Hohlraum - Strahlung

Photonen haben keine Wechselwirkung (außer höhere Ordnung)

(vgl. Schwarzkörperstrahlung)

Photonen mit Spin 1 aber nur 2 Polarisationen

$$\sum_\lambda f(E) = 2\,V \int_V \frac{d^3 p}{(2\pi\hbar)^3} f(E) = 2\,V \int_0^\infty \frac{4\pi p^2\,dp}{(2\pi\hbar)^3} f(E)$$

nicht $(2S+1)$

$E = cp \Rightarrow dp = \frac{dE}{c}$

Teilchen, erzeugt und vernichtet werden können, ist $\mu = 0$ $\Rightarrow$ Großkanonisch = Kanonisch

---

$\nu(\varepsilon) \Rightarrow \nu(\omega)$ durch $\nu(\varepsilon)\,d\varepsilon = \tilde{\nu}(\omega)\,d\omega$

Für Phononen / Photonen ist $N \neq$ const nicht allgemein

z.B. $c_V = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V$ nicht N

auch Strahlungsdruck existiert (z.B. Kometenschweif immer von Sonne abgewendet)

Photonen mit Energie $E \sim \omega$

$$n_{\omega k} \neq n_\omega = \frac{1}{e^{-\beta\hbar\omega} - 1}$$

Photonen mit Energie ω in Richtung k

Herleitung **Planck - Formel**

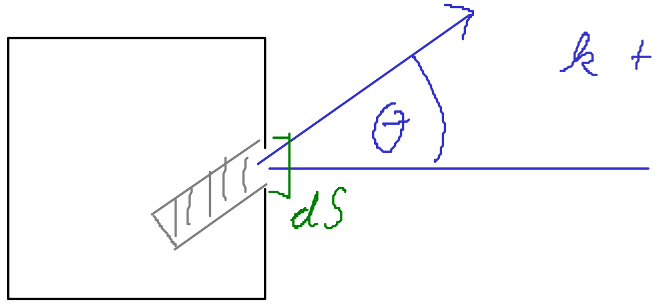
$$u\,d\omega = \frac{1}{V}\,\frac{1}{\exp(\beta\hbar\omega) - 1}\,\frac{4\pi k^2\,dk}{(2\pi)^3}\,2V\,\hbar\omega$$

Entwicklung $\hbar\omega \ll k_B T$

$$u(\omega,T) = \frac{\hbar}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^3}{1+\beta\hbar\omega - 1}$$ $\hat{=}$ Rayleigh - Jeans

$\hbar\omega \gg k_B T$

Wiensches Gesetz



Photonen in  verlassen den Kasten in dt

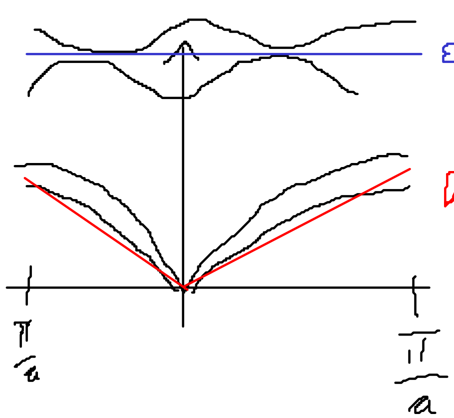
Vol. des Zylinders $dV = c\,dt\,(dS\cos\theta)$

Abgestrahlte Energie in Raumwinkel $d\Omega$

$$dE = dV \quad u(\omega,T)\,d\omega \quad d\Omega$$

↳ Stefan Boltzmann Gesetz

Phononen



ENDE ideale Systeme

REALE Systeme

Exakte Rechnung nicht mehr Möglich

---

2. Vorlesung heute

QM auch noch $e^{A+B} \neq e^A e^B$

Virialentwicklung: Zustandssumme in
Einteilchenzustand Z_1
Zweiteilchenzustand Z_2

$$f(x) = \ln(1-x) \qquad f' = -\frac{1}{1-x} \qquad f'' = -\frac{1}{(1-x)^2} \qquad f''' = -\frac{2}{(1-x)^3}$$

$$f^{(n)} = -\frac{(n-1)!}{(1-x)^n}$$

Reihe $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} f^{(n)}(x=0) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n}$

$$-\Omega = k_B T \left(Z_1 e^{\beta\mu} + \left(Z_2 - \frac{Z_1^2}{2}\right) e^{2\beta\mu} \right)$$

$$N = Z_1 e^{\beta\mu} + (2Z_2 - Z_1^2) e^{2\beta\mu}$$

$$-\Omega = k_B T \left(N - \left(Z_2 - \frac{Z_1^2}{2}\right) e^{2\beta\mu} \right)$$

$$e^{2\beta\mu} = \left(\frac{N}{Z_1}\right)^2 \quad \text{aus} \quad N = Z_1 e^{\beta\mu} + \dots$$

$$= k_B T N (1 + B n)$$

Dichte

$$B = -V\left(\frac{Z_2}{Z_1^2} - \frac{1}{2}\right)$$

$$\vec{R} = \frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2} \qquad \tilde{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$$

$$\int d^3 r_1 \, d^3 r_2 \, f(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) = \int d^3\vec{R} \, d^3\tilde{r} \, f(\tilde{r})$$

$$B = -V\left[\frac{\frac{1}{2}\frac{V}{\lambda^6}\int d^3r\, e^{-\beta V(r)}}{\left(V/\lambda^3\right)^2} - 1\right]$$

$$= -\frac{1}{2}\left[\int e^{-\beta V(r)} d^3r - V\right]$$

$$= -\frac{1}{2}\int e^{-\beta V(r)} - 1\, d^3r$$

Integral aufteilen

$e^{-\beta V(r)} - 1$ für beide Bereiche entwickeln

$$B = b - a\beta$$

$$b = \frac{1}{2}\,\frac{4\pi}{3}(2r_0)^3$$ Ausgeschlossene Volumen

Teilchen 2 darf nicht in dieses Volumen

$$PV + Nan = k_B T N[1 + bn]$$ $\frac{1}{1+x} = 1 - x$

für x klein

$$V(P + an^2)(1 - bn) = k_B T N$$

---

jetzt dichtere Gase