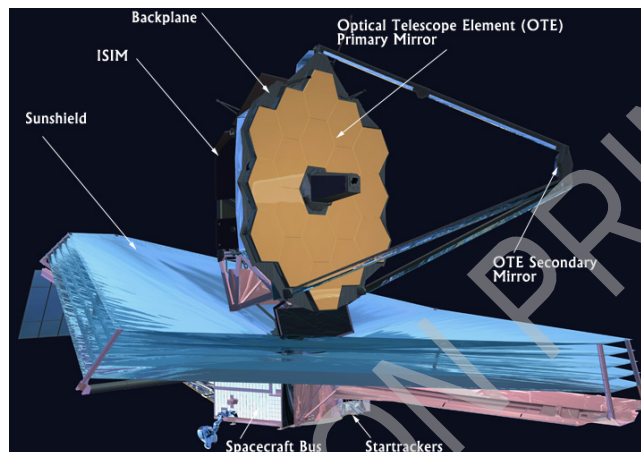


Džeimsa Veba kosmiskais teleskops (12 punkti)

Uzdevumā apskatīsim fiziku, kas saistīta ar Džeimsa Veba kosmisko teleskopu. Gaisma no zvaigznes krīt uz primārā spoguļa, kura laukums ir $A_{\text{mirror}} = 25 \text{ m}^2$, un tālāk atstarojas no sekundārā spoguļa. Sistēmas fokusa attālums ir $f = 130 \text{ m}$. Gaisma tiek fokusēta uz IZIM (Integrēto Zinātnisko Instrumentu Moduli), kurā atrodas CCD (lādiņpārneses ierīce, kuru izmanto kā starojuma uztvērēju) kameras.



Attēla autors: NASA

A daļa. Zvaigznes attēlošana (1.8 punkti)

Tuvākais Sarkanais milzis (liela, ne pārak karsta zvaigzne) atrodas 89 gaismas gadu attālumā, tā temperatūra ir $T_{\text{star}} = 3600 \text{ K}$ un diametrs $d_o = 1.7 \times 10^{11} \text{ m}$.

A.1	Aprēķini fokusētās zvaigznes attēla diametru uz CCD kameras virsmas.	0.4pt
A.2	Novērtē difrakcijas centrālā maksimuma diametru uz CCD kameras virsmas. Pieņem, ka krītošo viļņu garums $\lambda = 800 \text{ nm}$, kas atbilst spektrālajam apgabalam ar visaugstāko intensitāti gaismai no Sarkanā milža	0.4pt
A.3	Ja CCD netiek dzesēts un var zaudēt siltumu tikai starojuma veidā no kameras virsmas (tā pati virsma uz kuru krīt attēls), kāda būtu CCD līdzsvara temperatūra Sarkanā milža attēla atrašanās vietā? Pieņemsim, ka CCD virsma ir melns ķermenis. Norādi formulu un skaitlisko aprēķinu.	1.0pt

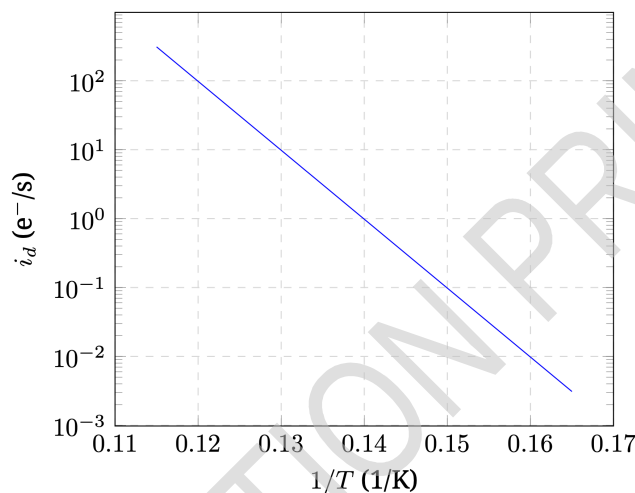
B daļa. Fotonu skaitīšana (1.8 punkti)

CCD kameras, absorbējot fotonu, tā emitē elektronu aparāta iekšpusē. Tas notiek tikai tad, ja fotonam ir pietiekami augsta enerģija, lai ierosinātu elektrona pāreju pāri enerģētiskai barjerai, kuras augstums ir ΔE_g . Pieņemsim, ka tas vienmēr izdodas katram fotonam, kura enerģija ir lielāka par šīs barjeras augstumu. Tomēr ierosinātie elektroni var caur barjeru atgriezties atpakaļ, radot noplūdes strāvu, ko izraisa CCD kameras temperatūra; to sauc par tumšo strāvu i_d , un to mēra elektronu skaitā vienā sekundē. Tā

ir funkcija no temperatūras, kas izsakās sekojoši:

$$i_d = i_0 e^{-|\Delta E_g|/6k_B T}. \quad (1)$$

kur i_0 ir konstante



Attēlā parādīta tumšās strāvas atkarība no temperatūras. Tumšās strāvas mērvienību e^-/s vajadzētu uztvert kā elektronu skaitu sekundē.

- B.1** Izmantojot tumšās strāvas grafiku, novērtē lieluma kārtu zemākajai temperatūrai tālu esošam fotonu avotam, kura emitēto fotonu enerģija ir tieši tik, cik nepieciešams, lai pārvarētu enerģētisko barjeru un attiecīgi emitē elektronu uz pikseļa CCD kamerā. 0.4pt

Ierosinātie elektroni tiek uzkrāti kondensatorā, un pēc noteikta ekspozīcijas laika τ elektroni tiek saskaitīti. Procesam piemīt trīs galvenie nenoteiktības avoti: konstanta nenoteiktība skaitīšanas procesā, ko sauc par nolasīšanas troksni; Puasona sadalījuma kļūda, kas saistīta ar tumšo strāvu, un Puasona sadalījuma kļūda, kas saistīta ar detektētajiem ienākošajiem fotoniem. Puasona sadalījuma kļūda ir vienāda ar kvadrātsakni no notikumu skaita dotajā procesā.

Izmērītais fotonu skaits ir vienāds ar elektronu skaitu kondensatorā mīnus elektronu skaits, kas saistīts ar tumšo strāvu.

- B.2** Uzraksti izteiksmi kopējai skaita nenoteiktībai σ_t , ja zināms nolasīšanas troksnis un nenoteiktība ir σ_r , tumšā strāva i_d , ienākošo fotonu skaits laika vienībā p un ekspozīcijas laiks τ . 0.4pt

B daļas atlikušajos jautājumos pieņem, ka ekspozīcijas laiks ir $\tau = 10^4$ s un nolasīšanas nenoteiktība ir fiksēts lielums $\sigma_r = 14$.

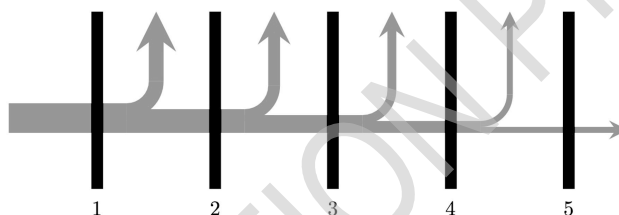
- B.3** Pieņemsim, ka darba temperatūra ir $T_p = 7.5$ K. Aprēķini minimālo fotonu skaitu laika vienībā p , lai fotonu skaits būtu desmit reizes lielāks par to skaita nenoteiktību. 0.5pt

- B.4** Pieņemsim, ka visiem ienākošajiem fotoniem enerģija ir tikai tik daudz, lai spētu pārvarētu enerģētisko barjeru. Kāda ir B.3. punktā minētā fotonu avota intensitāte uz primārā spoguļa? Izsaki savu atbildi ar W/m^2 0.5pt

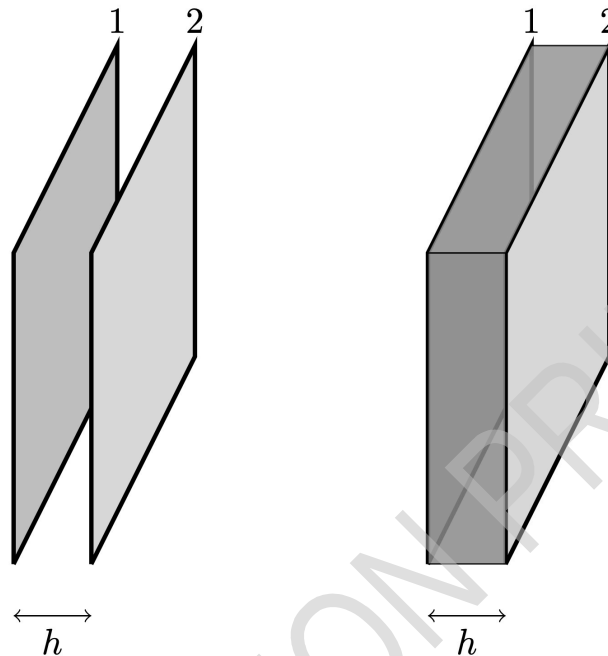
C daļa. Pasīvā dzesēšana (4.4 punkti)

Infrasarkano CCD kameru nepieciešams uzturēt zemā temperatūrā. Lai to panāktu, vispirms izveidots vairogs, kas to pasargā no saules starojuma.

Saules vairogs sastāv no pieciem savstarpēji atdalītiem atstarojošiem slāņiem plānās loksnēs (attēlā tumšā krāsā); saules starojuma enerģija (attēlā pelēkā krāsā) krīt uz pirmo loksnī no kreisās puses, un daļa enerģijas izplūst starp katru loksnes pāri.



Schematisks enerģijas plūsmas attēlojums: vertikālās līnijas (tumšā krāsā) ir atstarojošās loksnes, enerģijas plūsma (pelēkā krāsā) ir no kreisās puses uz labo, tomēr starp loksnēm daļa enerģijas tiek zaudēta un aizplūst izplatījumā.



Kreisajā pusē ir vienkāršs modelis ar divām blakus esošām loksņēm 1 un 2, kuras šķir attālums h . Loksnes nav savienotas, un to perimetrs ir atvērts telpā. Pieņemsim, ka loksnes ir paralēlas. Starp loksņēm var notikt siltumstarojuma apmaiņa, un siltumstarojums var izplūst caur perimetra spraugu. Labajā pusē perimetra sprauga ir iekrāsota, lai atvieglotu vizualizāciju.

Pieņemsim šādus vienkāršojumus:

- Loksnes ir kvadrātveida ar laukumu $A_{\text{sheet}} = 200 \text{ m}^2$.
- Loksnes ir savstarpēji paralēlas un atrodas attālumā $h = 25 \text{ cm}$ viena no otras.
- Loksņēm ir nemainīgs emisijas koeficients $\epsilon \ll 1$. Pieņem, ka atstarošanās no lokšņu virsmām ir difūza.
- Loksnes ir plānas; to temperatūra uz priekšējās un aizmugurējās virsmas ir vienāda un vienmērīgi sadalīta.
- Loksnes izstarotās starojuma plūsmas daļa, ko absorbē blakus esošā loksne, ir $\alpha \leq 1$. Tas nozīmē, ka, ja apakšējā loksne izstaro siltuma daudzumu Q_1 augšējā plāksnes virzienā, tad augšējā plāksne no apakšējā absorbēs siltuma daudzumu αQ_1 .
- Loksnes izstarotās starojuma plūsmas daļa, kas tiek pazaudēta starp plāksnēm, tiek aproksimēta ar βQ_{12} , kur αQ_{12} ir neto siltuma plūsma starp divām plāksnēm. Tas ir ekvivalenti tam, ja saka, ka siltuma zudumi (kas aizplūst izplatījumā no plāksnēm) ir proporcionāli neto siltuma apmaiņai starp plāksnēm. Tas ir tuvinājums šīs problēmas ietvaros.
- Kosmiskā fona temperatūra ir niecīga.

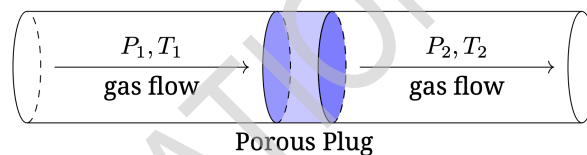
C.1 Izsaki līdzsvara temperatūras pirmajai un piektajai loksnei, izmantojot krītošās saules starojuma intensitāti I_0 , konstantes α un β , kā arī nepieciešamās fizikālās konstantes. Lai vienkāršotu izteiksmi, vari ieviest papildu konstantes, kas izsakāmas, izmantojot iepriekšminētos lielumus α un β utt. 2.4pt

C.2 Izmantojot informāciju par loksnes ģeometriju, skaitliski nosaki konstantes α un β , pieņemot, ka emisijas koeficients ir $\epsilon = 0.05$. Ieteikums apdomāt modeli taisnstūrveida kastes formā, kur perimetra laukums efektīvi kalpo kā perfekts starojuma absorbētājs. 1.6pt

C.3 Skaitliski nosaki 1. un 5. loksnes temperatūru. Saules starojuma intensitāte ir $I_0 = 1360 \text{ W/m}^2$. 0.4pt

D daļa. Aktīvā dzesēšana (4 punkti)

Pēdējais posms kopējā dzesēšanas konstrukcijā ir tiešā veidā aktīvi dzesē CCD kameru. Tas tiek panākts, izmantojot slēgta cikla dzesēšanas sistēmu, kurā ir padeves cauruļvads, kas pievada hēlija gāzi ar nemainīgu spiedienu P_1 . Tālāk gāze pārvietojas caur sūklim līdzīgu porainu aizbāzni un nonāk caurulē ar nemainīgu spiedienu P_2 , pa kuru tā tiek aizvadīta līdz CCD tās dzesēšanas nolūkos. Visbeidzot, gāze caur sūkni tiek atkal atgriezta padeves cauruļvadā.



Hēlija gāze tiek pievadīta no kreisās puses ar nemainīgu spiedienu P_1 un temperatūru T_1 . Caur aizbāzni gāze tiek pārvadīta uz labo pusi, kur ir nemainīgs gāzes spiediens P_2 un temperatūra T_2 , un aizvadīta tālāk prom uz CCD kameru.

Gāzei pārvietojoties caur poraino aizbāzni, viskozitātes radītā berze ar sūkļa šaurajām sienām kļūst par svarīgu efektu, taču šī procesa laikā siltums netiek saņemts vai aizvadīts no gāzes. Gāzes tilpuma vienības pārvietošanās ātrums 2. apgabalā ir tikai nedaudz lielāks nekā 1. apgabalā.

Hēlijs nav ideāla gāze, taču nepārtraukti saglabā gāzveida stāvokli visā procesa gaitā.

D.1 Iedomājies, ka caur aizbāzni no kreisās puses uz labo tiek pārvadīts viens mols gāzes. 1.0pt
 Atbilžu lapā aizpildi tabulu, atzīmējot ">" vai "<", lai identificētu, kurš no termodinamiskajiem lielumiem ir lielāks, "=", lai identificētu vienādos lielumus, vai arī "?", ja to nav iespējams noteikt bez papildu informācijas.

D.2 Nosaki lielumu, kas saglabājas, izmantojot U (iekšējā enerģija), P (spiediens) un V (tilpums), molam gāzes pārvietojoties caur aizbāzni; parādi aprēķina gaitu, kā tu iegūsti šo lielumu, kas saglabājas. 0.6pt

Tavās atbilžu lapās ir attēls, kurā parādīta hēlija iekšējās enerģijas pret masu atkarība no tās tilpuma pret masu kopā ar izotermām un konstantas entropijas līnijām.

D.3 Pieņemsim, ka $V_2 = 0.100 \text{ m}^3/\text{kg}$ un $T_2 = 7.5 \text{ K}$. Izmanto grafiku, lai atrastu D.2. daļā atrastā nemainīgā lieluma skaitlisko vērtību. Parādi konstrukcijas gaitu grafikā! 1.4pt

D.4 Nosaki maksimālo iespējamo temperatūru T_1 . Parādi konstrukcijas gaitu grafikā! 0.8pt

D.5 Izmantojot tevis iegūto maksimālo T_1 vērtību, ko ieguvi D.4, skaitliski nosaki P_1 . 0.2pt

DELEGATION PRINT