

Vad händer "sista" veckan?

- **Ex-tenta** på hemsida med genomgång nästa **måndag**.
- Nästa **torsdag** information om **projekt** (och sedan föreläsning om växthuseffekten)
- Torsdagsövning **repetition av måndagsfrågor** (nu också med delvis uppdaterade frågor)!

Repetition

- Betrakta system av atomer som reservoar för mikrotillstånd i en atom.

- Användbar definition beta: $\beta = 1/kT$

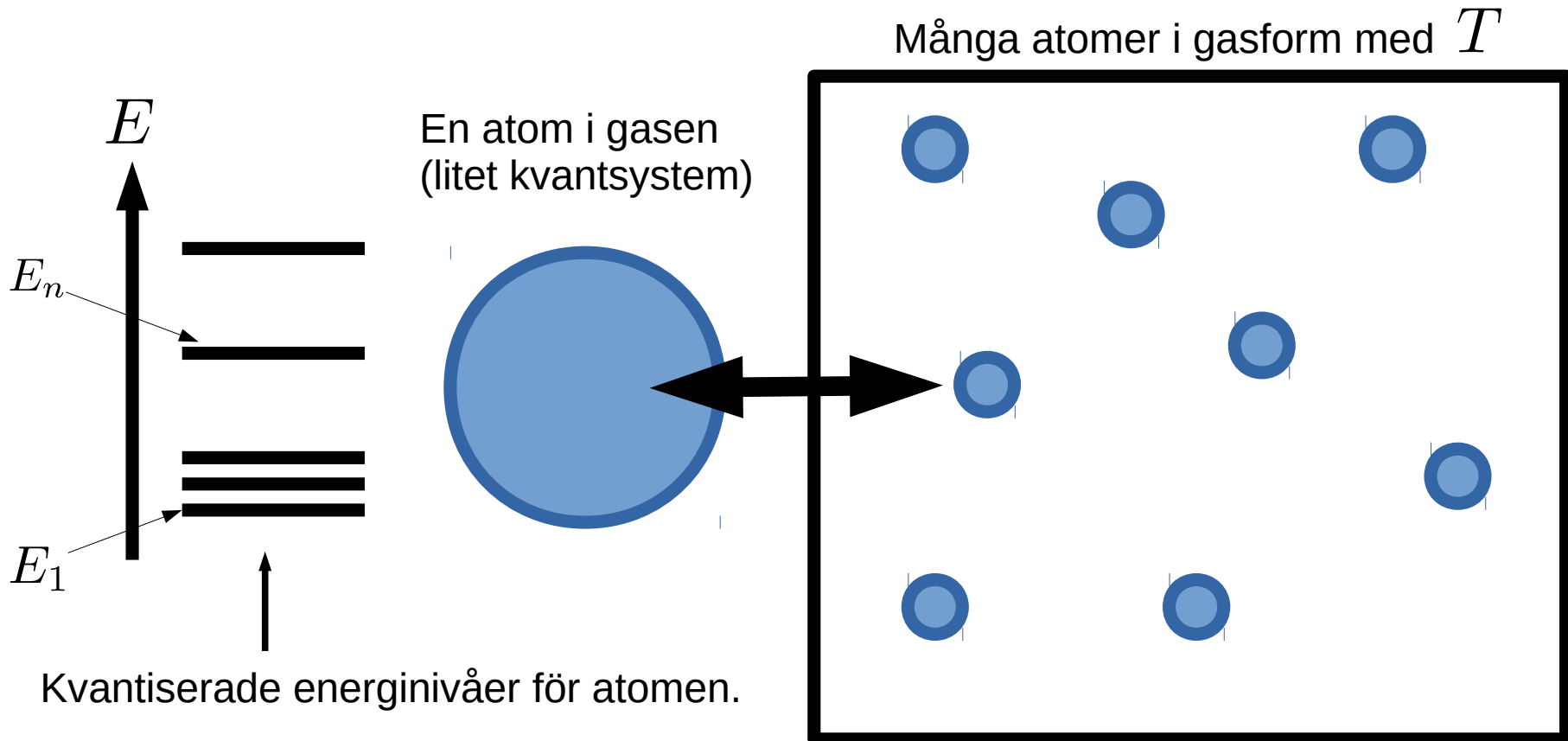
- Boltzmannfaktorn \sim sannolikhet: $\propto \exp(-\beta E_n)$

- Tillståndssumman: $Z = \sum_n \exp(-\beta E_n)$

- Medelenergi för kvantsystem: $\bar{E} = -\frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial \beta}$

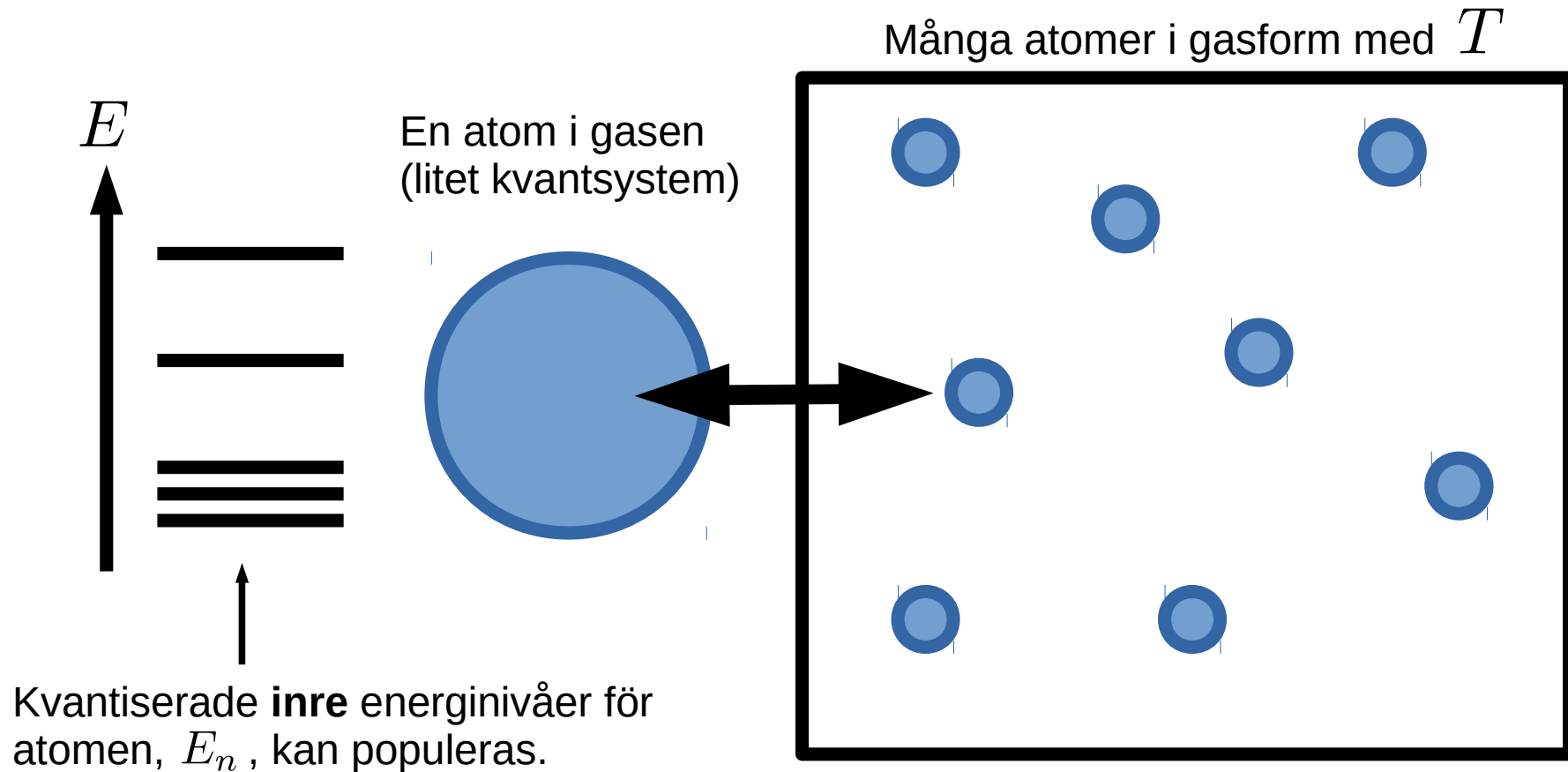
- Kvantmekanisk rotation av två-atomig molekyler \rightarrow *Två frihetsgrader!*

Inledande fråga om Boltzmannfaktorn



FRÅGA: Hur stor är sannolikheten att populera mikrotillståndet n i atomen?

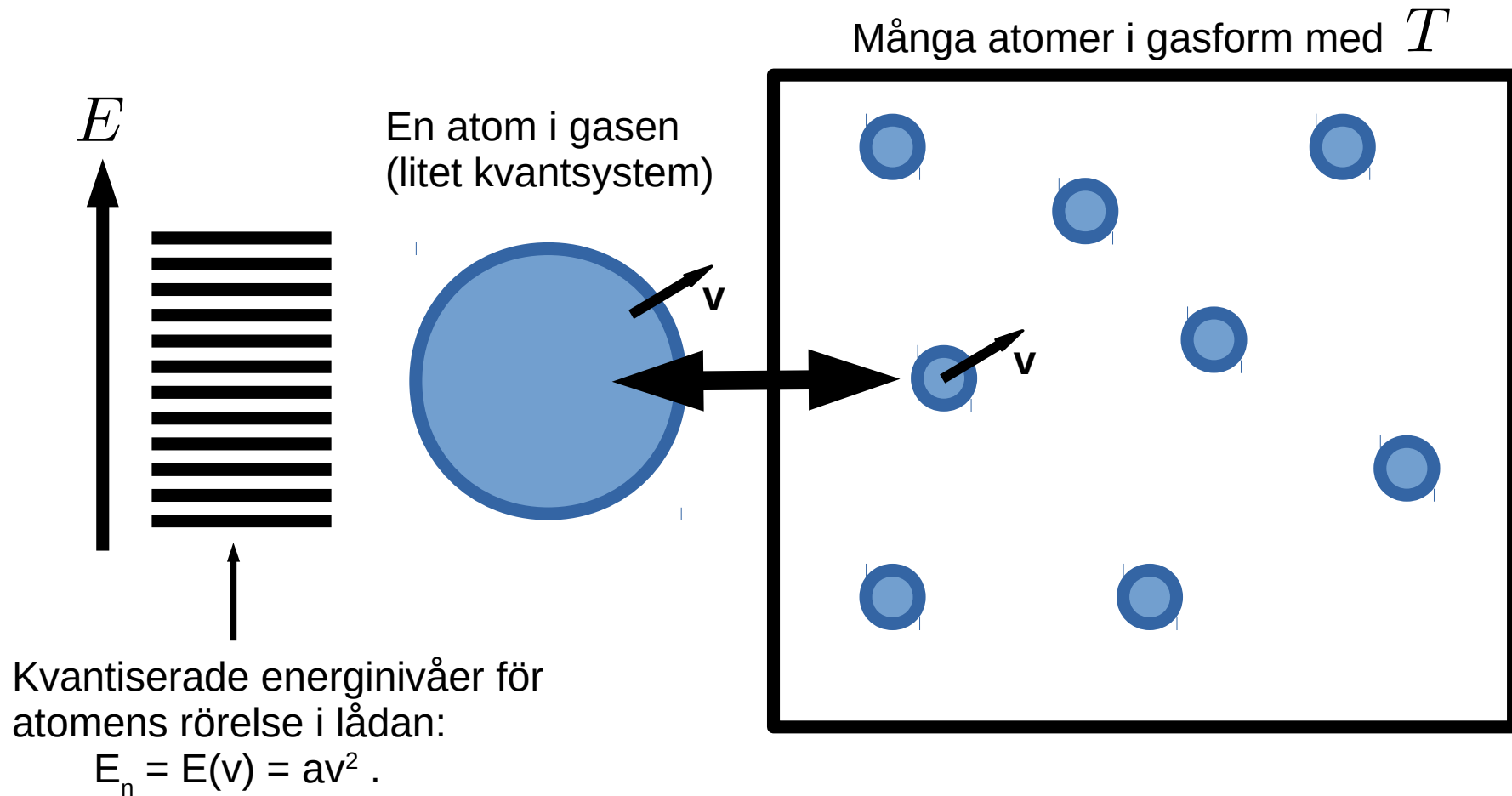
Lösning med Boltzmannfaktorn och tillståndssumman



SVAR:

$$P_n = \frac{\exp(-E_n/kT)}{Z}$$

Lösning med Boltzmannfaktorn och tillståndssumman



SVAR:

$$P_n = \frac{\exp(-E_n/kT)}{Z}$$

Ekvipartitions-teoremet:

- Bevis av **Ekvipartitions-teoremet**:

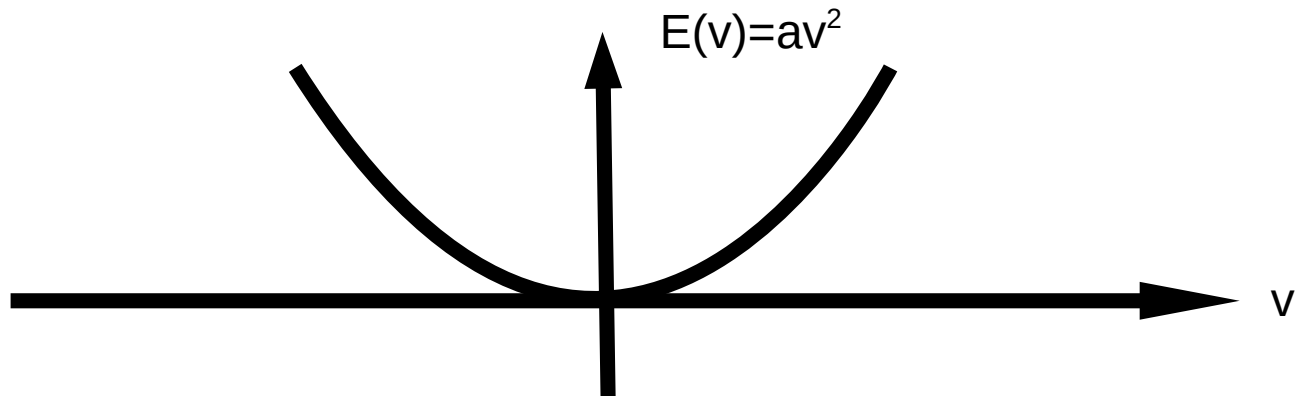
*Alla kvadratiska frihetsgrader har energin: $\frac{1}{2}kT$,
alltså alla tillgängliga frihetsgrader fylls upp med lika
mycket energi från omgivningen med temperatur, T .*

- Vid "tillräckligt" hög temperatur är inre energin:

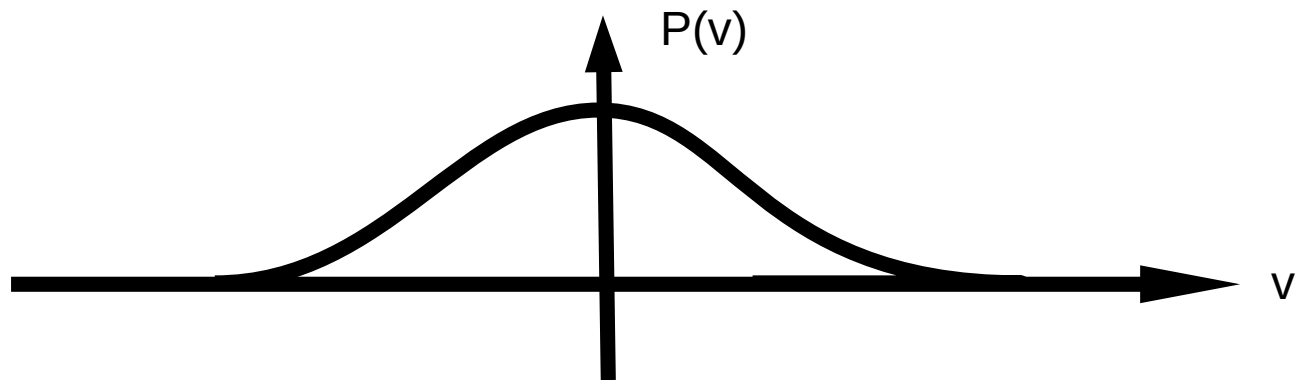
$$U = N f \frac{1}{2} kT,$$

där f är tillgängliga frihetsgrader. För två-atomig molekyl är det först translations (3), rotation (+2) och sist vibration (+2).

Bevis:

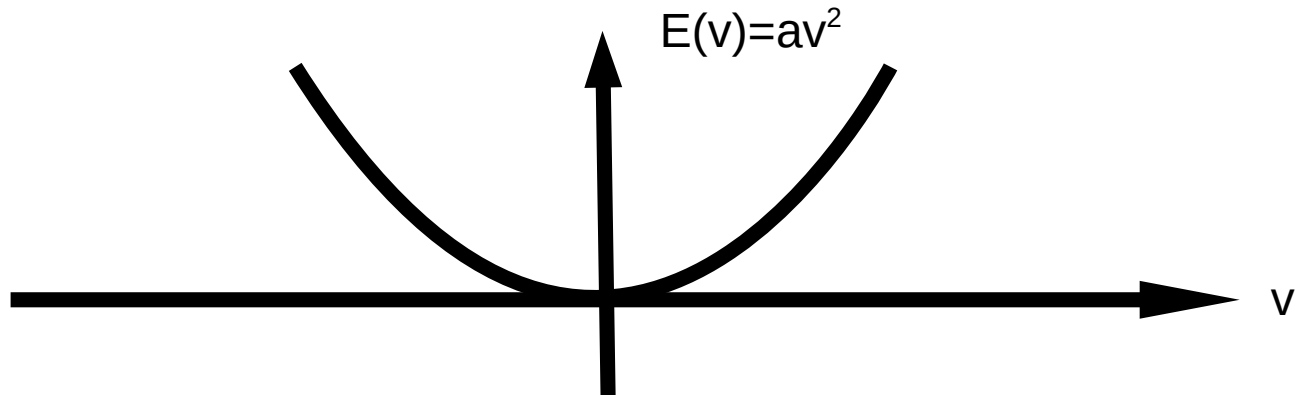


$$P(v) = \exp(-av^2/kT)/Z$$



$$\bar{E} = \int E(v)P(v)dv$$

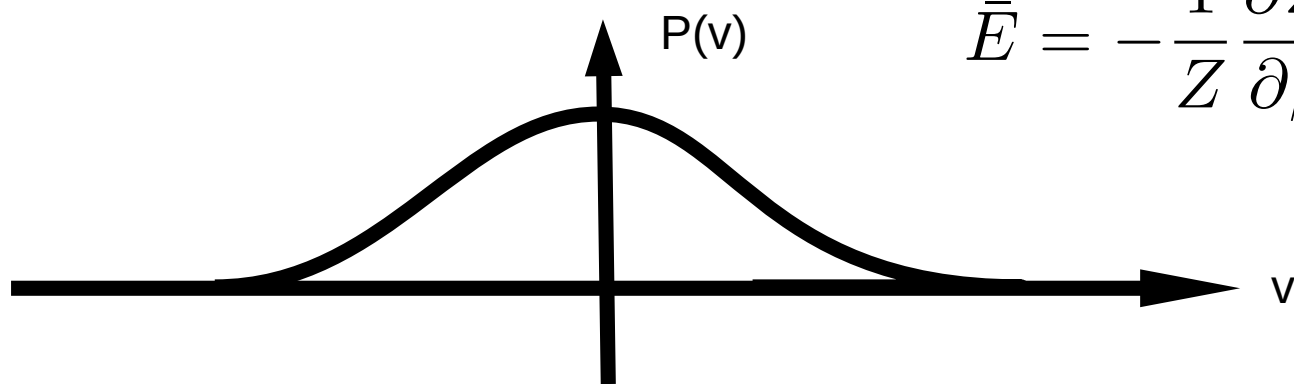
Bevis:



Använd tillståndssumman:

$$P(v) = \exp(-av^2/kT)/Z$$

$$Z = \int \exp(-av^2/kT) dv$$



$$\bar{E} = -\frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial \beta} = \frac{1}{2} kT$$

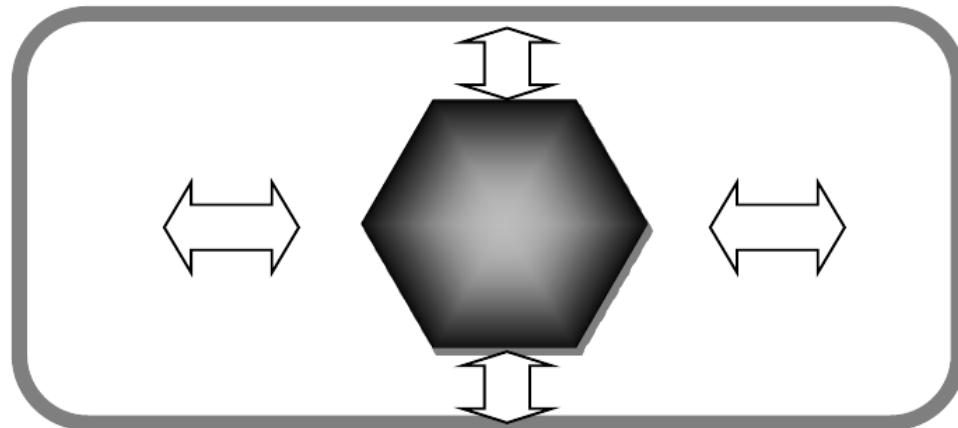
$$\bar{E} = \int E(v) P(v) dv$$

Föreläsning 11

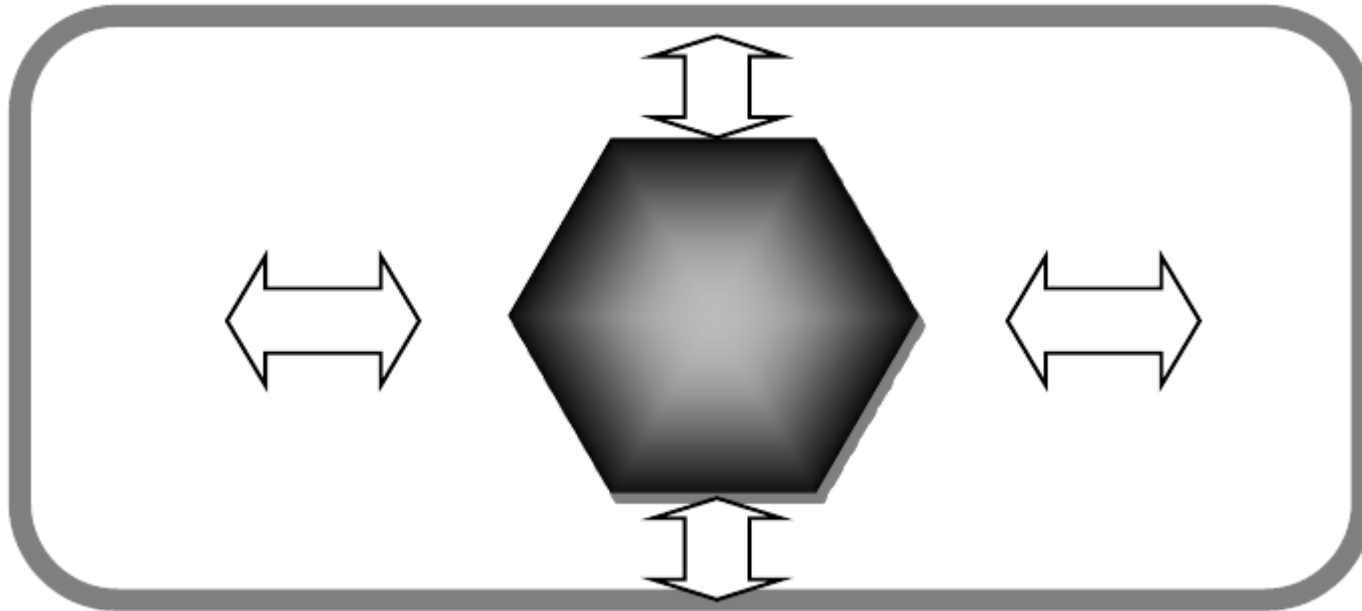
- **Svartkropp**
- *Stefan Boltzmanns lag*
- *Wiens förskjutningslag*
- Härledning av *Plancks strålningslag*
- "*Hur mycket energi finns i en tom låda*"?
- Tillämpningar av svartkroppsstrålning:
 - Jordens medeltemperatur
 - Växthuseffekten
 - Solceller ...

Svartkroppens egenskaper

- Absorberar all infallande strålning (**mest**)
- Emitterar sedan all absorberad strålning (**bäst**)
- Svalnar snabbast i kall omgivning
- Värms snabbast i varm omgivning



Svartkroppsstrålning



Vid jämvikt mellan svartkroppen och väggarna måste samma effekt strömma in och ut kroppen för att dess temperatur ska kunna vara konstant.

Stefan Boltzmanns lag

- Strålningens totala effekt från svartkropp

$$P = A\sigma T^4$$

Diagram illustrating the Stefan-Boltzmann law equation $P = A\sigma T^4$ with labels and arrows:

- P : Effekt [W=J/s]
- A : Svartkroppens area [m²]
- σ : Konstant
- T : Svartkroppens temperatur [K]

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.6704 \times 10^{-8} [J/sm^2 K^4]$$

(se formelblad)

Wiens förskjutningslag

- Strålningens maximum vid denna våglängd

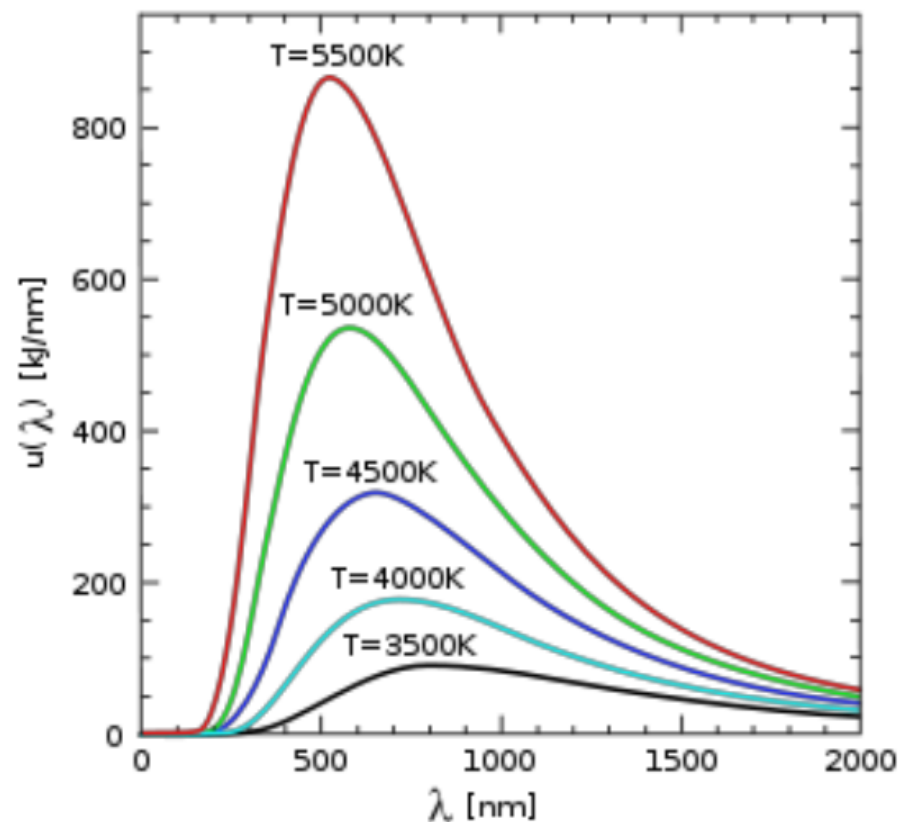
$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

Konstant:

$$b = 2.898 \times 10^{-3} [mK]$$

Svartkroppens temperatur [K]

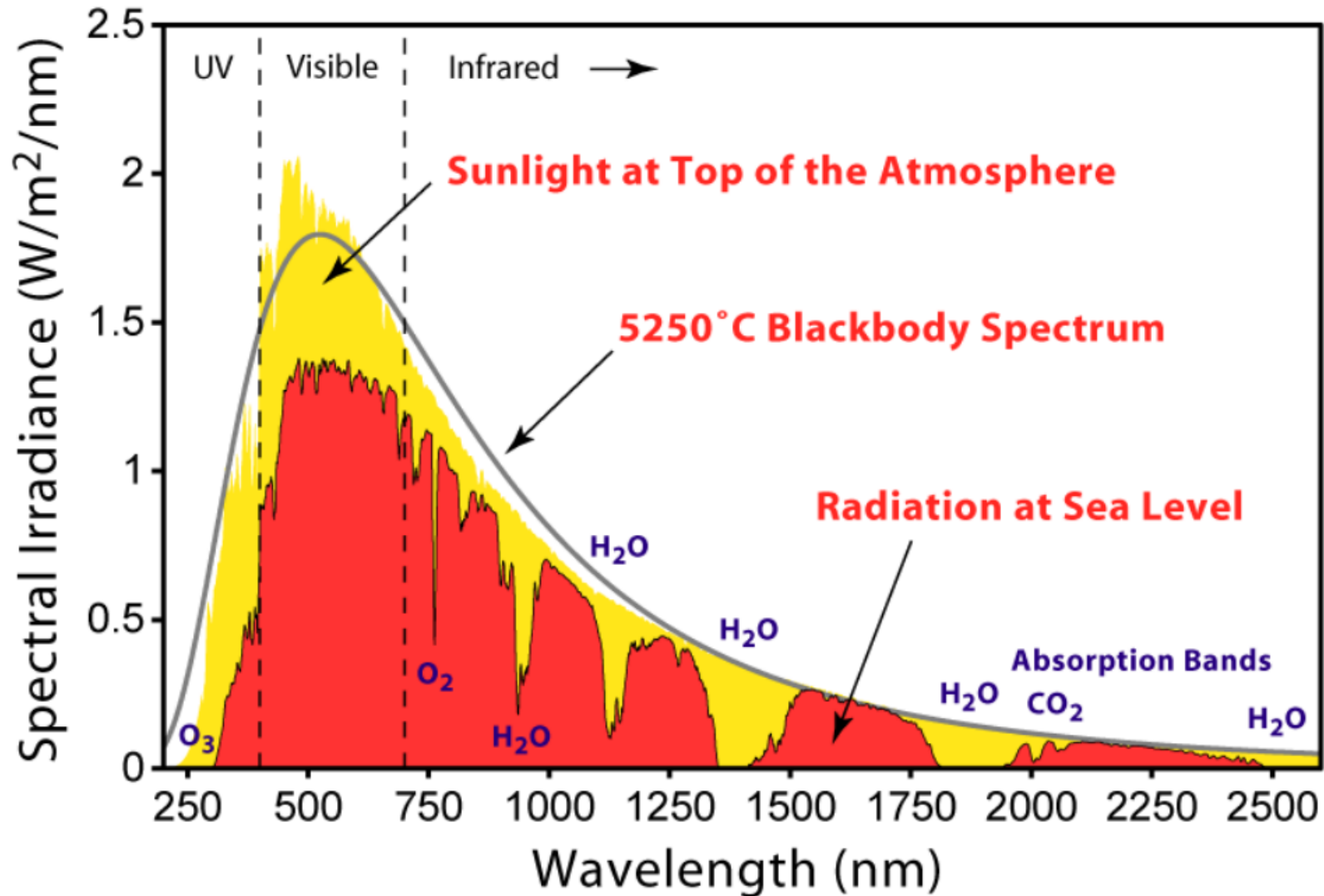
Plancks strålningslag



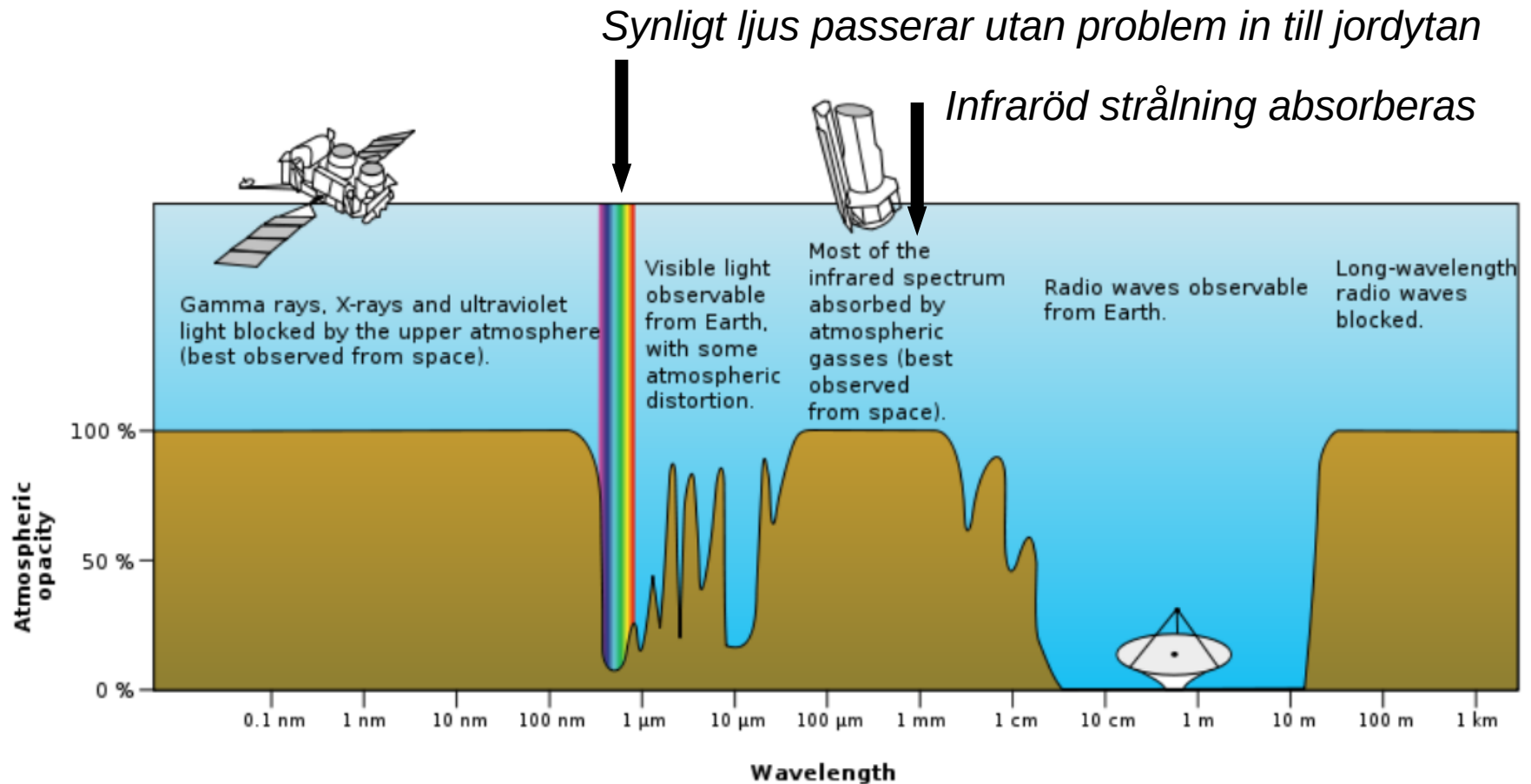
Energidensiteten:
$$u(\epsilon) = \frac{8\pi}{h^3 c^3} \frac{\epsilon^3}{e^{\beta\epsilon} - 1}$$
 (som funktion av fotonenergi)
(se formelblad för av våglängd)

Fråga: Hur uppkommer denna strålningsfördelning?

Solstrålning från svartkropp?

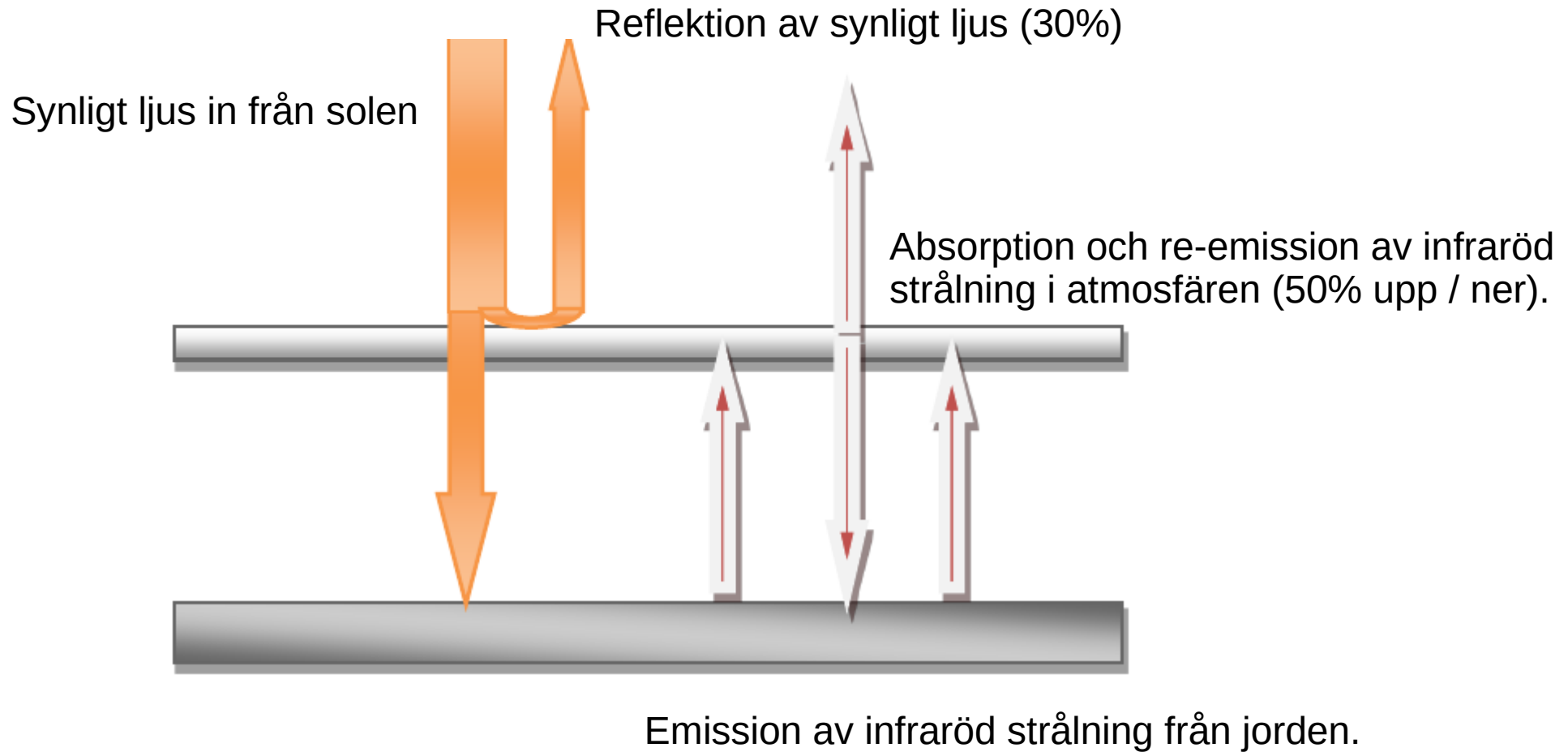


Växthuseffekten



Följande bild visar hur atmosfären absorberar elektromagnetisk strålning. Atmosfärens absorption av elektromagnetisk strålning. För att förstå växthuseffekten är våglängdsområdet för synligt ljus och den infraröda strålningen intressant.

Jämviktsförhållande för strålning in och ut från jorden



Sammanfattning

- Svartkropp = Absorberar alla infallande strålning och emitterar sedan energin enligt sin temperatur, T

- Plancks strålningslag

$$u(\epsilon) = \frac{8\pi}{h^3 c^3} \frac{\epsilon^3}{e^{\beta\epsilon} - 1}$$

Anpassning visar att solen är cirka $\sim 5000 - 6000$ K

- Stefan Boltzmanns lag
- Wiens förskjutningslag
- Tillämpningar av svartkroppsstrålning:
 - Jordens medeltemperatur
 - Växthuseffekten