meessoost astronaut võib veeta ühe aasta ISS pardal, ületamata lubatud kiirguse koguse piiri? Tõmba vastuste vihikus õigele valikule ring ümber! (0,5 p)



2.4.5. Mitu päeva võib 25-aastane naissoost astronaut veeta Kuu pinnal, ilma et ta ületaks lubatud kiirguse piiri? (1 p)

2.4.6. Millisel viisil võib kosmiline kiirgus otseselt põhjustada vähkkasvaja teket? (1 p)

- A. Pikaajaline kokkupuude kiirgusega häirib keha keemilist tasakaalu, mis põhjustab osade kudede rakkude muutumist vähkkasvajaks.
- B. Vea teke raku DNAs viib raku kontrollimatu jagunemiseni.
- C. Kiirguse tõttu hävinud rakkudest kehasse sattunud ained tekitavad teistes rakkudes soovimatuid signaale, mis viib nende kontrollimatu jagunemiseni
- D. Kiirgus nõrgestab immuunsüsteemi, ning enne kontrolli all olnud viirus saab võimaluse kontrollimatult paljuneda

2.4.7. Mis võib olla põhjuseks, miks vanemas eas inimesed tohivad kokku puutuda suurema koguse kiirgusega? (1 p)

- A. Nende kehas on rohkem rakke, seega tõenäosus, et tekib eluohtlik mutatsioon, on väiksem.
- B. Vanemate inimeste puhul ületab eluohtliku kasvaja tekkeks kuluv eeldatav aeg nende eeldatava loomuliku eluea pikkuse.
- C. Immuunsüsteem areneb eluea jooksul ja muutub efektiivsemaks vähi ära hoidmisel.
- D. Inimese rakud muutuvad eluea jooksul rohkem resistentseks vähile.

2.5. Õhk ja rõhk

Kosmosemissioonidel on suureks ohuks liikumine erineva rõhuga piirkondade vahel, samuti rõhu kadumist põhjustavad õhulekked. Kui kosmosejaamas on õhurõhk võrreldav maapealse rõhuga, siis skafandris moodustab see ainult kolmandiku sellest (ja avakosmoses on peaaegu vaakum tühiselt väikese rõhuga). Liiga madal õhurõhk põhjustab nn kessoontõbe – vereringes lahustunud gaasid väljuvad sealt mullidena, mis võivad liikuda erinevatesse kehaosadesse. Haiguse sümptomid varieeruvad ebamugavustundest kuni surmani.

2.5.1. Kõrgema rõhuga keskkonnast madalama rõhuga keskkonda sattudes tekivad vereringes gaasimullid. Mida saab selle põhjal järeldada gaaside lahustuvuse kohta vedelikes? (1 p)

- A. Gaaside lahustuvus vedelikes suureneb rõhu suurenedes.
- B. Gaaside lahustuvus vedelikes väheneb rõhu suurenedes.
- C. Gaaside lahustuvus vedelikes ei sõltu rõhust.
- D. Gaasid vedelikes ei lahustu, kuid suuremal rõhul on mullid väiksemad ja ohutumad.

2.5.2. Levinud viis rõhulanguse ohtliku mõju vältimiseks on enne avakosmosesse minekut hingata spetsiaalset gaasi, et eemaldada keha kudedest lämmastikku. Millise koostisega peaks see gaas olema? (1 p)

- A. 100% O₂
- B. 100% CO₂
- C. 50% O₂, 50% N₂
- D. 80% N₂, 20% O₂

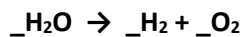


2.5.3. Milline meetod võiks veel olla tõhus kessoontõve vältimiseks kosmoses? (0,5 p)

- A. Vähendada rõhku astronauti skafandri sees.
- B. Suurendada rõhku astronauti skafandri sees.
- C. Suurendada rõhku astronautide elamisalas.

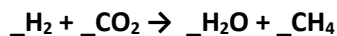
2.5.4. Üks viis muuta üleminekut madala rõhuga keskkonda lihtsamaks oleks tõsta hapnikusaldust astronautide elamisruumides, kuid sellega kaasneb suur risk. Milline risk? (1 p)

2.5.5. Inimkeha tarbib elutegevuseks hapnikku (O_2) ja eritab süsihappegaasi (CO_2). Rahvusvahelise kosmosejaama pardal on Maalt kaasa võetud vedelat hapnikku, kuid samuti valmistatakse hapnikku keemilise reaktsiooni teel. Hapnikku valmistatakse veest elektrolüüsil (vee lagundamisel elektrivoolu abil). **Tasakaalusta vastuste vihikus vee elektrolüüsi reaktsioonivõrrand. (1 p)**



2.5.6. Keskmine inimene tarbib päevas umbes 400 liitrit O_2 . Mitu milliliitrit vett tuleks elektrolüüsida, et toota kolmele inimesele vajalik päevane hapniku kogus? Eelda, et vee tihedus on 1,00 g/ml. Vajadusel kasuta moolarvutuse valemeid viimasel leheküljel (Lisa 2). (2 p)

2.5.7. Vee elektrolüüsil tekkinud vesinik H_2 ja hingamisel eraldunud süsihappegaas CO_2 tuleb astronautide eluruumidest eemaldada. Mõlemad ained pannakse kõrge rõhu ja temperatuuri juures reageerima, mille tulemusel tekivad vesi ja metaan (CH_4). Tasakaalusta vastuste vihikus selle reaktsiooni võrrand. (1 p)



2.5.8. Mitu grammi metaani tekib 400 liitri hapniku (normaalingimustes) valmistamisel tekkinud vesiniku reageerimisega süsihappegaasiga? Vajadusel kasuta valemeid Lisas 2. (2 p)

2.5.9. Mitu mooli vett saadakse tagasi iga 1 mooli elektrolüüsitud vee kohta, kui elektrolüüsi teel saadud vesinikust valmistatakse eeltoodud alapunktis kirjeldatud viisil vett ja metaani? Kas on võimalik toota kogu vajalik hapnik ainult nende kahe reaktsiooni teel? (1 p)



Lisa 1. Keemiliste elementide perioodilisustabel

1 1A																	8 8A
1 H 1.01	2 2A											3 3A	4 4A	5 5A	6 6A	7 7A	2 He 4.00
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9	10	11 1B	12 2B	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.41	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.20	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103	104 Rf (267)	105 Db (268)	106 Sg (271)	107 Bh (272)	108 Hs (270)	109 Mt (276)	110 Ds (281)	111 Rg (280)	112 Cn (285)	113 Nh (284)	114 Fl (289)	115 Mc (288)	116 Lv (293)	117 Ts (294)	118 Og (294)
57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97			
89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.03	92 U 238.02	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)			

<https://www.chadsprep.com/periodic-table-of-elements/> Copyright © 2023 Chad's Prep®

Lisa 2. Aine moolide arvu (n) leidmise valemid

	Valem	Tähised
1. Massi järgi	$n = \frac{m}{M}$	m – aine mass M – aine molaarmass
2. Osakeste arvu järgi	$n = \frac{N}{N_A}$	N – osakeste arv N _A – Avogadro arv (osakeste arv 1 moolis aines, 6,02·10 ²³)
3. Ruumala järgi	$n = \frac{V}{V_m}$	V – aine ruumala V _m – gaasi molaarruumala (1 mooli gaasi ruumala normaaltingimustel, 22,4 dm ³ /mol)