

Quantenmechanik

Wozu?

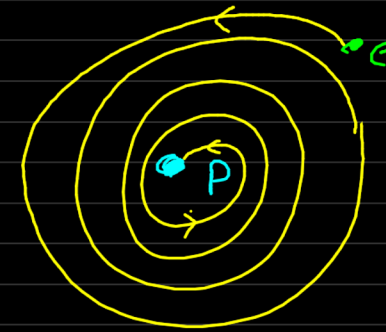
Klassische Physik ungeeignet

Mechanik
SRT, ART
ED

für mikroskopische
Systeme

↑
evident spätesten Ende
19. Jhdt. !

BSP.: Wasserstoff Atom



$$U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r}$$

← h.c. Mech.

Elektron läuft auf Kepler-Bahn
um Proton

→ beschl. Ladung
ED → Abstrahlung el.-mag. Wellen

→ Energieverlust

→ Instabilität des Atoms
(→ der gesamten Materie!)

→ ebenso "klassisch" unerklärlich.

- Spektrallinien
 - Chemie!
 - Photoeffekt
 - ...
- } vgl. Atomphys.

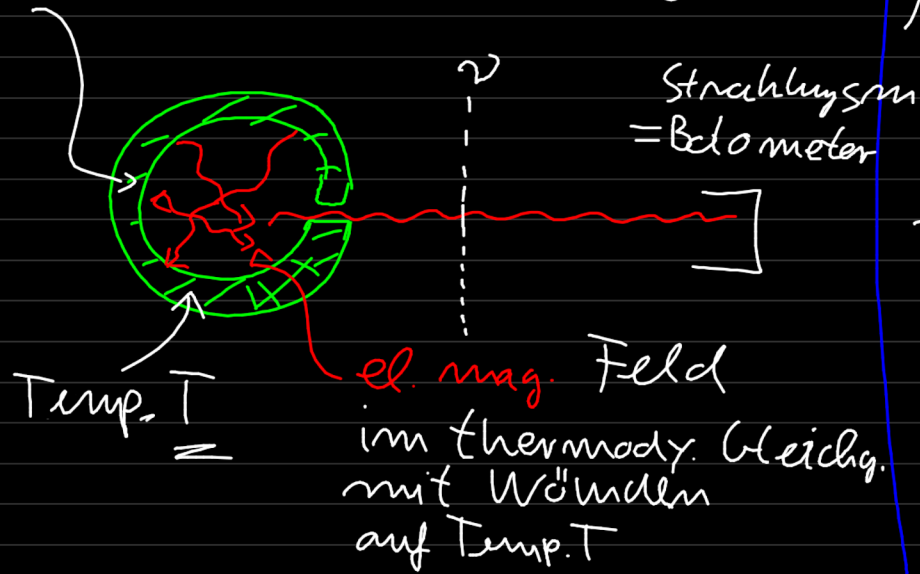
• Schwarzkörperstrahlung

→ = Wärmestrahlung



→ genauer

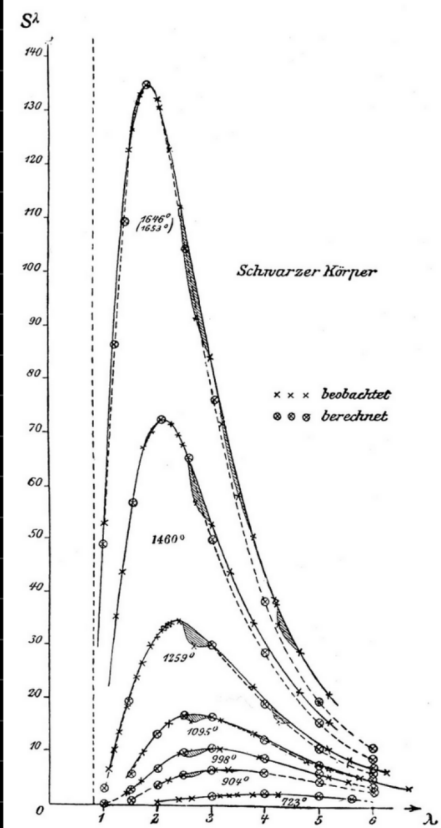
$\triangleq$ Hohlraumstrahlung



→ spektrale Energiedichte

$$I_{+}(\nu) = \frac{\Delta E}{\Delta V \Delta \nu}$$

→ sehr genaue Messungen
in sehr aufwendigen
Experimenten:



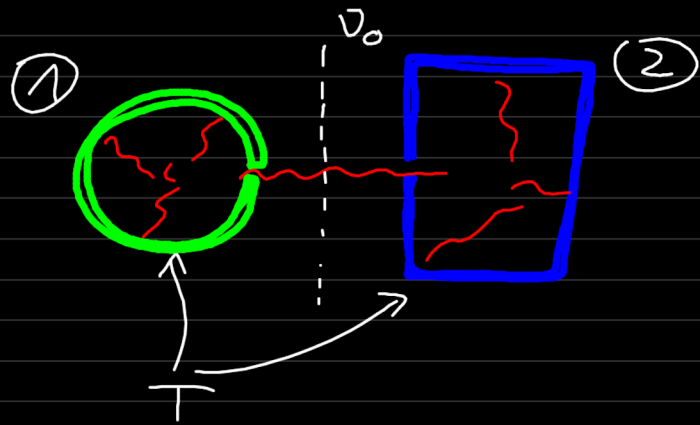
Lummer, Pringsheim
1899

Warum Hohlraum-
strahlung
interessant?

spekt. Energiedichte $I_T(\nu)$
ist unabhängig von Form
und Material des Hohlraums!

→ bestimmt durch fundamentale
Physik!

└ begründet im 2. H.S. der T.D.!



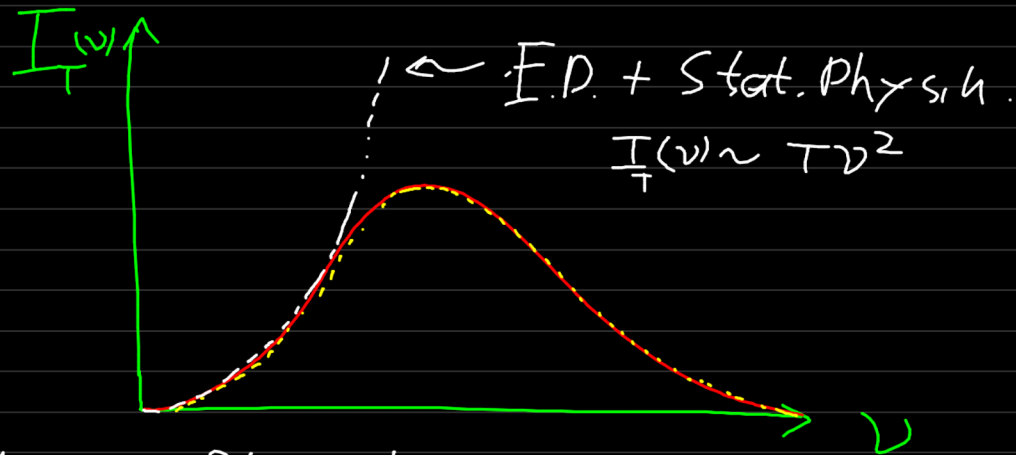
Annahme: $I_T^{①}(\nu_0) > I_T^{②}(\nu_0)$

→ netto Energietransport von ① → ②

→ Abhängigkeit von ① auf $T_1 < T$
Erwärmung von ② auf $T_2 > T$

⚡ zum 2. HS. !

Theorie?



1899) Planck:

sehr guter Fit durch:

$$S[q] = \int_{t_0}^{t_1} L(q, \dot{q}, t) dt$$

Strahlungsformel:

$$I_T(\nu) = d \frac{\nu^3}{e^{+\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

neue Naturkonstante notwendig

$$: h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Plancksches Wirkungsquantum

$$[\text{Wirkung}] = [\text{Energie} \cdot \text{Zeit}]$$

sehr kurze Geschichte der QM

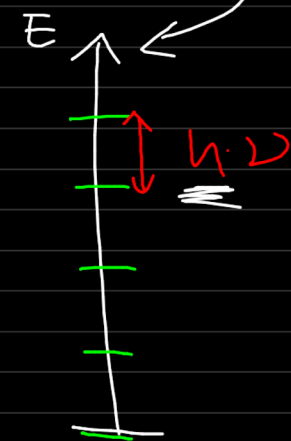
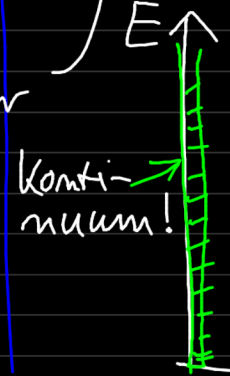
1900 Plancks "Begründung"
der Strahlungsformel durch
Quantenhypothese:

Hohlraumstr. der $\triangleq$ harm. Oszillator
Frequ. ν ("Resonanzmode")
der Frequ. ν

mit gequantelter
Energie:

$$E = h \cdot \nu \cdot n \quad : n = 0, 1, 2, 3$$

klassisch:



→ + Stat Physik (Boltzmann)

→ Strahlungsformel!

1905 Einsteins Lichtquantenhyp.:
Licht der Freq. ν besteht aus

"Lichtquanten" der Energie

$$E_\nu = h \cdot \nu$$

→ Photoeffekt!

1913 Bohr: Drehimpuls
quantisierung

$$[\text{Wirkung}] = [\text{Energie} \cdot \text{Zeit}]$$

$$= [\text{Impuls} \cdot \text{Länge}]$$

$$= [\text{Drehimpuls}]$$

Elektr.-Drehimpuls $|\vec{L}|$ ist

gequantelt: $|\vec{L}| = n \hbar$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

→ Bohrsche Atommodell

↳ Spektrallinien!

1924 de Broglie:

Teilchen mit Impuls p
folgt einer "Phasenwelle"

der Wellenlänge

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$mc^2 \stackrel{\text{SRT}}{=} E = \hbar \nu$$

Planck/Einstein

+ Lorentz-Transformation

1925: vollst. entwickelte
"Quantenmechanik"

(u.a. Born, Jordan, Heisenberg,
Schrödinger, Dirac, ...)

heute QM extrem gut bestätigte
Theorie, anscheinend
von universeller Gültigkeit

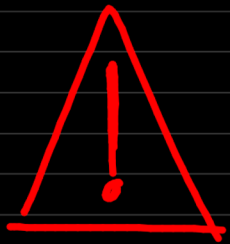
└ auch für makroskopische
Systeme?

Clarke, Devoret, Martinis

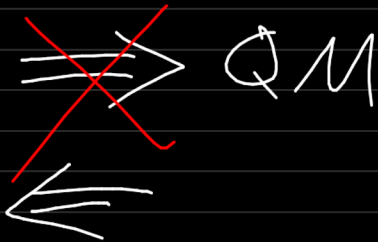
makroskopische Quanten-Tunnel
und Energiequantisierung!

→ Nobel preis 2025 (1985)

hin: ahistorischer Zugang
per Postulat!



Klassische Physik



QM

1. Übung
21. Okt.

Übungen:

offene Globalübung

dienstags von 9⁰⁰ - 15⁰⁰
in SR/KR Theoretische

Physik

(Altbaer)

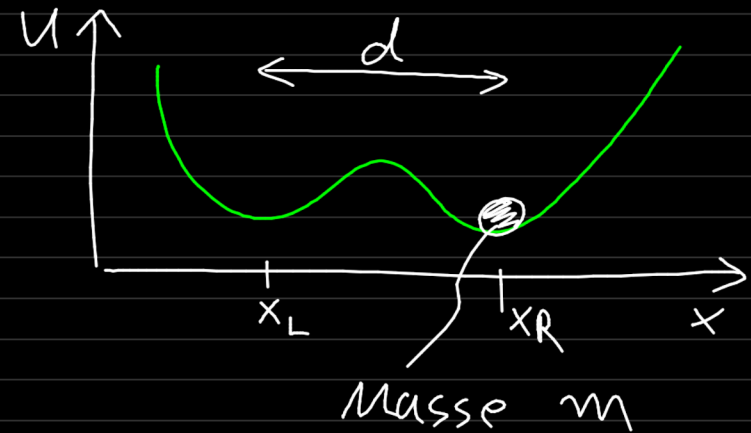
2. Bearbeitung mit Tutoren
+ Abgabe unter ILIAS
10%

Postulate der QM

essenzielle Eigenschaften (vgl. MaPhy II)

- 1) Überlagerungsfähigkeit von Zuständen $\rightarrow$ 1. Post.
- 2) Bedeutung der Messung $\rightarrow$ 2. Post.

$\rightarrow$ etwa Teilchen im
Doppelmuldenpot.:



Klassisch (makroskopisch
 $d \approx 10 \text{ cm}$, $m = 1 \text{ g}$)

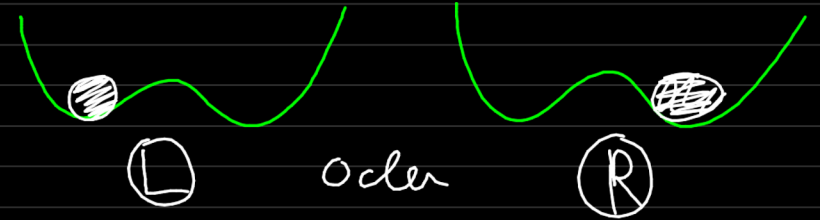
etwa
Zustände

(Grundzustände)



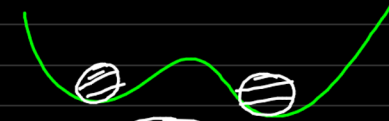
quantenmechanisch:
(mikroskopisch: $d \approx 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$
 $m \approx 10^{-27} \text{ kg}$)

Zust:



aber auch

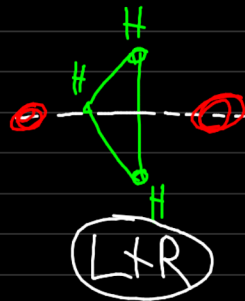
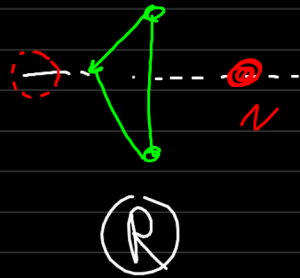
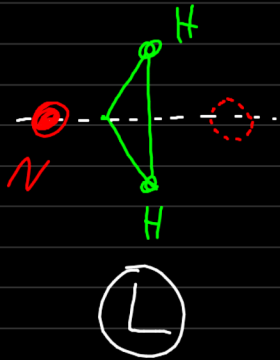
!



(L und R)

Überlagerung (Superpositio) der Zust

z.B. realisiert im Ammoniakmolekül
 NH_3



= Grundzu-
 stand!

Superpositionen sehr
unanschaulich

= mathematisch
 sehr leicht beschreibbar!

aber
auch:

