



Du håller på att skriva en artikel om så kallade solsegel. Det största solsegel som tillverkats av människan skickades upp i rymden år 2014 på ett uppdrag som tar det tre miljoner kilometer bort från jorden. Solsegelet med namnet Sunjammer är stort som en halv fotbollsplan, men det väger bara 30 kilo.

För din artikel bestämmer du dig för att räkna ut accelerationen för detta solsegel om det skulle skickas ut från rymdstationen ISS. Du antar att seglet träffas av solljus med den genomsnittliga våglängden som motsvarar den våglängd där solen har sitt intensitetsmaximum.

Kontextrika problem i fysik

Lösning

En fotbollsplan har de ungefärliga dimensionerna 100 m x 50 m.

Beräkna den våglängd där solen har sitt intensitetsmaximum:

$$\lambda_m \cdot T = k \Leftrightarrow \lambda_m = \frac{k}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{6000} \text{ m} \approx 4,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

En foton med denna våglängd har rörelsemängden:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{4,83 \cdot 10^{-7}} \text{ kgm/s} \approx 1,37 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s}$$

Vi gör nu antagandet att solseglet i genomsnitt träffas av fotoner med denna rörelsemängd.

$$\text{Bestäm dessa fotoners energi: } E = hf = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{4,83 \cdot 10^{-7}} \text{ J} \approx 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Om seglet träffas av 1,4 kW/m² blir antal, N, fotoner som träffar solseglet på en sekund:

$$\frac{1400 \cdot 100 \cdot 50}{5,38 \cdot 10^{-18}} = 1,7 \cdot 10^{25} \text{ st.}$$

Eftersom fotonen ”studsar” tillbaka blir den totala förändringen i rörelsemängd på en sekund då: $\Delta p = N \cdot 2p_{\text{foton}} = 1,7 \cdot 10^{25} \cdot 2 \cdot 1,37 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s} \approx 0,047 \text{ kgm/s}$.

$$\text{Impulslagen ger: } Ft = \Delta p \Leftrightarrow F = \frac{\Delta p}{t} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3}}{1} \text{ N} = 0,047 \text{ N}$$

$$\text{Kraftekvationen ger: } a = \frac{F}{m} = \frac{0,047}{30} \text{ m/s}^2 \approx 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2.$$

Svar

Utifrån ovanstående antaganden skulle solseglet få accelerationen $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$.

Kontextrika problem i fysik

Alternativ lösning

Den fotonenergi, ΔE , som träffar solseglet på tiden Δt kan skrivas som en summa över alla fotoner, i , som träffar seglet på denna tid: $\Delta E = \sum_i hf_i$. På samma sätt kan vi teckna den rörelsemängd som överförs till solseglet på samma tid som $\Delta p = \sum_i \frac{2h}{\lambda_i} = \frac{2}{c} \sum_i hf_i = \frac{2}{c} \Delta E$, där tvåan förklaras av att fotonen reflekteras så att förändringen blir dubbla fotonens rörelsemängd (om den skulle absorberas ska tvåan tas bort). Den fotonenergi, ΔE , som träffar solseglet på tiden Δt kan också skrivas $\Delta E = IA\Delta t$, där I är strålningsintensiteten och A är seglets area. Den rörelsemängd som överförs kan då skrivas $\Delta p = \frac{2}{c} IA\Delta t$. Kraften, F , på solseglet blir då $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2}{c} IA = \frac{2 \cdot 1,4 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 50}{3,0 \cdot 10^8} \text{ N} = 46,7 \text{ mN}$. Accelerationen på solseglet blir $a = \frac{F}{m} = \frac{46,7 \cdot 10^{-3}}{30} \text{ m/s}^2 = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$.

Svar

Solseglets acceleration blir $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$.

Denna alternativa lösning är nog svår för eleverna att komma på, men den kan däremot ges som en fördjupningsuppgift till en grupp som snabbt löser problemet genom att anta en frekvens på fotonerna.

Kommentarer

I denna uppgift måste man göra den rätt grova approximationen att solseglet träffas av den genomsnittliga våglängden som vi beräknar ur Wiens förskjutningslag. Här kan det också vara lämpligt att påminna eleverna om att solen skickar ut ett kontinuerligt spektrum där "alla" våglängder finns med.