

MATERJALITEHNOLOOGIA TULEMUSED JA TAGASISIDE

PUNKTID

Ülesande nr.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Kokku	Punkte	Trahvi-punktid	Kokku punkte	Koht vanuse -klassis
7-8 tiimid									300% → 100 p			
Vanad ja vigased	50%	25%	50%	-	-	-	-	125%	42p		42	4
Racky	25%	-	50%	50%	25%	25%	0%	175%	58p	-1	57	3
P2	-	-	75%	25%	25%	50%	-	175%	58p		58	2
Gaglased	-	-	50%	-	50%	-	25%	125%	42p	-2	40	5
Muumid	-	-	-	-	75%	25%	100%	200%	67p	-4	63	1
9-12 tiimid									500% → 100 p			
G9	75%	50%	0%	50%	25%	50%	0%	250%	50p		50	4
Koduheitel meeleperenaised	50%	50%	50%	75%	0%	50%	-	275%	55p		55	3
Team V	50%	0%	0%	50%	-	25%	100%	225%	45p	-4	41	5
Võilill	50%	25%	75%	50%	100%	50%	0%	350%	70p		70	2
Rakettlased	0%	0%	50%	90%	100%	50%	100%	390%	78p		78	1
Jfakälsd	-	-	50%	75%	0%	50%	25%	200%	40p		40	6-8
G11	-	-	50%	50%	50%	50%	0%	200%	40p		40	6-8
My Little Pet Shop	-	-	0%	25%	0%	-	-	25%	5p		5	9
Jonk3l	-	-	50%	75%	-	75%	-	200%	40p		40	6-8

TAGASISIDE OSALEJATELE

Kõik, kes vähegi pingutasid vastuste nimel, olid väga tublid. Ülesannetes oli palju määramatust - oli vaja julgeid eeldusi teha. Samuti oli juhendis rohkem infot, kui tegelikult võis vaja minna.

Tagasiside, või apellatsioonid hindamise osas, on oodatud: erki.karber@taltech.ee

All ülesanded, koostaja arutus, õpilaste vastused, hinnatud % vastusest, ja/või tagasiside vastajatele.

TAGASISIDE ÜLESANNETE KAUPA

ÜLESANNE 1

Arvuta päikese-elementi teoreetiline efektiivsuse tipp* kasutades klassikalist Carnot ringprotsessi (ehk *Carnot tsükli*) efektiivsuse valemit (määratud ainult soojendi temperatuuriga ja jahuti temperatuuriga).

Selleks arutage omavahel:

1) Mis võiks olla siin soojendiks ja milline on tema ehk nn. sooja reservuaari temperatuur? Vihjeks - see on üks kuulus *must keha*.

2) Mis on elemendi jahutiks ja milline on tema ehk nn. külma reservuaari temperatuur (globaalne keskmine)? Teisisõnu, milline keskkond jahutab elementi?

* kommentaar – absoluutne maksimaalne muundamis-efektiivsus, ideaalses soojusvahetus-protsessis.

ARUTLUS

Soojendi: Õigeks loeme umbes 5800°C (6000K) – päikese pinnatemperatuur. Pakuti veel *must auk*, kuid see ei toida kahjuks päikeseelementi vajaliku energiaga, tegu külma kehaga ja energia neeluga. Ülesanded keerlesid ikka päikese ümber ja vihjatud on sooja allikale.

Jahuti: Elemendi vahetu töökeskond. Tõsi, varieerub, olenevalt asukohast ja ajast. Keskmiseks hinnanguks 15°C (288K $\approx$ 300K on rahuldav vastus), oleneb allikast [1]. Mõistlik vastus on ka: avakosmos, kuid Ü3 tegeles selle probleemiga - seega vihje oli olemas, et oodatakse (pigem) planeedi pinna ligikaudset temperatuuri.

[1]

<https://solarsystem.nasa.gov/resources/681/solar-system-temperatures/>

<https://www.spaceacademy.net.au/library/notes/plantemp.htm>

Carnot valem:

$$\eta = 1 - (T_{\text{soojendi}} / T_{\text{jahuti}})$$

$$\eta = 1 - 300\text{K} / 6000\text{K} = 95\% \text{ (Kelvini skaalas)}$$

$$\eta = 1 - (273+20) / (273 + 5800) = 1 - 293 / 6073\text{K} = \approx 95\% \text{ (Celsiuse skaalas)}$$

Arvutused vaja teha Kelvini skaalas (SI ühikud), sest muidu ei ole seletatav olukord, kus T_{jahuti} on füüsikaliselt realistlik ja „kodune“ 0°C, kuid annab ebarealistliku 100% efektiivsuse. Absoluutne 0 Kelvinit ei ole füüsikaliselt võimalik. Celsiuse skaalas -273°C (0K) on tulemuseks >100% efektiivsus – võimatu.

VÕISTLEJATE VASTUSED

VASTUS 1.

1. Päikese elemendi maksimum efektiivsus on 86.6% Kui sissetulev kiirgus tuleb ainult päikese suurusest taevapiirkonnast, langeb efektiivsuspiir 68,7% -ni. 1- T_c / T_s , mille annab Carnoti soojusmootor

2. Ränikiht toimub suure musta termokehana. Sooja reserv on 6000K.

3. Elemendi jahutiks on kosmos, seal on keskmine temperatuur - 455 °F -270.4°C

50%. Ei selgu kuidas on arvutatud.

VASTUS 2.

Soojendiks on must auk. Jahutiks on kosmos.

25%

VASTUS 3.

teoreetiline miinimum on -270.45C kraadi mis on kosmose jääksoojus, soojendi võib olla päike ise mis on 5778K, absoluutse nulli lähedase miinimumi võiks saavutada musta auguga, aga on ei ole aru saada kuidas on sõltuvuses kõrge pinna temperatuur ja absoluutne null lähedane temperatuur augu sees

Carnot tsükli kasuteguri valem on $(t_1-t_2)/t_1 = (5778\text{K}-1.4\text{E}-14\text{K})/5778$ mis on umbes 1.

75%

VASTUS 4.

1. Soojendiks on PÄIKE, sest see on päikesesüsteemi suurim energiaallikas. Päikese pinna temperatuur on 5500°C (5226,85 K)

2. Õhu ja õhu liikumine, soojusülekanne. (üles soojendatud õhu liigub "eest ära") Maa keskmine aastane temp. $\sim 1^\circ\text{C}$ (kosmoses OK) $\rightarrow -272,15\text{K}$

$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ $\frac{T_2}{T_1}$ - jahutaja temp / soojusallika temp

$\eta = 1 - \frac{-272,15\text{K}}{5226,85\text{K}} = 1,0521$

50%. Märgiviga (+/-) kahjuks sisse lipsanud.

VASTUS 5.

1) Päike? Temperatuur on 5500

2) jahutajaks maa atmosfäär, maa keskmine temperatuur 0,74/ 15kraadi

Efektiivsuse tipp on 0,997

50%. Arvutus, valem ja ühikud näitamata.

VASTUS 6

Teoreetiline efektiivsuse tipp $1 - (T_1/T_2)$. T_1 - jahuti temp., T_2 soojendi temp.

Näiteks: $1 - 288K/573K \approx 0,50$ ehk 50%

Soojendiks on mustkiirgur. Meie panime temperatuuriks on 300°C.

Jahutiks on vesi. Tema külma reservuaari temperatuur on 15°C

50%.

VASTUS 7

Kriitika: Me ei leidnud isegi guugeldades, mis ja kui palju on sooja reservuaari temperatuur.

TAGASISIDE: Täname kriitika eest. Täpselt ei selgu siiski mida kritiseeritakse.

Google´it, guugeldajat, või ülesannet.

ÜLESANNE 2

Võrdle enda arvutatud efektiivsust (Ü1) sellega, mis on reaalselt saavutatud ja ühtlasi füüsikaliselt realistlik muundamiseefektiivsuste vahemik, uuri andmeid [2]. Mis võiksid olla erinevuse põhjused? Loetle ja seleta nii palju, kui vähegi oskad.

[2] Päikese-elementide rekordite graafikud:

<https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20200104.pdf>

<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (Kõik tulemused on mõõdetud kokkulepitud standard-tingimustel).

ARUTLUS

Põhjuseid on mitmesuguseid. Seoses Ü1 - ilmselt ideaalset soojendit ja jahutit ei ole võimalik ligilähedaseltki teostada. Teiseks, materjalidega seotud piirangud – materjalid tuleb valmistada kontrollitud tingimustes ning nad ei allu alati meie soovidele. Looduslikud määramatusest tulenevad tegurid (näiteks ilmastiku ennustamatus) jäävad hetkel argumendina kõrvale, sest tabelis olevad rekordid olid mõõdetud kokkulepitud standardsetel keskkonnatingimustel (Temperatuur ja valgustatus), mitte reaalses tööolukorras.

Ülesanne oli *Materjalitehnoloogia* valdkonnast. Oluline piirav tegur energia muundamisel ongi **materjalide enda siseomadused**: ükski pooljuht-materjal (oma kindla keelutsooniga) ei suuda kõike temale langevat valgust ära kasutada, osa valgusest läbib elementi (väikse energiaga valgus) ja murdosa nõ. liiga kõrge energiaga valgusest muutub soojuseks.

VÕISTLEJATE VASTUSED

VASTUS 1.

Meie arvutatud efektiivsus on päriselt saavutatud efektiivsusest (47,1%) 39,5% suurem, sest ei saa tekkida nii häid tingimusi tekkida, on liiga palju juhust seotud.

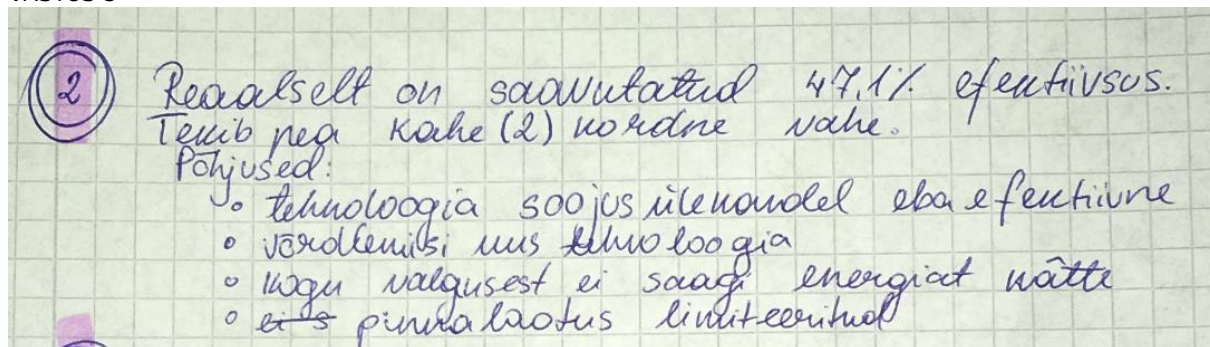
25%. Oleks oodanud mõne sellise juhusliku teguri kirjeldust.

VASTUS 2

Erinevuse põhjused päikese temperatuuriga kuuma anumad ei ole võimalik ehitada (võib olla võimalik elektromagnet välja kasutamise abil nagu näiteks plasma haoidmisel) miinumina on reaalne heal juhul saavutada kosmose jääksoojus mis on 2.7K

50%.

VASTUS 3



50%.

VASTUS 4

Tegelikult 47,1%, palju kõrvalisi tegureid, millega ei oska arvestada

TAGASISIDE: Kui neid nii palju on, siis üksainuke võiks ju ikka mainitud olla.

VASTUS 5

Meie vastus on 2,9% suurem kui kõrgeim saavutatud muundamiseefektiivsus. Esiteks kunagi ei toimi asjad ideaalsetes tingimustes. Alati on mingi ootamatu/juhuslik tegur, mis mõjutab reaalses elus saadud vastuseid. Valemid on mõeldud päris elu ligikaudseks kirjeldamiseks, mitte täpselt edasiandmiseks. Soojus kandub ka üle teistesse kehasse, mis on nende kehade ümber. Meie võtsime numbrid, mis meile meeldivad, mitte selle järgi, mis reaalselt katsetes kasutatud on.

25%

VASTUS 6

Kriitika: Me ei saanud seda teha, kuna me ei saanud esimese ülesandega hakkama.

TAGASISIDE: Tänu tagasiside eest. Teoreetilise ja eksperimentaalse tulemuste põhimõttelist erinevust võib ka ilma täpsete numbriteta kirjeldada.

ÜLESANNE 3

Kas avakosmose tingimustes, võrreldes maapealsega, oleks sama päikese-elementi oodatud tippefektiivsus energia muundamiseks pigem suurem või väiksem? Miks?

Mis on peamised keskkonna muutused? Ära unusta ka Ü1 teadmisi. Kokkuleppeline keskmestatud kiirguse intensiivsus Maa pinnal on 1000 W/m² (standardpäike, Air Mass 1.5 tingimustel).

ARUTLUS

Intensiivsus on avakosmoses suurem (AM0 ehk kokkuleppeline 1360 W/m² versus A1.5 ehk 1000 W/m²) – ja üldiselt soodsam elektri *tootlikkuse* jaoks (st. rohkem elektrit ajaühikus) aga ainult juhul, kui element ei kuumene üle (mis vähendab *efektiivsust*).

Keskkonna temperatuur kosmoses madalam – samuti soodne, *tootlikkuse* jaoks. Kuid soojusülekanne (soojuse eraldumine) on kosmoses erinev – ainult kiirguse kaudu. Maa peal lisandub jahutav mõju peamiselt ümbritseva keskkonna liikumise tõttu – st. konvektsiooni tõttu. Vaata ka allolevat illustratsiooni.

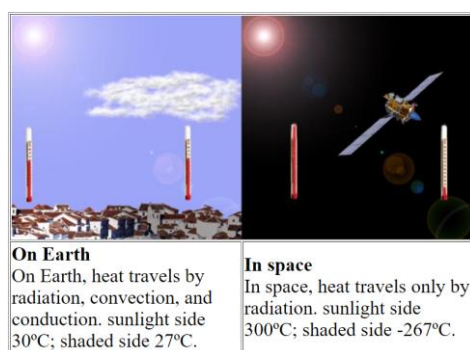
Kiirguse *spektri kuju* (atmosfäär 'lõikab' mõned spektri ribad välja) võib mõjuda ebasoodsalt, juhul kui element on optimeeritud maapealseks rakenduseks – see tegur jäi ülesande raames vaatluse alt välja ja ei kuulu hindamisele. Ka päikesetuule ebasoodne mõju (kiirguskahjustused) jäävad siin arvestamata.

Efektiivsus arvutatakse toodetud kasuliku energia P_{out} ja kogu peale langenud valgusenergia P_{in} jagatisena ($\eta = P_{\text{out}} / P_{\text{in}}$), vt. juhendis punkt 4. Isegi kui P_{in} kosmoses on suurem kui maa peal, on nimetajas nüüd suurem jagajaks hoopis suurem väärtus – 1360 W/m², mitte 1000 W/m². Seega efektiivsus on pigem sarnane ja *ei pruugi suurened*a. See on efektiivsuse kontseptsiooni mõte – see iseloomustab, kui suure *murdosa* juba sisse pandud energiast muundatakse kasulikuks. Vaata ka allolevat tabelit.

Piiratud eelduste keskel ja juhendi põhjal otsust vastu võttes, oleks korrektne vastus: „efektiivsus on tõenäoliselt sarnane“. Enamus ülesandele vastanutest keskendusid siiski *tootlikkusele*. Arvestame seda ja leevendame hindamist.

Cells	Efficiency (%)	Efficiency (%)
	Global AM1.5	AM0
c-Si	22.3	21.1
Poly-Si	18.6	17.1*
c-Si film	16.6	14.8*
GaAs	25.1	22.1*
InP	21.9	19.3*
GaInP(1.88ev)	14.7	13.5
GaInP/GaAs/Ge	31.0	29.3
Cu(Ga,In)Se ₂	18.8	16.4*
CdTe	16.4	14.7*
a-Si/a-Si/a-SiGe	13.5	12.0
Dye-sensitized	10.6	9.8*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123859341000271>



<https://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/thermal/2-does-heat-move-differently-in-space.html>

OSALEJATE VASTUSED

VASTUS 1

Tippefektiivsus oleks suurem kuna element ei peaks läbima atmosfääre ja ei peaks vajadusel kaugel rändama, et mingi sihti punkti jõuda. Energiat muundades areldub ka palju soojust mis avakosmoses ei oleks probleem tänu seal olevat temperatuuridele.

75%.

VASTUS 2

Suurem, sest avakosmoses on päikese intensiivsus suurem (1360 vatti ruutmeetri kohta), sest seal ei ole osoonikihti, mis päikese kiirguse intensiivsust väendaks.

50%.

VASTUS 3

Tippefektiivsus oleks avakosmuse tingimustes suurem, sest maad ümbritseb osoonikiht mis vähendab oluliselt UV-kiirgust ning avakosmoses seda pole.

50%.

VASTUS 4

Ei oleks, see oleks pigem väiksem sest avakosmoses kiirgus on suurem ning jõuab kiiremini tipp punkti.

50%. 'Kiirus' ei puutu asjasse.

VASTUS 5

Avakosmoses on tippefektiivsuse energia muundumiseks väiksem kuna puudub takistus mis on maapeal õhk.

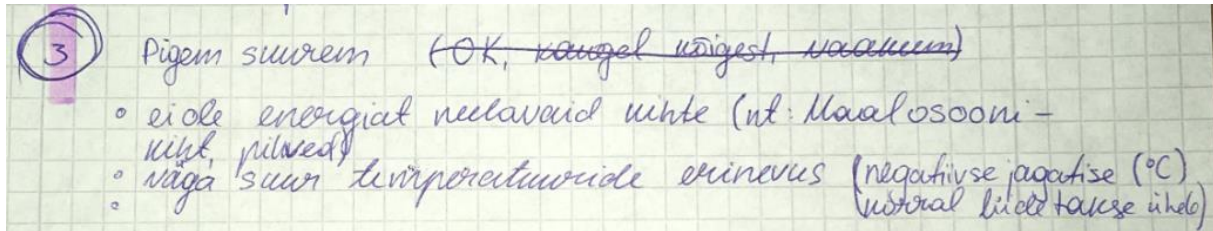
TAGASISIDE: Argument on vastuoluline (miks väiksem kui puuduvad takistused?) ja ei ole hästi formuleeritud – takistus millele ja miks see oluline on?

VASTUS 6

Avakosmoses oleks atmosfääri puudumise tõttu tippefektiivsus arvatavasti suurem, kui maa peal, kus atmosfäär blokeerib suure osa footonitest. Avakosmoses suudavad kõik footonid jõuda paneelini, mistõttu selle tippefektiivsus oleneb paneeli enda võimsusest.

50%.

VASTUS 7



50%. Efektiivsus >1 on võimatu.

VASTUS 8

Võrreldes maapealsega puudub avakosmoses atmosfäär, mis takistab kogu päikese kiirgusel päikesepaneelini jõudmast. Päikese-elementi tippefektiivsus suurem, kuna võimalikku potentsiaalset neelduvat kiirgust on rohkem.

50%.

VASTUS 9

Väiksem, kuna avakosmoses ei eksisteeri gravitatsiooni, tänu millele päikese-elementidele kanduv kiirguse intensiivsus on nõrgem.

TAGASISIDE: Gravitatsioon ei puutu hetkel siiski asjasse, olenemata tema olemusest, tugevuse jaotuse iseärasustest, vastastikumõjust valgusega, ja eksistentsi teadmata põhjustest.

https://img.memecdn.com/gravity_o_4584313.jpg

VASTUS 10

Tippefektiivsus oleks suurem. Kosmoses ei ole õhku, ei ole nt. sudu ja muid osakesi, mis esinevad Maa peal. See tähendab, et valgus kiirgab paremini.

50%.

VASTUS 11

Kosmos jahutab rohkem kui maa atmosfäär nii et see efektiivsus tegur oleks väiksem

TAGASISIDE: Miks väiksem? Vt. uuesti Carnot valemit (Ü1). Samuti, vt. juhendis (f).

VASTUS 12

Suurem, kuna kosmoses pole ööd, pilvi või atmosfääri, mis takistaks valguse kiirgamist paneelile. Kosmoses saab ka reguleerida satelliidi nurka, mis tähendab, et ei tekiks probleemi vähese päikese kiirguse saamisel. Lisaks puudub kosmoses ka öö ja päeva muutus, seega oleks valguse saamine praktiliselt kogu aeg toimuv. Samas on maapealsed päikese-elementid loodud vaid sealseks kasutamiseks, seega ei pruugi need alati plaanipäraselt toimida.

75% Puudub temperatuuri mõju seletus (→Ü1). Muus osas põhjalik seletus.

VASTUS 13

Mida kõrgem temperatuur on, seda madalam pingeline on. Mida kõrgem pingeline on, seda suurem on efektiivsus. Järeldan mida madalam temperatuur, seda suurem efektiivsus.

50%. Diskussioon on adekvaatne ja vihjamisi võib ka vastust arvata. Samas, otseselt küsimusele ei ole vastatud: kus need madalamad temperatuurid siis on? Ü1 vastuse põhjal ei oska isegi kaudselt vastaja teadmisi hinnata.

ÜLESANNE 4

Kas planeedi Marss kaugusel, võrreldes Maa kaugusega päikesest, oleks sama tüüpi päikeseelementi oodatud tippefektiivsus pigem suurem või väiksem? Aga tootlikkus? (Kasuks tuleb teadmine, kui suur on *Solar Constant* (W/m^2) väärtus päikesest erinevatel kaugustel. Näiteks, Päikesest Maa kaugusel avakosmoses on selleks umbes $1360 W/m^2$ - varieerub natuke).

ARUTLUS

Küsitud on võimekust planeedi *kaugusel*, seega planeedi pind ei puutu asjasse. *Tootlikus* oleks väiksem, sest energiya voog on väiksem. Ümbritsev temperatuur on avakosmoses sarnane. Elementi töötemperatuur sõltub ka tema efektiivsusest (nt. väiksema efektiivsusega element on kuumem sest rohkem valgust muudetakse soojuseks) – seega madalamal kiirgustasemel ($590 W/m^2$) võiks sama efektiivsusega element olla külmem ja seega efektiivsem** energia muundamisel.

**

Juhul kui elemendi efektiivsus ei ole omakorda valgustatusest tugevalt sõltuv (sama temperatuuri juures) – see on reaalne nähtus osade elementide tehnoloogiate juures, kuid seda me siin ei arvesta.

OSALEJATE VASTUSED

VASTUS 1

Küsimus; 4.1 Elemendi efektiivsus oleks väiksem kuna, et marsini jõuda kulub rohkem energiat ära kui maale jõudmiseks. 4.2 Tootlikus oleks ligi kaudu sama kuna jätkuvalt on tegemist sama elemendiga.

HINNE: 25%. Segamini ajatud tootlikus vs efektiivsus. Marsini jõudmise seletus ei ole arusaadav.

VASTUS 2

Me ei osanud jõudnud vastata küsimustele, sest meil jäi aega väheseks. Me tegime esimest ülessannet liiga kaua. Jäi puudu ka mõningatest teadmistest.

TAGASISIDE: Selge, tänud seletuse eest.

VASTUS 3

Tippefektiivsus on pigem väiksem ja tootlikkus samuti, sest Marss asub Maast kaugemal ja, kui tegu oleks samasuguse päikese-elementiga, siis oleksid efektiivsus ja tootlikus väiksemad, sest Marsile ei jõua nii palju päikesekiirgust ja seega ka energiat.

HINNE: 50%.

VASTUS 4

Marsil on päikeseelemendi oodatud tippefektiivsus pigem väiksem kuna nii kaugale jõuab vähem päikesekiiri. tootlikus on selletõttu ka väiksem

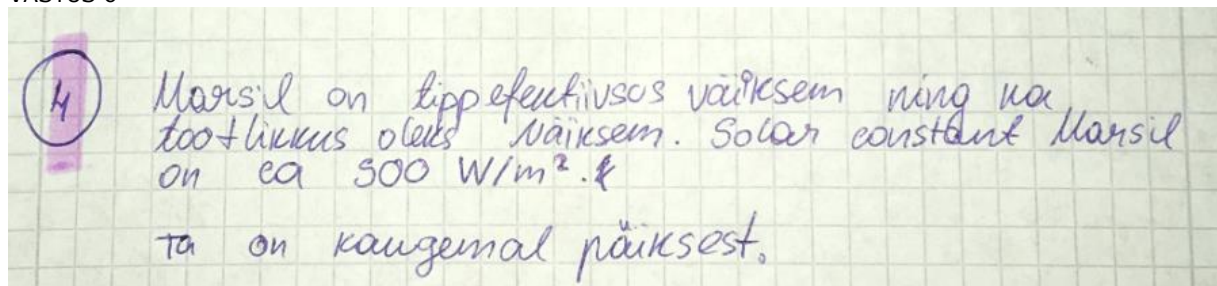
HINNE: 50%

VASTUS 5

Solar Constant on $\sim 1.36 \text{ kW/m}^2$ 1 astronoomilise ühiku juures. Marss on umbes 1.66 astronoomilist ühikut päikesest, seega Solar Constant seal oleks $1360/1.66^2 \approx 490 \text{ W/m}^2$. Kuna Maa on 1 astronoomiline ühik päikesest, siis oleks maa kaugusel $1360/1^2 \approx 1360 \text{ W/m}^2$. See tähendab, et tippefektiivsus ja tootlikus oleks Maa kaugusel suurem, kui Marsi kaugusel.

75%. Tootlikust silmas pidades oleks hea vastus, efektiivsuse osa vajaks rohkem diskussiooni.

VASTUS 6



75%. Efektiivsuse osa vajaks rohkem diskussiooni.

VASTUS 7

Päikeselt tuleva kiirguse hulk on Marsil võrreldes Maaga on väiksem, kuid samas on punase planeedi atmosfäär hõredam, ehk kiirgus jõuab kergema vaevaga planeedi pinnale ja selle tõttu oleks võimalik koguda rohkem energiat. Aga arvestades sellega, et too planeet on Maast kaugemal on sinna jõudev kogu kiirguse hulk väiksem.

50%. On hea diskussioon, tootlikkuse seisukohast, aga kokkuvõtvat vastust pole. 1000 W/m^2 Maa pinnal, atmosfääri kardina taga, on ikka suurem kui 590 W/m^2 Marsi orbiidil (Marsi pinnal on see veel väiksem).

VASTUS 8

Arvame, et pigem väiksem, kuna Marss on esiteks kaugemal ja teiseks ta gravitatsioon on päris väike võrreldes Maaga, seega sootsam oleks päikseenergiat koguda Maal kui Marsil.

25%. Mis see kaugemal siis tähendab, mis oluline parameeter sellest kaugusest sõltub? Valgusel peaks olema mass, et gravitatsioon rolli hetkel (olulist) mängiks. Lisalugemist:

https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational_lens

<http://astronomyandspace.blogspot.com/2009/12/solar-system-gravity-wells.html>

VASTUS 9

Efektiivsus oleks ilmselt parem (õhk puhtam, nagu eelnevalt mainitud ei ole Marsil sudu ja muud õhureostust, mis takistab päikesekiirguse levimist, ka osoon). Tootlikkus on aga halvem, sest Marss on Päikesest oluliselt

kaugemal kui Maa ja seega jõuab sinna Päikesekiirgus väiksema intensiivsusega.

75%. Efektiivsuse jaoks on temperatuur olulisem parameeter (Ü1). Vt. ka Ü3 ARUTLUS ($\eta = P_{out} / P_{in}$).

VASTUS 10

Marsil oleks väiksem tootlikkus, tippefektiivsus oleks ka väiksem, sest Marss on kaugemal, solaar constant 490W/m²

50%.

VASTUS 11

Väiksem tippefektiivsus, sest Marss on päikesest kaugemal ning sinnani jõuab vähem päikesevalgust. Marsil on ka pidevad tormid, mis takistavad päikesevalguse neeldumist päikeseelementidesse. Marsi pindala on väiksem kui Maal, seega kui katta mõlemad planeedid päikeseelementidega, siis oleks Maal rohkem pindala, mis saaks päikesevalgust neelata. Kui tootlikkust arvutada mõlema planeedi aasta andmete järgi (nt panna 1 päikeseelement), siis oleks Marsil potentsiaalselt rohkem elektrit toodetud, sest päevad on seal pikemad ja aasta kestab kaks korda kauem kui Maal. Marsil on päev pikem, ehk päike paistab kauem kui Maal. Aastas toodaks Marss (aasta=687 päeva) rohkem elektrit kui Maa (aasta=365 päeva), sest Marsil on päevad pikemad.

50%. Vahva mõttearendus. Päev on tõesti suhteline mõiste. Kuid sellepärast ei olegi ta SI ühik – selleks on hoopis sekund - võrreldav suurus, mis on kõikidel planeetidel sama 'pikk' ehk kestab sama kaua. Päril selget vastust siiski ei leidnud küsimusele.

VASTUS 12

Tippefektiivsus oleks kõrgem Marsi kaugusel, sest mida madalam on temperatuur, seda kõrgem on efektiivsus. Marss on Maast kaugemal päikesest st. Temperatuur on madalam. Tootlikus on samuti suurem Maal, sest seal on Solar Constant üle 2 korra suurem.

90%. Mõtte suund õige aga ei selgu seletusest ikkagi, et mille temperatuur madalam on: kas jahutava keskkonna temperatuur või jahutatava elemendi temperatuur (st. vähem soojust, mida keskkonnale vaja eraldada).

ÜLESANNE 5

Millisel Päikesesüsteemi planeedi pinnal oleks kõige parem elektrit toota, eeldades sama tüüpi päikese-elementi kasutust? Tootlikkuse mõttes? Efektiivsuse mõttes? Põhjenda.

ARUTLUS

https://www.alternatewars.com/BBOW/Space/Solar_Constant.htm

<https://physics.stackexchange.com/questions/36041/how-far-from-the-sun-is-a-photovoltaic-effective>

Tänapäevase tehnoloogiaga – Maa. Elektritootmine päikeseelementidega tuleks kõne alla veel ka Marsil.

Päikesele lähedal on liiga kuum, Päikesest kaugel pole piisavalt valgust, olenemata elemendi efektiivsusest. Kus valgust vähe, seal kasutatakse termoelektrilist generaatorit (RTG) mille soojusenergia pärineb radioaktiivselt kütuselt.

https://en.wikipedia.org/wiki/Radioisotope_thermoelectric_generator

Uuri, kus sündis mees, kes esimeste seas kirjeldas termoelektrilist efekti:

https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Johann_Seebeck

Päikesele lähenedes peab hakkama elemente juba varjama:

Parker Solar Probe heat shield explained (YOUTUBE)

<https://science.howstuffworks.com/how-close-can-get-to-sun.htm>

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/cutting-edge-heat-shield-installed-on-nasa-s-parker-solar-probe>

<http://parkersolarprobe.jhuapl.edu/News-Center/Show-Article.php?articleID=77>

Countdown to next milestone

Venus Flyby 4: February 20, 2021,

14 days

1 hr

28 min

<http://parkersolarprobe.jhuapl.edu/index.php#the-mission>

Vastustes on pakutud näiteks Merkuuri, mille puhul Solar Constant 9kW/m^2 . Isegi ebarealistliku 90% efektiivsuse juures muutuks soojuseks 10% mis on muljetavaldav energiahulk - 'kütaksime' 1m^2 -suurust paneeli 0.9kW ehk 900W võimsusega. Ja seda olukorras, kus elementi peab jahutama päevane keskkonnatemperatuur 430°C .

Jupiteri kaugusel 51W/m^2 annab 90% efektiivsusega (kuigi, realistlik oleks pigem 30%) element elektrienergiat 46W umbes ruutmeetrise paneeli kohta. Võrdluseks selle 46W suudaksime Maa kaugusel (kus Solar Constant on 1360W/m^2) toota ainult tühise 3% efektiivsusega ($46/1360$) elementide abil. Või, teistmoodi väljendades, Jupiteri kaugusel oleks vaja ligi 30-korda suuremat pindala, et väljundvõimsus sarnane oleks.

OSALEJATE VASTUSED

VASTUS 1

Mars on piisavalt lähedal Maale, et me saaksime kiiresti ja turvaliselt oma hetkese tehnoloogiaga reisida, et päikesepaneele kohale toimetada või vajaduse korral ära tuua. Seal pole liiga külm ja piisavalt päikesekiirgust ulatub sinna. Stabiilne maa, kuhu päikesepaneele saaks paigutada.

75% Aga miks mitte Maa?

VASTUS 2

Küsimus Eeldades, et seda vähem element peab kulutama oma energiat et jõuda oma siht punktini siis säästetud energia saadakse ära kasutada tootmisel. Sellest järeldades võime julgelt öelda, et sellise teooria järgi oleks kõige parem Mercury. Merkuuril tootes aga tulevad suuremad probleemid nagu pidev kõrge temperatuur jne.

25% Tootlikus kahjuks puudub kui efektiivsus on 0%, liiga kõrged temperatuurid. Sihtpunkti-energiasäästu osa ei ole arusaadav.

VASTUS 3

Me ei osanud jõudnud vastata küsimustele, sest meil jäi aega väheseks. Me tegime esimest ülessannet liiga kaua. Jäi puudu ka mõningatest teadmistest.

HINNANG: Selge, tänu seletuse eest.

VASTUS 4

Selleks on Merkuur, sest Merkuur asub Päikesele kõige lähemal ning seega on päikesekiirgusehulk kõige tugevamv.

25%. Kahjuks liiga kõrged temperatuurid Merkuuril.

VASTUS 5

Jupiteril, sest selle pinnalaotus on suur ning ka peale langenud valgust on rohkem mis suurendab tootlikkust ja võimsust. Jupiter asub ka kaugemal mis muudab selle pinget suuremaks (elemendi temperatuuri tõustes pinget langeb). On ka efektiivsem, sest pinget kasvab.

50%. Ülesandes on (vaikimisi) eeldatud samasugust päikesefarmi pindala, võrreldavuse mõttes. Aga, tõsi, mõttekäigus on jumat. Samas, Jupiteril ei ole kahjuks tahket pinda on ainult tihe atmosfäär. Isegi Maal oleks piisavalt pinda, et katta inimkonna vajadused, miks seda siis ometi ei tehta? Suurtel planeetidel ilmselt energiavajadus farmi loomiseks ületaks energia saagise. Maa peal ei suudeta selliseid suuri kokkuleppeid kahjuks saavutada. Lisalugemist:

<https://theconversation.com/should-we-turn-the-sahara-desert-into-a-huge-solar-farm-114450>

<https://www.inverse.com/article/56499-solar-energy-how-a-small-patch-of-the-sahara-desert-could-power-the-world>

<https://energypost.eu/10000-sq-km-of-solar-in-the-sahara-could-provide-all-the-worlds-energy-needs/>

VASTUS 6

Merkuuril kuna see planeet on päikesele kõige lähemal ja kiired on kõige tugevamad ja kõige kompaktsamad

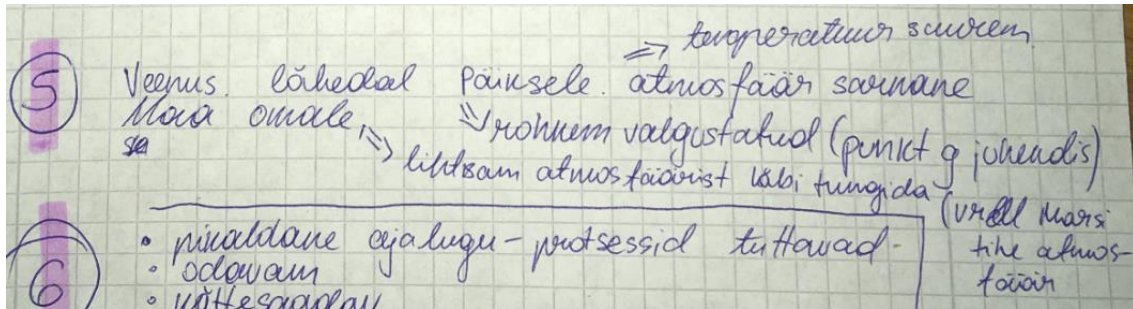
25% Liiga kõrged temperatuurid Merkuuril (tuleta meelde ka Ü1).

VASTUS 7

Veenus, sest on päikesele lähemal, seega rohkem päikeseenergiat, maapind on suurem, seega rohkem pinda, kus energiat püüda, temperatuur ka suurem.

TAGASISIDE: Miks mitte Merkuur siis hoopis? Maapind on suurem millest? Miks eelistad kõrgeid temperatuure?

VASTUS 8



TAGASISIDE. Liiga kõrged temperatuurid Veenusel (vt. Ü1). Atmosfäär tihedam kui Marsil.

VASTUS 9

Tootlikkuse mõttes oleks Merkuuril, kuna See on Päikesele lähim planeet, ja seal on päikest kõige rohkem. Kahjuks ei mäleta, aga kas Merkuuril või Veenusel on 1 päev pikem kui 1 aasta, ja sellisel juhul saaks panna nt osa paneele ühele poole planeeti ja osa teisele poole planeeti ja siis on kogu aega pidevalt päikese energiat võimalik koguda. Kuid probleemiks läheks ka see, et kas praegused paneelid suudaksid kohalikku temperatuuri taluda.

50% Päeva/aasta pikkuse suhe väga hea argument, tublid.

VASTUS 10

Vaadates planeetide asukohti ja gravitatsioonijõude päikesesüsteemis, siis kõige mõistlikum oleks elektrit toota kas Veenusel, Maal või Jupiteril.

TAGASISIDE: Miks siis need planeedid just?

VASTUS 11

Mida lähemal planeet päikesele, seda rohkem päikesevalgust. Aga samas ei tohi see planeet liiga lähedal olla, sest muidu päikeseelemendid lakkaks kuumuse pärast töötamast. Maa pinnal kasutamiseks mõeldud päikeseelemendid on kõige paremad Maal kasutamiseks, sest need on siin planeedil disainitud ning disaini juures pole mõeldud sellele, kuidas saaks neid mujal planeetidel kasutada. Elektri tootmine Maa peal disainitud päikeseelemendiga on kõige parem planeedil Maa kasutamiseks.

100%

VASTUS 12

Maa, sest tingimused on kõige paremad. Temperatuur pole sulatav ja päikese kiirgust on parajalt. Merkuuril on näiteks päeval 179 C.

100%

ÜLESANNE 6

Hoolimata väga suurtest rekord-efektiivsustest (vt. Ü2, viide [2]), mis on saavutatud erinevate tehnoloogiatega, on maaapealsetes rakendustes päikesepaneelide konkurentsist kristalse räni kasutamise osakaal energiatootmises endiselt domineeriv 90-95%. Millised võiksid olla põhjused? Arutlege ja nimetage.

ARUTLUS

Väga suured rekordid tabelis on reeglina *proof-of-concept*, st. ei ole mõistlik toota, kulud liiga suured, peamiselt laboratoorne eksperiment ja tõestus. Ränil on suur edumaa, mastaabi-efekt tootmisel ja pikk *learning curve* on räni puhul selja taga, välja on töötatud ka erinevaid räni-põhiseid tehnoloogiaid, mis on kõik suhteliselt standardiseeritud, ning suured tehased juba tegutsevad. Rolli mängib ka toormaterjali materjali kättesaadavus ja hind. Samuti on räni elektroonikatööstuses juba väga laialdasel kasutusel (samuti domineerivalt), erinevalt teistest uutest või 'eksootilisest' päikeseelementide materjalidest. Kindlasti on majanduslikud põhjused olulised (turg ja konkurents) – kui kasumliku tegevust (veel) ei ole, ning ühiskondlik ostuvõime ning surve ja rohelise energia nõudlus ei suurene järsult, siis on raske uute (nt. ränist paremate) tulevikutehnoloogiatega, mille toomisüksused on väikesed ja/või eksperimentaalsed jõuliselt välja tulla (spin-off / start-up). Samuti on nn. esimese põlvkonna ehk räni-põhiste elementidel suur edumaa kumulatiivselt installeeritud jaamade näol. Räni tootmine ei ole iseenesest odav ega lihtne ning tehnoloogilised protsessid on tegelikult väga kulukad. Samuti ei ole räni tegelikult parim valguse neelaja.

OSALEJATE VASTUSED

VASTUS 1

Need, kes kristalset räni müüvad, saavad selle eest palju raha. Kuigi päikese-elementi kaudu saadav viis on efektiivne ei saa nende tegijad sama palju raha, kui kristalse räni korral. Kasum on kristalset ränil suurem, sest päikesepaneelide tootmine on kallim.

25% Potentsiaalne vastuolu: ei selgu täpselt kuidas kasum peaks olema suurem, juhul kui tootmine on kallim?

VASTUS 2

Küsimus; Vaadates Räni keemilist koostist ja omadusi on räni väga mitme külgnene ja painduv vastavalt vajadustele materiaalselt. Ränil on väga kõrge sulamis temperatuur tänu millele ei ole sulamis ohtu päikese paneeli sees. Räni on veel pooljuht ja suudab loovutada elektrone kui ka neid vajadusel juurde võtta. Selline elektronkatte väliskihi ehitus võimaldab ränil sobivate tingimuste olemasolul moodustada erinevaid keemilisi sidemeid ja -ühendeid.

50%. Keemiline ja struktuurne stabiilsus on argument, samuti kasutuala paindlikkus.

VASTUS 3

Me ei osanud jõudnud vastata küsimustele, sest meil jäi aega väheseks. Me tegime esimest ülessannet liiga kaua. Jäi puudu ka mõningatest teadmistest.

TAGASISIDE: Selge, tänud seletuse eest.

VASTUS 4

Räni kasutatakse palju, kuna seda on maailmas palju ja seda on odav kasutada.

25%

VASTUS 5

kuna räni on olnud kasutusel aastaid siis tema kvaliteet on saadud maksimaalseks ja hind minimaalseks (suur osa patente võivad olla kehtivuse lõpetanud ja hiinalased on tehnoloogiat kopeerinud)

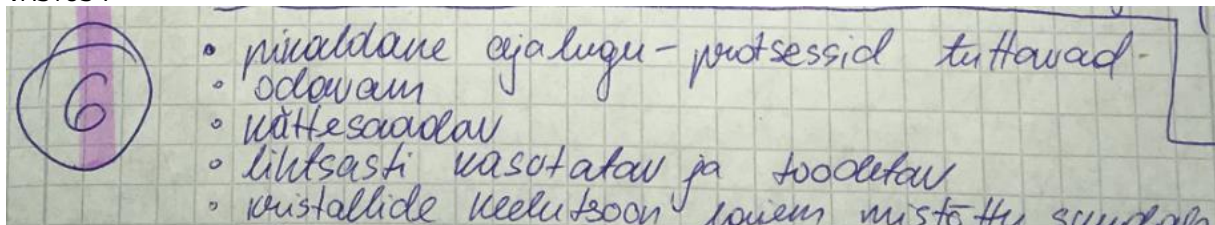
50%

VASTUS 6

Kristalne räni on suhteliselt efektiivne oma odava hinna kohta praegusel turul. Samuti arvestades tahvlite paksumõõdu (~200 + -40 mikromeetrit) on selle kogus ühe paneeli tootmiseks suhteliselt väike. Odavam on teha natukene kehvema, kuid väga palju rohkem odavamaid paneele, kallimate ja pisut paremate asemel.

50%

VASTUS 7



50%

VASTUS 8

Kristalne räni on odavam ja seda leidub maakoores rohkem kui muud materjale ning on kergemini töödeldav? Seda on lihtsam kätte saada. See on rohkem tuntud ja seetõttu inimesed arvavad, et kristalne räni on turvalisem kasutada, kui mõned muud tehnoloogiad.

50%

VASTUS 9

Põhjus on selles, et see on odav. See on laialt kasutuses (tähebmas tootmist, mis tähendab madalamat hinda). Tehnoloogia on juba põhjalikult välja töötatud. Kui kasutada mõnda muud väga efektiivset uuenduslikku viisi kulub selle arendamiseks ja tootmiseks väga palju raha (nõuab suurt investeerimist). Sestap on odavam ja seega mõistlikum kasutada juba olemasolevat tehnoloogiat.

75%

VASTUS 10

Räni on lihtsamini kättesaadav ja odavam. Efektiivsuse vahe ei tasuks end ära.

25%

VASTUS 11

Aine märkimisväärtus eelis on selle kättesaadavus. Tõsi, see pole looduses vabas vormis, kuid sellegipoolest

pole rāni tootmistehnoloogia nii keeruline, ehkki see on energiakulu.

Teine kõige olulisem eelis on paljude ebaharilikult kasulike omadustega ühendite moodustumine. Need on silaanid, silitsiidid ja dioksiid ning muidugi mitmesugused silikaadid. Rāni ja selle ühendite võime moodustada keerulisi tahkeid lahuseid on peaaegu lõputu, mis võimaldab teil lõputult vastu võtta mitmesuguseid klaasi, kivi ja keraamika variatsioone.

Mittemetallide pooljuhtide omadused annavad talle alusmaterjali koha elektri- ja raadiotehnikas.

Mittemetall on mittetoksiline, mida saab kasutada igas tööstuses, ja samas ei muuda see protsessi potentsiaalselt ohtlikuks.

50% Seletus kaldub natuke kõrvale aga õnneks on pointi ka.

VASTUS 12

Suhteliselt kõrge sulamistemperatuur

- Üpris tugev materjal
- Kättesaadav
- Pole väga kallis võrreldes mõne teise alternatiiviga.

50%

ÜLESANNE 7

Millisel Päikesesüsteemi planeedil kasutaksid pigem laia keelutsooniga valgust neelavat materjali? Ja vastupidi, millisel planeedil eelistaksid kitsa keelutsooniga materjali selleks, et parim tootlikkus saavutada? Et parim efektiivsus saavutada? Miks?

ARUTLUS

Tegelik päikeseelement koosneb enamast kihtidest, kui ainult (ühest) valgust neelavast materjalist ja ülesanne on seega mõnevõrra kunstlik. Samuti jätame kõrvale kiirguskaitse = *radiation shield* kasutusvõimaluse (mainitud Ü5). Seega, tugineme ainult juhendi infole, samuti lubades kasutada Merkuurist kasvõi Pluutoni (st. jättes kõrvale kaalutlused ratsionaalses/mõistlikkuse osas, vt. Ü5 arutlus). Isegi sedasi on ülesanne kindlasti piisavalt keeruline nii kesk- ja kindlasti põhitasemele.

Sedasi ülesannet mõtestades oleks tootlikkus suurem päikesele lähemal, juhul kui keelutsoon on suur/lai – siis suurem osa nähtavat valgust, mida on seal rohkelt, lastakse elemendist (õnneks) nõ. läbi, vältides ülekuumenemist, ning muundaksime ainult ultravioletset valgust. Sellises väga intensiivse valgustatuse tööpiirkonnas ei oleks ka väikese efektiivsuse küsimus enam üldse probleem (vt. Ü5 arutlus – Merkuur VS Jupiter). Voolu saab põhimõtteliselt suurendada elementide paralleel-ühendusega.

Seevastu päikesesüsteemi kauges perifeerias oleks vaja kõik footonid kätte saada ja kitsa keelutsooniga materjali kasutada. Efektiivsus oleks nii või teisiti väga madal. Ja pinget saaks ka põhimõtteliselt tõsta elementide järjestikühendusega.

OSALEJATE VASTUSED

VASTUS 1

Merkuuril kasutaks laia keelutsooniga päikesepaneeli, sest seal tuleb piisavalt päikesevalgust, et kui osa valgusest ei neeldu poleks sellest hullu, sest seal tuleb juba maksimaalselt päikesevalgust. Neptuunil kasutaks kitsaga, sest sinna jõuab väga vahe päikesevalgust ja mida väiksem on keelutsoon seda vähem päikesevalgust minema lükatakse.

100%

VASTUS 2

Me ei osanud jõudnud vastata küsimustele, sest meil jäi aega väheseks. Me tegime esimest ülesannet liiga kaua. Jäi puudu ka mõningatest teadmistest.

TAGASISIDE: Selge, tänud seletuse eest.

VASTUS 3

Maale paneksime laia keelutsooniga valgust neelavat materjali ja kitsa keelutsooniga valgust neelava materjali paneksime Merkuurile.

TAGASISIDE: Puudu on seletus miks. Ilmselt selle käigus oleks ka õige vastus kirja saanud.

VASTUS 4

Kui planeet on Päikesele lähemal kui Maa kasutaks laia keelutsooniga paneeli, et pinge ei läheks temperatuuri tõusmisel liiga madalaks ja kui planeet on päiksest kaugemal kui Maa, siis kitsa keelutsooniga paneeli, sest pinge ei lähe madalaks temperatuuri tõttu.

25% Vastus õige aga arutlus küsitav. Vastuolu seletuses. Esimene osa seletab, et pinge väheneb temperatuuri tõusuga, mis on iseenesest õige. Kuid teine osa seletab, et pinge väheneb 'temperatuuri tõttu' (languse tõttu?).

VASTUS 5

kitsa keelutsooniga paneksin merkuurile kuna päikese kiired on kõige kompaktsemad ja tihedamini koos, laiema pnaksin siis

TAGASISIDE: Vastus ja seletus poolik kahjuks.

VASTUS 6

Paksemat keelutsooni kasutaks planeetidel, mis on lähemal päikesele, kuna need taluvad kuumemaid kliimasid ning suudavad rohkem infrapunavalgust energiaks muuta. Kitsemaid keelutsoone selle eest kasutaks kaugematel planeetidel vastupidistel põhjustel.

25% Vastus õige aga valelidel jalgadel seisab. Lai või suur on levinud väljend keelutsoonijaoks, paks on uus väljend. Aga see selleks. Vastuolu on siiski: paks keelutsoon (kui selle all ikkagi laia silmas on peetud) on hoopis suurte energiakvantide absorber ja kahjuks infrapuna ei neela.

VASTUS 7

Kuna "lühemaid" kiirguseid on rohkem kui pikki, siis ilmselt jõuavad lühemad kaugemale. Sama mõttearendust edasi arendades, on pikemate lainepikkuste liigutamiseks rohkem energiat vaja ja need on sellisel juhul pikki kiirguslaineid Päikesele lähematel planeetidel rohkem kui kaugematel planeetidel ja kaugematel planeetidel on valdavalt lühemad kiirguslained.

TAGASISIDE: Lühilainelise (suurema energiaga) ja pikalainelise valguse (väiksema energiaga) intensiivsus väheneb kaugusega päikesest mõlemal juhul eksponentsiaalselt. Maailmaruumis pole atmosfääri, mis üht või teist tüüpi kiirgust selektiivselt neelaksid. Teisisõnu, suhtarv lühike/pikk jääb samaks, olenemata kaugusest,

VASTUS 8

Päikesele lähemalolevatel planeetidel kasutaks laia keelutsooniga valgust neelavat materjali ja kaugematel planeetidel vastupidi. Kaugematel on vaja kitsast et rohkem valgust kinni püüda. Päikesele lähemal olevad planeetidel võib juhtuda nii et seade kuumeneb üle, kuna planeet on lähemal on vaja ka rohkem jahutust ehk siis lähemalolevatel planeetidel oleks mõistlikum kinni püüda vähem valgust et süsteemi jahutamine ei ületaks toodetavat energiat.

100%

VASTUS 9

Päikesel lähedal peaksime kasutama kiirgust neelavais materjale ehk siis kitsa keelutsooniga ja hüperpoolse metamaterjale, mille rakenduste hulka kuuluvad eelkõige kiirguse neeldumisega seotud tehnoloogiad, näiteks kõrge efektiivsusega päikesepaneelid, fotodetektorid ja radaritehnoloogia. so Merkuur, Marss, Maa ja Veenus kuna seal on kaugematest planeetidest suurem päikesekiirguse mõju.

TAGASISIDE: Rohkem selgust vaja seletuses.

VASTUS 10

Laia keelutsooniga oleks Veenusel. Kitsa keelutsooniga oleks Neptuun, sest seal on kõige vähem päikesekiirgust. Et võimalikult palju päikesekiirgust saada on vaja väikest keelutsooni.

HINNE: 100%