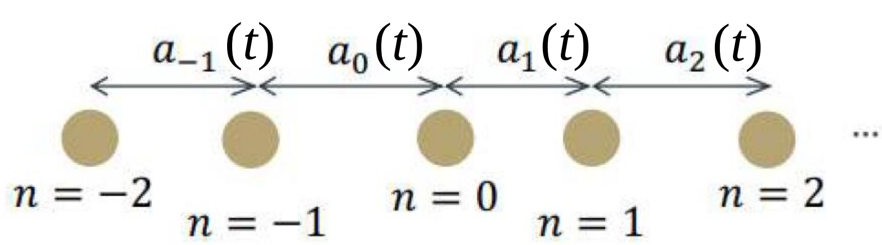
Jetzt: Strukturelle Dynamik

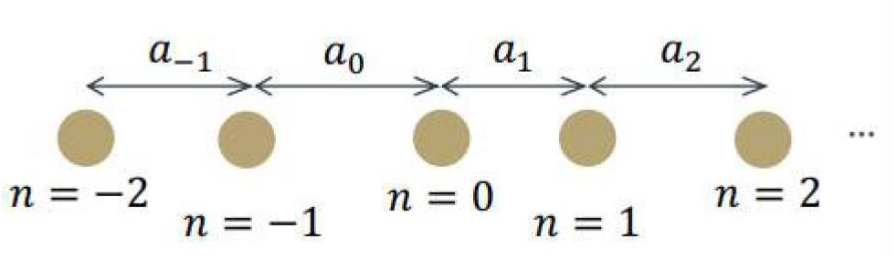
I.5 Phononen (Gitterschwingungen)

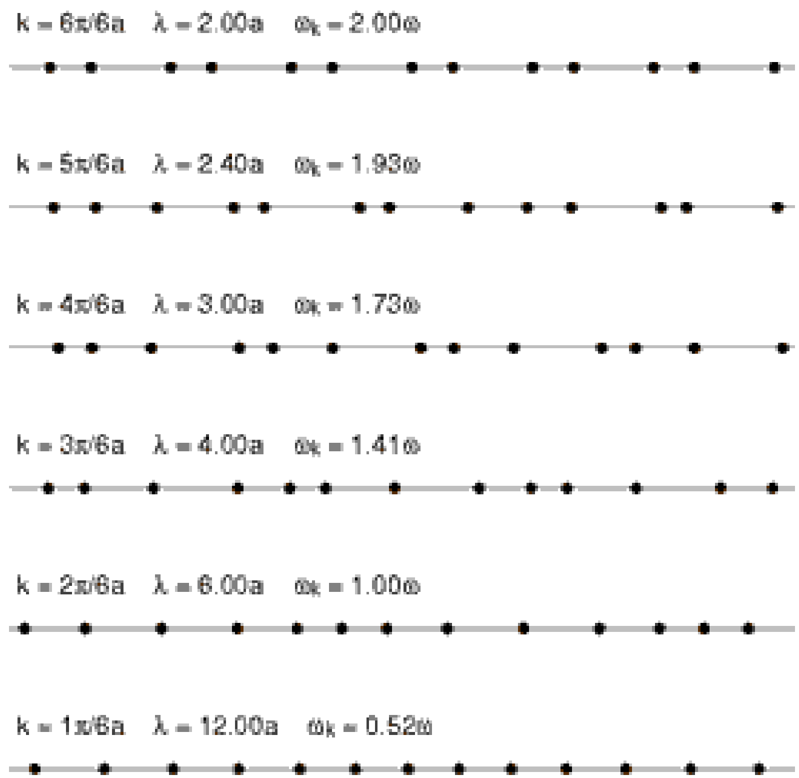


Fahrplan
- Schwingungsfrequenzen $\omega(k)$ („Dispersionsrelation“)
- Dispersion für komplexere Strukturen
- Quantisierung der Energien $E_n = \hbar\omega\,(n + 1/2)$
- Thermische Anregung via Bose-Einstein-Statistik
- Resultierende kollektive Eigenschaften / Wärmekapazität etc.
- Experimentelle Beobachtung / Phononenspektroskopie
- Implikationen für andere Eigenschaften (d.h. für alles !)

http://www.soft-matter.uni-tuebingen.de/vorlesung_ws23_condmat.html
Ergänzungen zur Vorlesung
… Zusammenfassung Phononen
… Zusammenfassung Quantenstatistik
… Neutron spectroscopy
… Neutron spectroscopy II (phonons and magnons; animations)

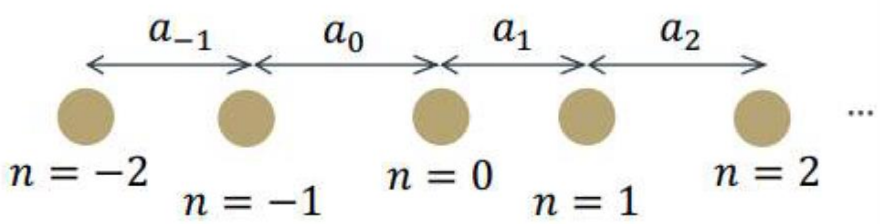
Jetzt: Strukturelle Dynamik

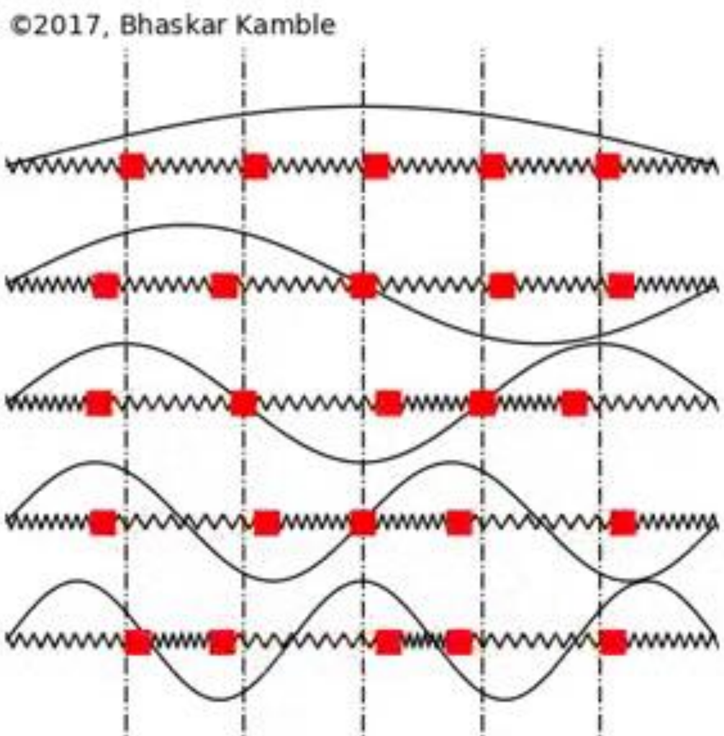




Wikipedia phonons

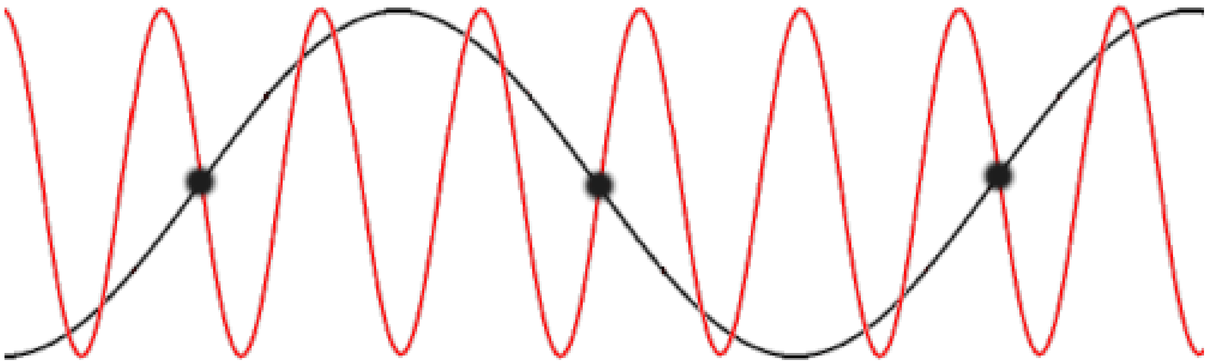
Jetzt: Strukturelle Dynamik

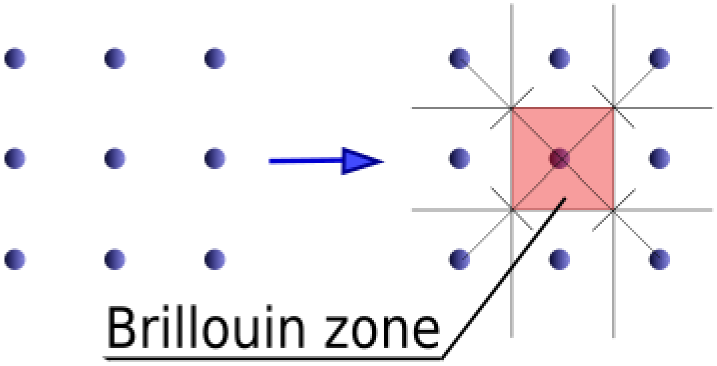




Wikipedia phonons

Periodizität impliziert: 1. Brillouin-Zone reicht

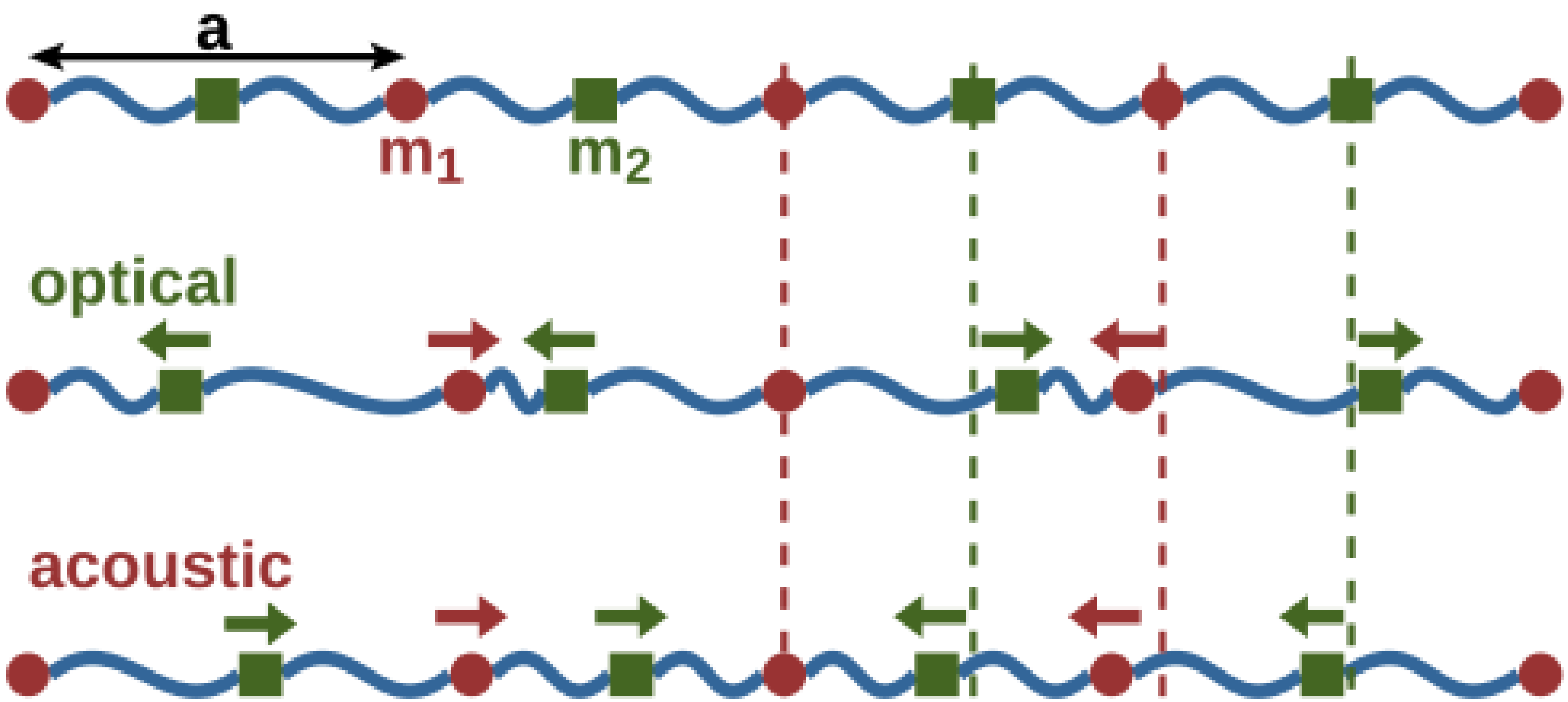




Wikipedia phonons

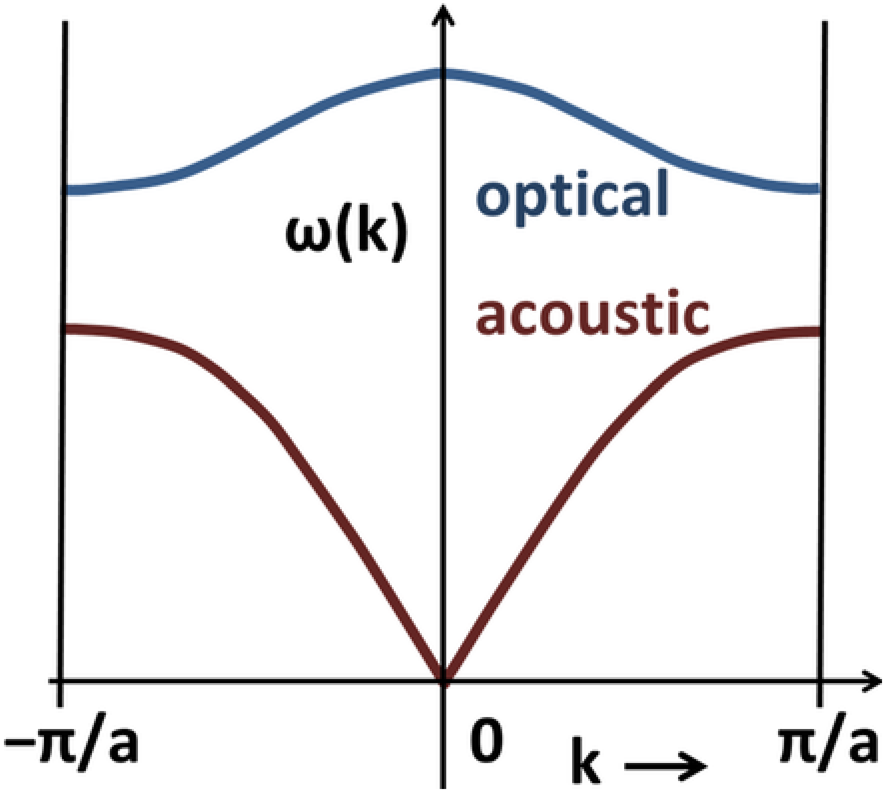
2-atomare Kette: Akustischer und optischer Zweig

2-atomare Kette: Akustischer und optischer Zweig



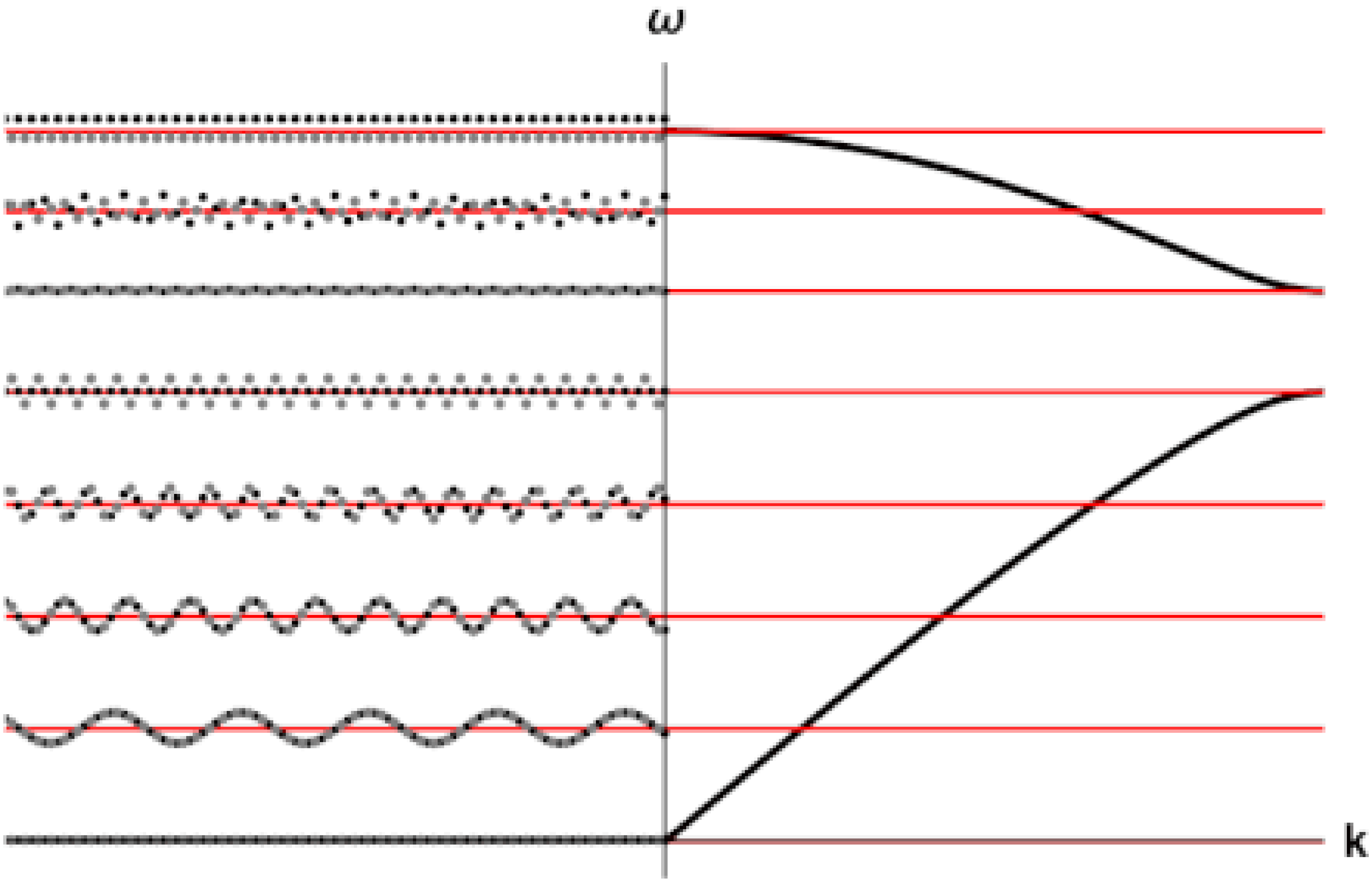
Wikipedia phonons

2-atomare Kette: Akustischer und optischer Zweig



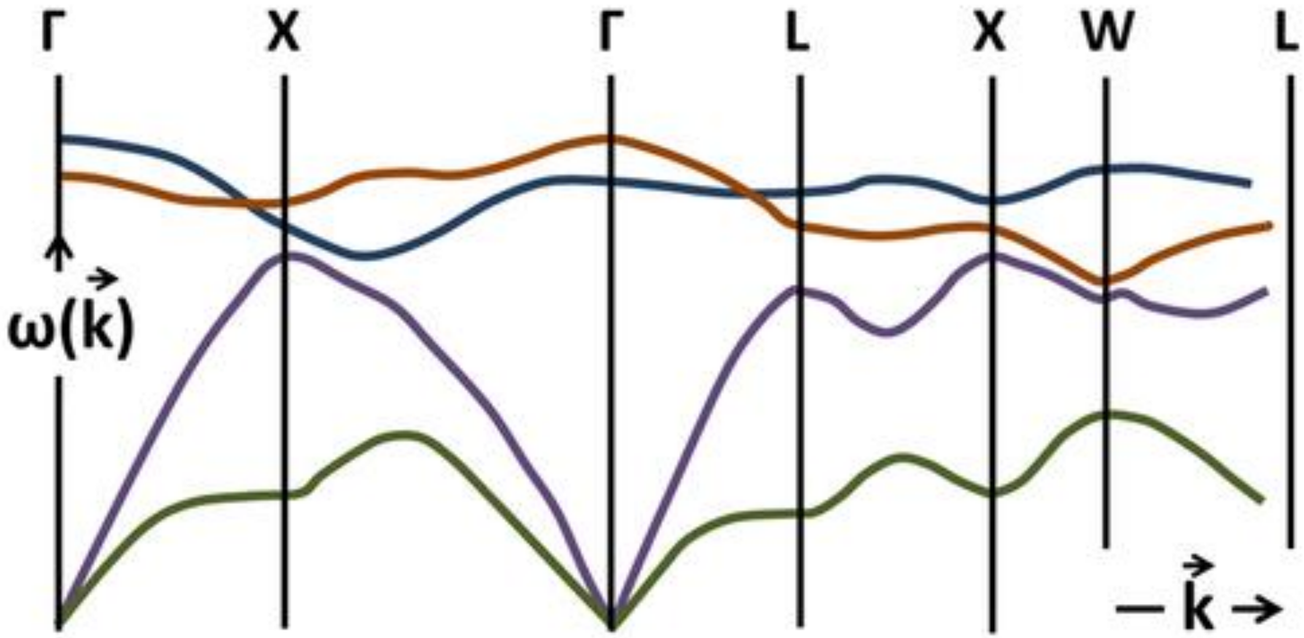
Wikipedia phonons

2-atomare Kette: Akustischer und optischer Zweig



Wikipedia phonons

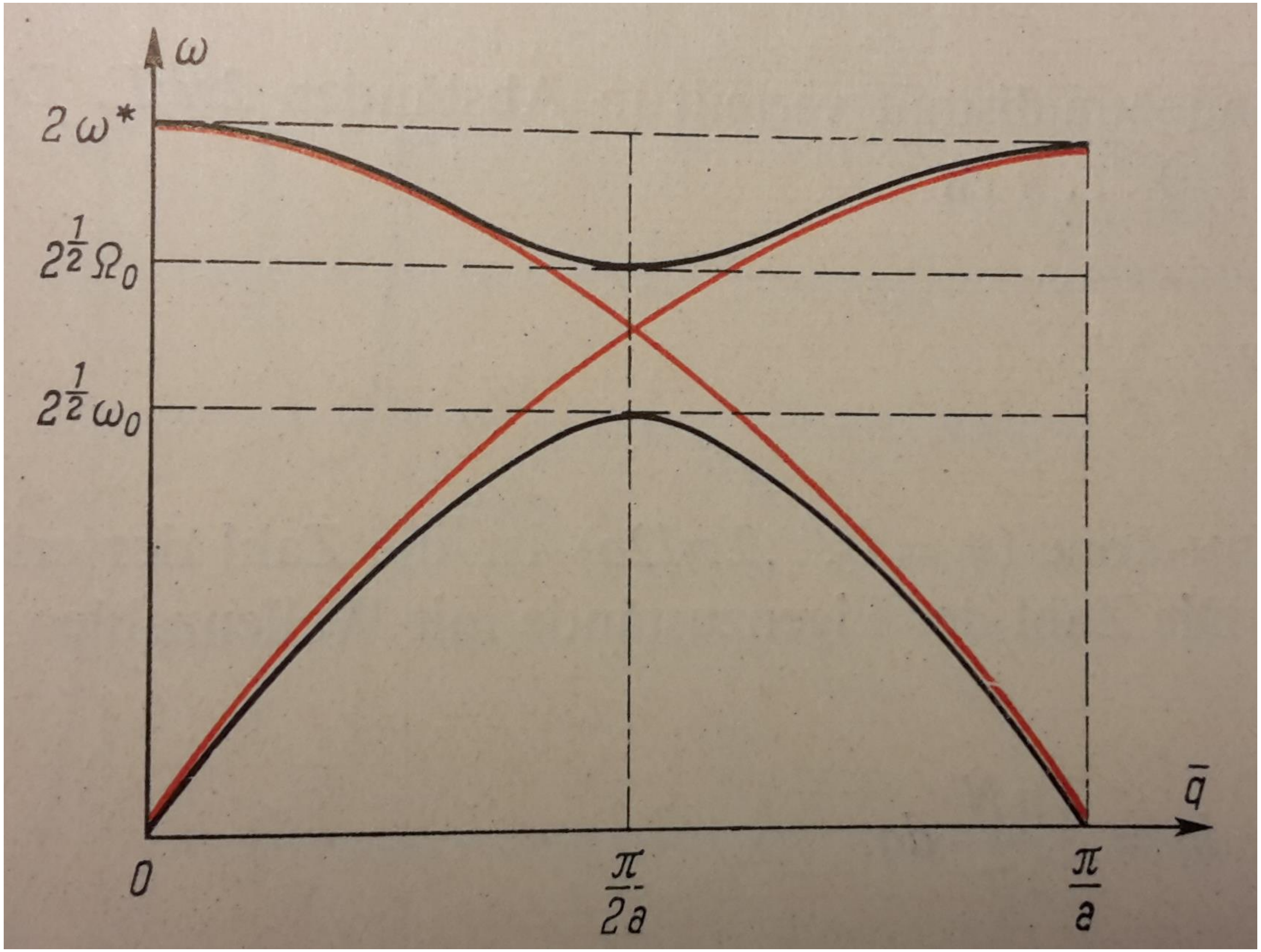
2 different atoms in 3D: GaAs



Wikipedia phonons

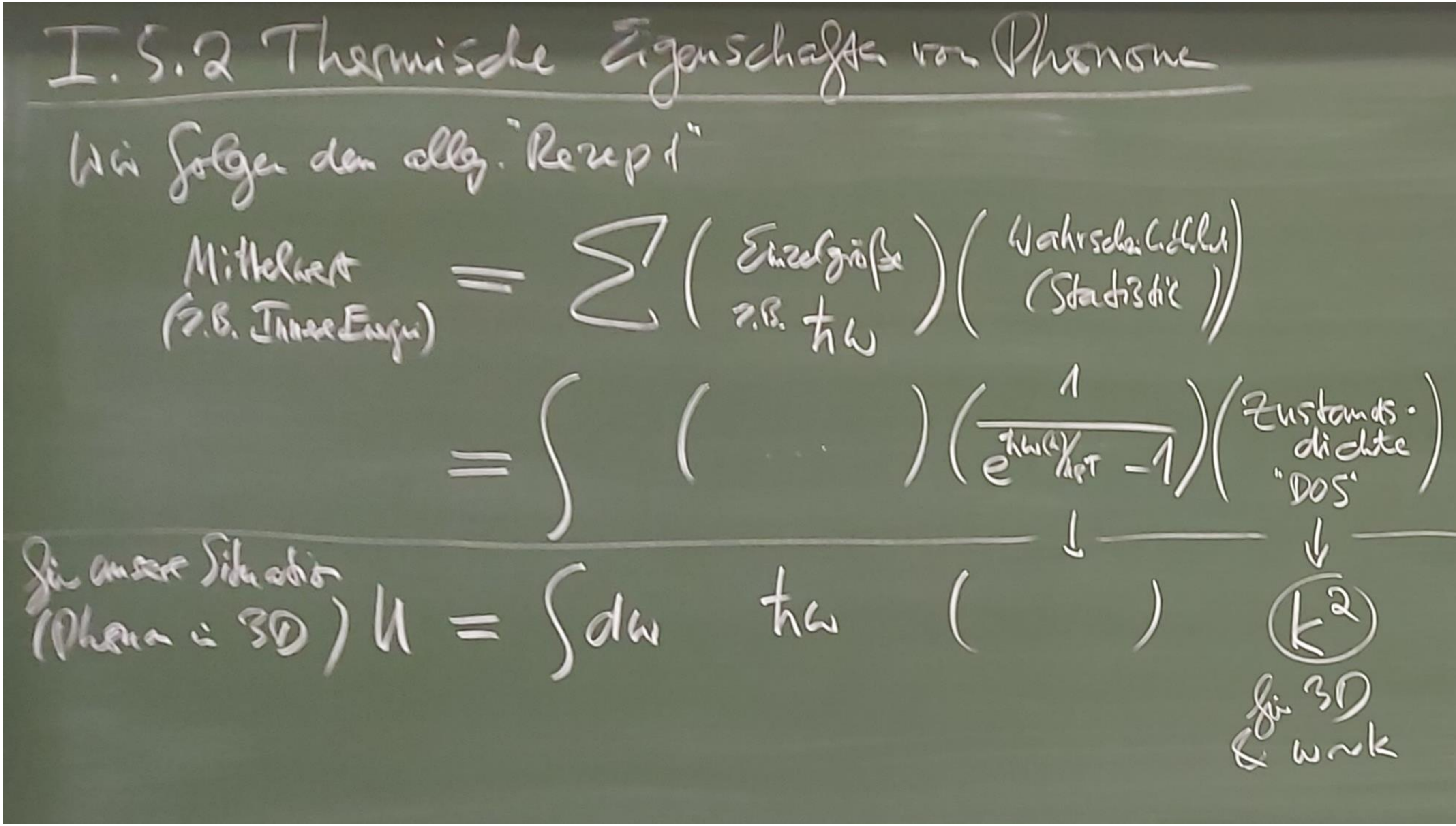
Übergang: 2-atomare zu 1-atomare Kette

$m_1 \rightarrow m_2 = m$

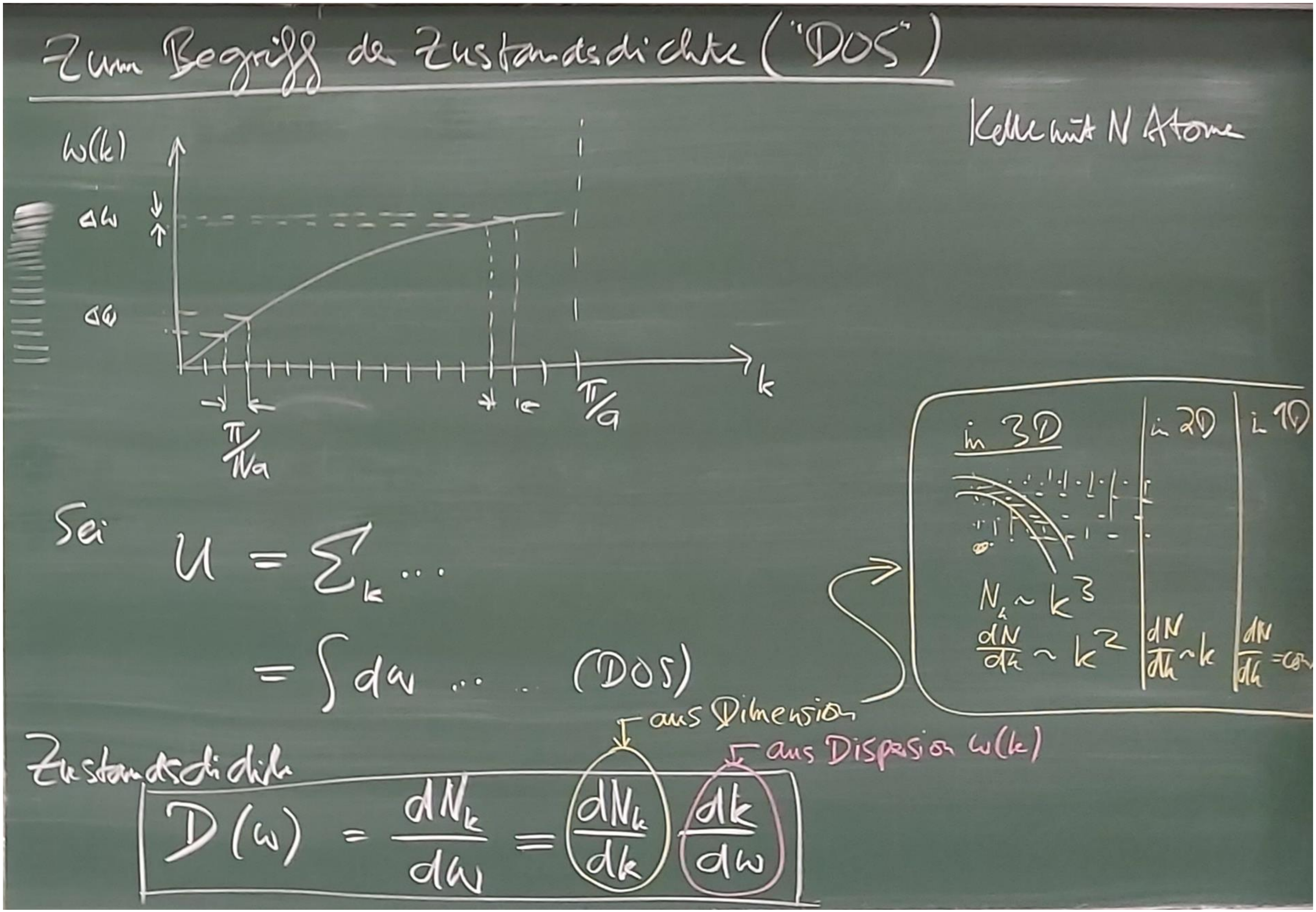


Aus Busch

Thermische Statistik von Phononen



Zustandsdichte



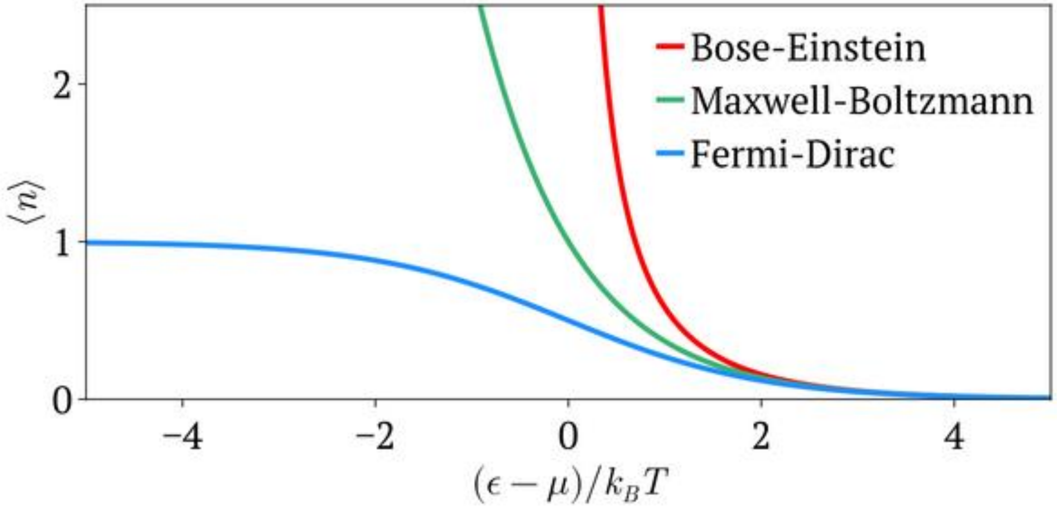
Thermische Statistik

Bosonen	Fermionen
Spin ganzzahlig	Spin halbzahlig
Gesamtwellenfunktion symmetrisch	Gesamtwellenfunktion anti-symmetrisch („Pauli-Prinzip“)
mehrere Teilchen können im gleichen Zustand sein	keine 2 Teilchen im gleichen Zustand
Beispiel in BM KoMa: Phononen, Magnonen, … Beachte: Bei diesen Quasi-Teilchenanregungen ist die Teilchenzahl nicht erhalten (d.h. $\mu = 0$); allgemein kann bei anderen Bosonen Teilchenzahlerhaltung gefordert sein (d.h. $\mu \neq 0$)	Beispiel in BM KoMa: Elektronen Beachte: Teilchenzahl erhalten (d.h. $\mu \neq 0$)

$$\bar{n}_i = \frac{g_i}{e^{(\varepsilon_i-\mu)/k_B T} - 1}$$

$$\bar{n}_i = \frac{1}{e^{(\varepsilon_i-\mu)/k_B T} + 1}$$

Mittlere Besetzung <n>
der Zustände
als f(Energie, Temperatur)



Wikipedia Bose-Einstein statistics
http://www.soft-matter.uni-tuebingen.de/vorlesung_ws24_condmat.html

Ergänzungen zur Vorlesung (vgl. homepage)

Zusammenfassung

Phononen I

Phononen II Zustandsdichte

Quantenstatistik