

sokerimolekyylit voivat reagoida keskenään muodostaen ruskeita väriaineita. Ruuan ruskistuminen riippuu siis lämpötilasta ja pinnan kemiallisesta rakenteesta.

13-11.

- a) Musta kappale on säteilijää kuvaava malli. Musta kappale on ideaalinen pinta, joka voi vastaanottaa ja lähettää sähkömagneettista säteilyä kaikilla aallonpituuksilla. Musta kappale säteilee kaikilla aallonpituuksilla ja absorboi kaiken siihen osuvan säteilyn. Mustan kappaleen säteilyn spektri riippuu ainoastaan kappaleen lämpötilasta. Täydellistä mustaa kappaletta ei ole olemassa. Aurinkoa voidaan pitää lähes ideaalisena mustana kappaleena: jos mustan kappaleen lämpötila on sama kuin Auringon pinnan lämpötila, molempien lähettämän valon spektrit ovat lähes samanlaiset.

- b) Musta aukko ei ole ideaalinen musta kappale, sillä mustan aukon sisältä ei tule ulos mitään, ei edes säteilyä. Ideaalinen musta kappale sekä absorboi että emittoi kaiken aallonpituista säteilyä. Mustan aukon pinnalla sen sijaan syntyy säteilyä (Hawkingin säteilyä), jolla on samanlainen spektri kuin mustan kappaleen säteilyllä.

- c) Simulaation mukaan mustan kappaleen lämpötilan kohotessa sen emissiospektrin intensiteettimaksimia vastaavan aallonpituusjakauman huipun aallonpituus pienenee.

Wienin siirtymälaki $T\lambda_{\max} = b$ voidaan esittää muodossa $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$. Yhtälön mukaan

intensiteettimaksimia vastaava aallonpituus λ ja mustan kappaleen lämpötila T ovat kääntäen verrannollisia. Näin ollen jos mustan kappaleen (tähten) lämpötila T kohoaa, intensiteettimaksimia vastaava aallonpituus pienenee.

13-12.

- a) $\lambda_{\max} = 10\,000\text{ nm} = 10\,000 \cdot 10^{-9}\text{ m}$, $b = 2,89777 \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$

Oletetaan, että Maan säteily noudattaa mustan kappaleen säteilyä. Wienin siirtymälain $T\lambda_{\max} = b$ avulla Maan pintalämpötilaksi saadaan

$$T = \frac{b}{\lambda_{\max}} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}}{10000 \cdot 10^{-9}\text{ m}} \approx 290\text{ K}.$$

- b) $T = 2,7\text{ K}$, $b = 2,89777 \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$

Wienin siirtymälain $T\lambda_{\max} = b$ saadaan kosmisen taustasäteilyn spektrin huipun aallonpituudeksi

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}}{2,7\text{ K}} \approx 1,1\text{ mm}.$$

13-13.

- a) Tähtien pintalämpötila voidaan määrittää Wienin siirtymälain avulla vertaamalla tähden säteilyn spektriä ja sen aallonpituutta mustan kappaleen säteilyn spektriin. Wienin siirtymälaista $T\lambda_{\max} = b$ saadaan $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$.

- b) $T = 8100 \text{ K}$, $b = 2,89777 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 Wienin siirtymälaista $T\lambda_{\max} = b$ saadaan säteilyn aallonpituudeksi

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{8100 \text{ K}} \approx 3,6 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 360 \text{ nm}.$$

Tähtien väri on valkea.

13-14.

$$T = 5800 \text{ K}, b = 2,89777 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}, \sigma = 5,67040 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$$

- a) Wienin siirtymälaista $T\lambda_{\max} = b$ saadaan Auringon säteilyn intensiteettimaksimia vastaavan säteilyn aallonpituudeksi $\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{5800 \text{ K}} = 4,99616 \cdot 10^{-7} \text{ m} \approx 500 \text{ nm}.$

Aallonpituus on vihreän valon aallonpituusalueella.

- b) Mallinnetaan Aurinkoa mustana kappaleena. Auringon pinnan säteilyteho on Stefanin-Boltzmannin yhtälön mukaan $I = \sigma T^4 = 5,67040 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4) \cdot (5800 \text{ K})^4 \approx 64 \text{ MW}/\text{m}^2.$

13-15.

- a) Lämpökamera muodostaa kuvan esineen tai olennon pintalämpötilasta pinnan lähettämän infrapunasäteilyn perusteella, samaan tapaan kuin tavallinen kamera muodostaa kuvan näkyvän valon perusteella. Kamera määrittää pinnan lähettämän säteilyn energijakaumasta pinnan lämpötilan kussakin kohtaa pintaa, ja muodostaa tämän perusteella kuvan, jossa eri lämpötilat esitetään eri väreillä.

- b) Henkilön otsan lämpötila on $36,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Otsan säteilyn aallonpituusjakauman huipun kohdalla aallonpituus on

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{(36,8 + 273,15) \text{ K}} = 9,349 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 9350 \text{ nm}.$$

Säteily on infrapunasäteilyn alueella. Sen havaitsemiseen tarvitaan lämpökamera. Paljain silmin emme voi nähdä ihmisen itsensä lähettämää säteilyä.

13-16.

Infrapunalamppun valon väri näkyy puhelimen kameran kuvassa violetina. Kaukosäätimen eri näppäimien painamiset saavat säätimen infrapunalamppun välkkymään eri tavoin. Esimerkiksi televisio osaa tulkita lampun vilkkumisen perusteella, mitä kaukosäädintä painanut käyttäjä toivoo television tekevän.