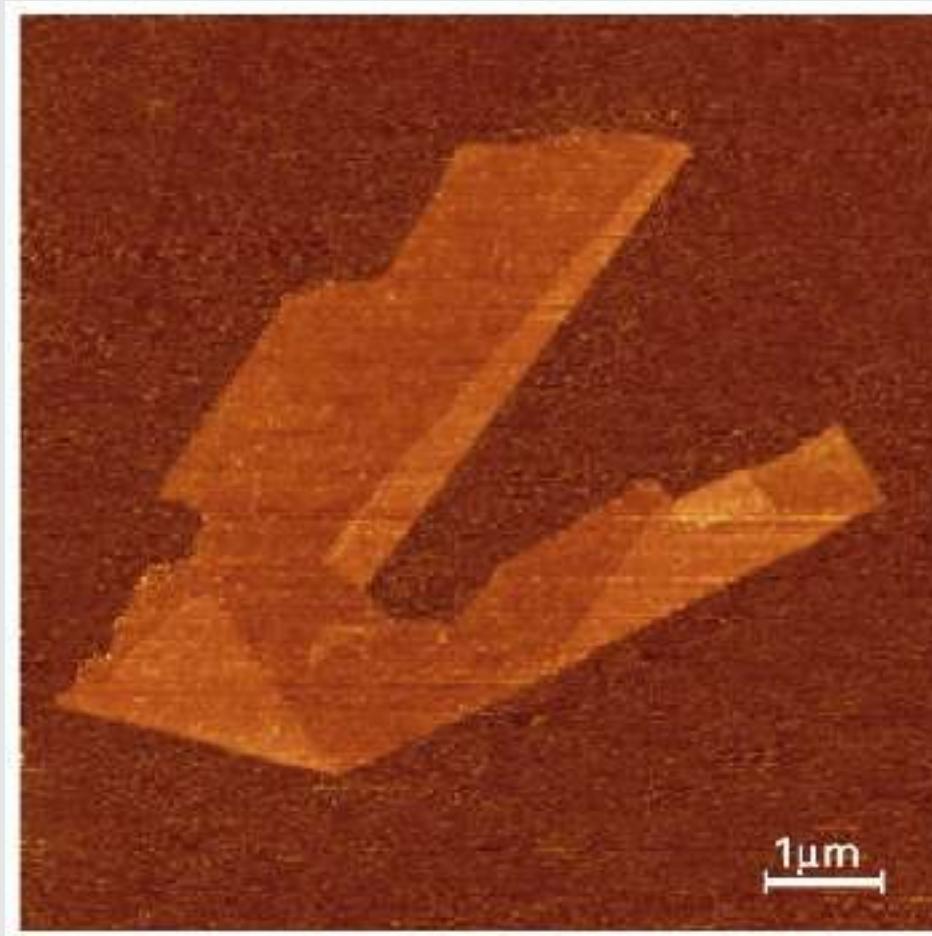


Vortrag Graphen

Von Werner Schweigert am 29.1.2009



Gliederung

1) Aufbau und Struktur von Graphen

- Kohlenstoff in verschiedenen Dimensionen
- Stabilität in zwei Dimensionen
- Elektronenstruktur von Graphen

2) Effekte aus der QED

- Kleinparadoxon

3) Effekte aus Theorie der kondensierten Materie

- anormaler Quanten-Hall-Effekt

4) Anwendungsmöglichkeiten

Fragen ans Publikum

- Ist Graphen flach?
- Worin bestehen die Ähnlichkeiten zum Dirac Spektrum ?
- Wie tunneln Ladungsträger in Graphen?
- Was ist besonders am Quanten-Hall-Effekt in Graphen?

Einleitung

- Manchester 2004, Entdeckung Graphen
- Technik : micromechanical cleavage

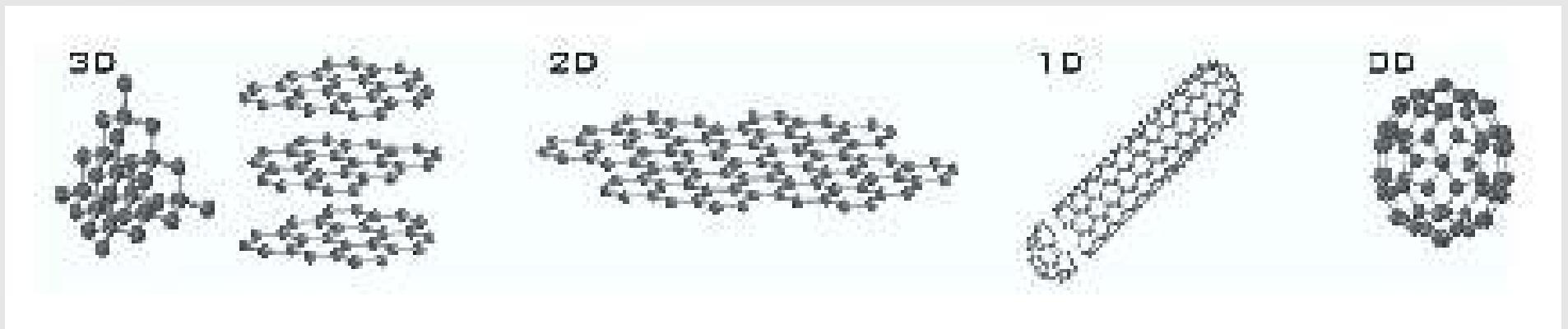
Andre Geim



Kostya Novoselov

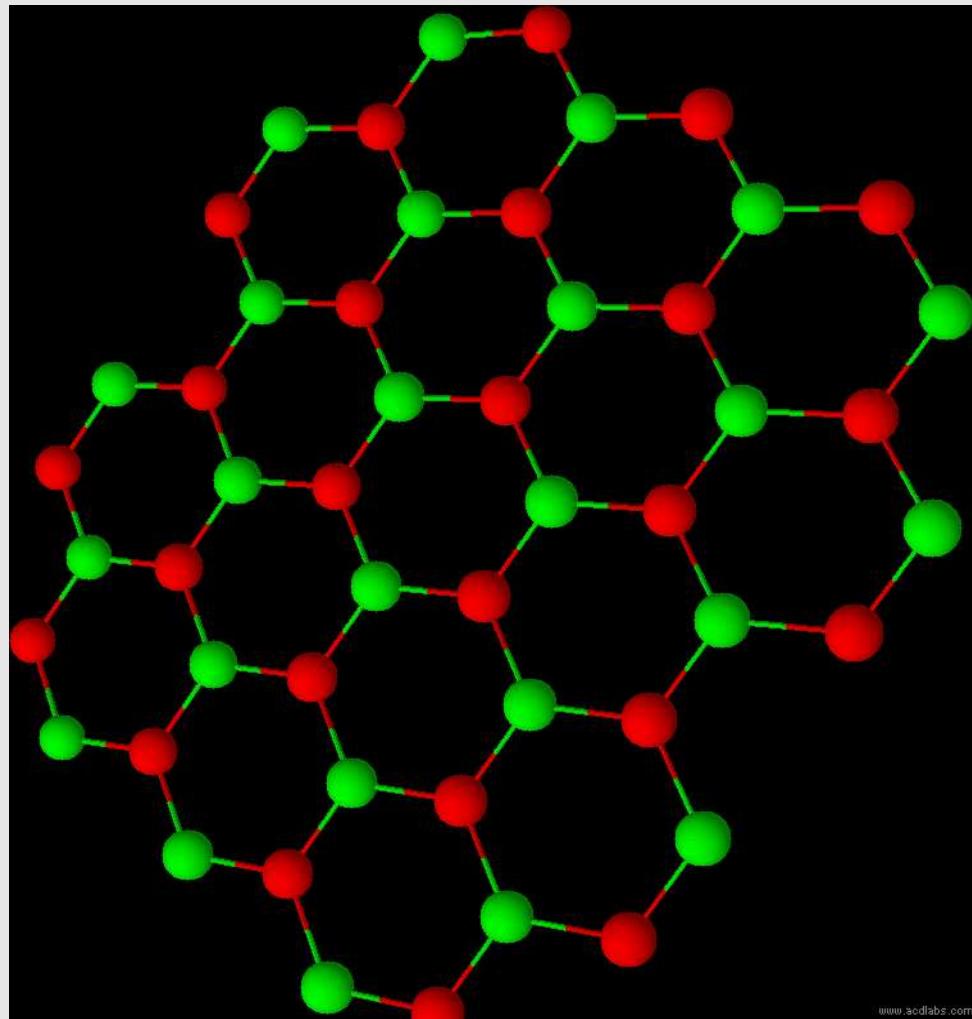


Formen von Kohlenstoff



- Diamant und Graphit
- Graphen
- carbon nanotube
- Fullerenen

Graphen Struktur

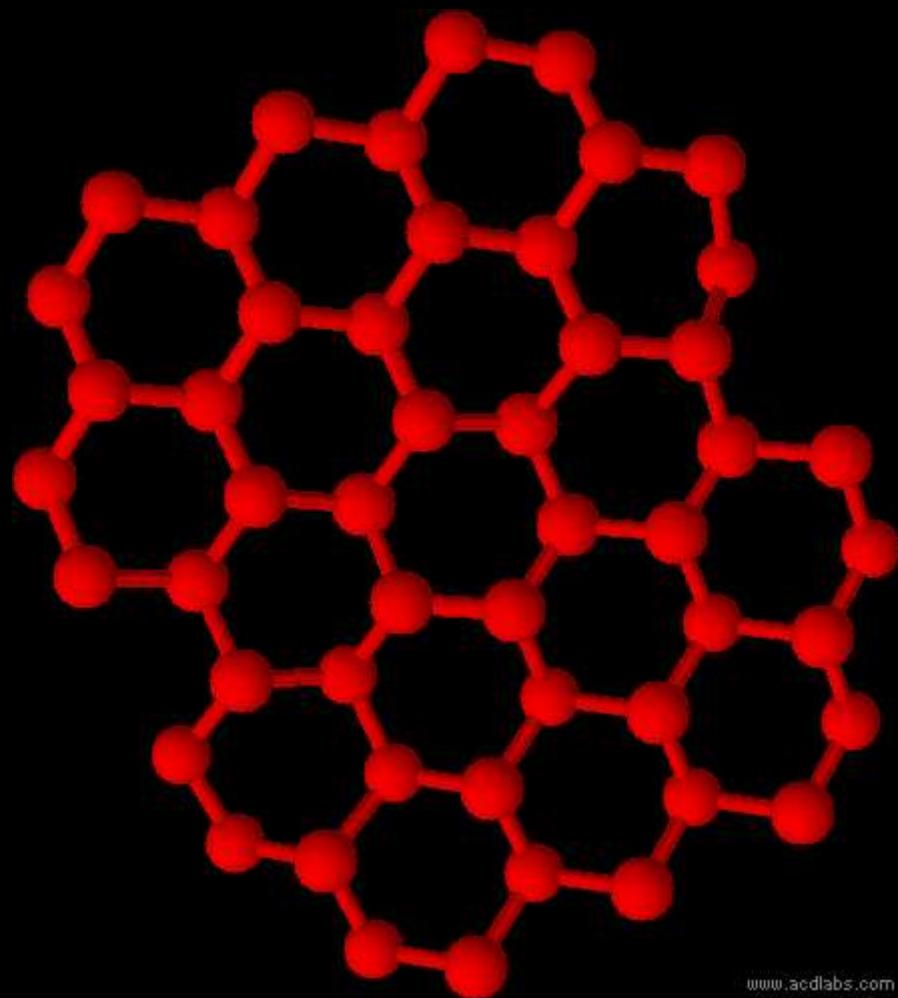


- Hexagonale Struktur
- Zwei Atome pro Brillouin Zone
- Darher kommen zwei Untergitter

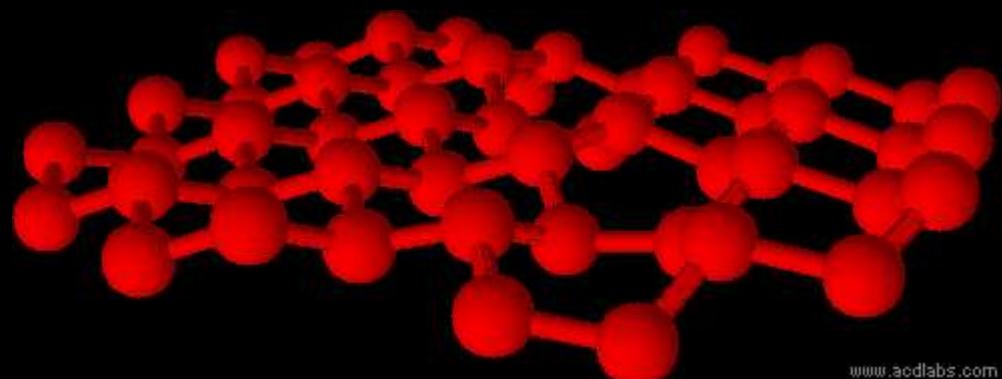
Stabilität in 2 Dimensionen

- Mermin–Wagner Theorem:
Fluktuationen zerstören langreichweitige Ordnung
in 2 Dimensionen
- Fluktuationen in harmonischer Näherung:
 - 3D : sehr klein
 - 2D : divergent
- Membranen zerknittern in 3D

Folge: Graphen rippled



www.acdlabs.com



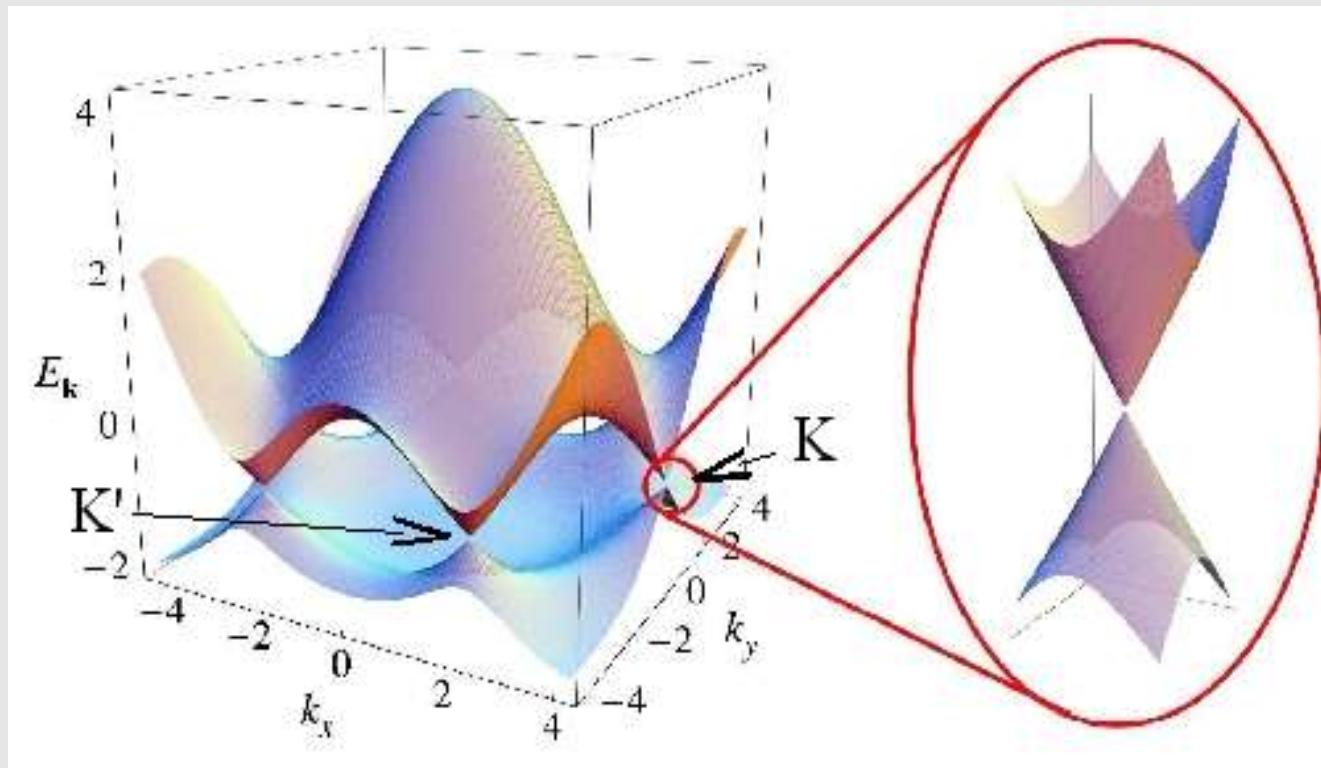
www.acdlabs.com

Gitterfehler

- Stufen- und Schraubenveretzung zerstören Translationssymmetrie

Forderung: Kohäsionsenergie >> thermischer Energie

Energiespektrum von Graphen



- Bei Dirac Punkten K und K' ist E linear abhängig von k
- ähnlich Dirac Spektrum für masselose Fermionen

Analogien zum Dirac Spektrum

Dirac Spektrum

- Elektronen \leftrightarrow Ladungsträger
 - Positronen \leftrightarrow Quasiteilchen(Löcher)
 - Lichtgeschwindigkeit c \leftrightarrow Fermigeschwindigkeit $v_F \approx \frac{c}{300}$
 - Spin \leftrightarrow Untergitter
 - Spinor Wellen Funktion \leftrightarrow zweikomponentige Wellenfunktion

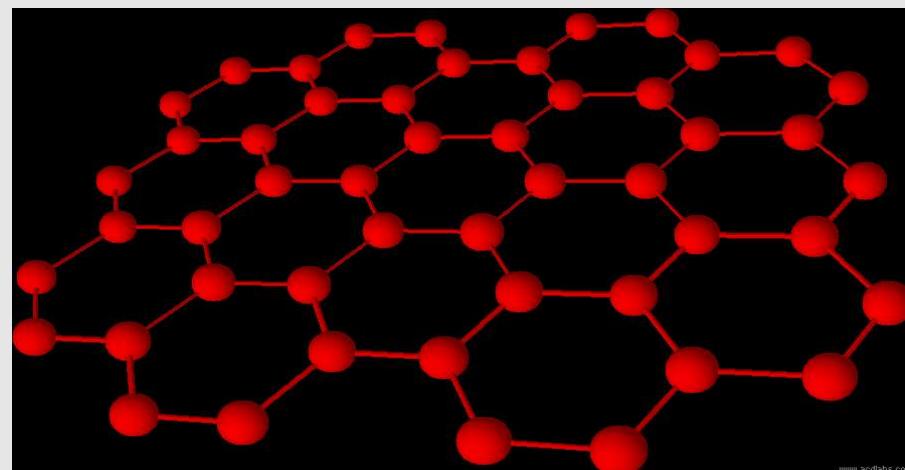
Graphen Spektrum

Quantenelektrodynamik

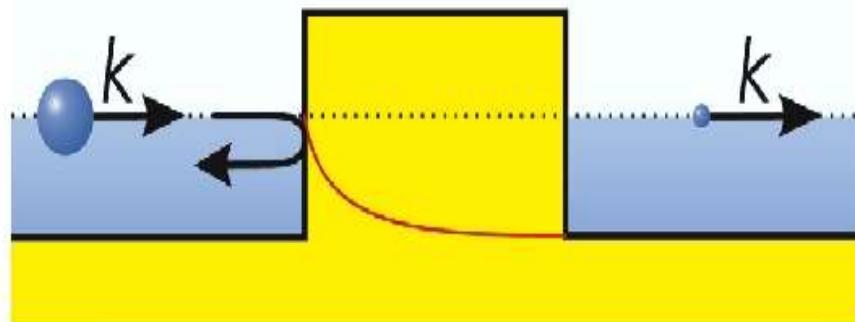
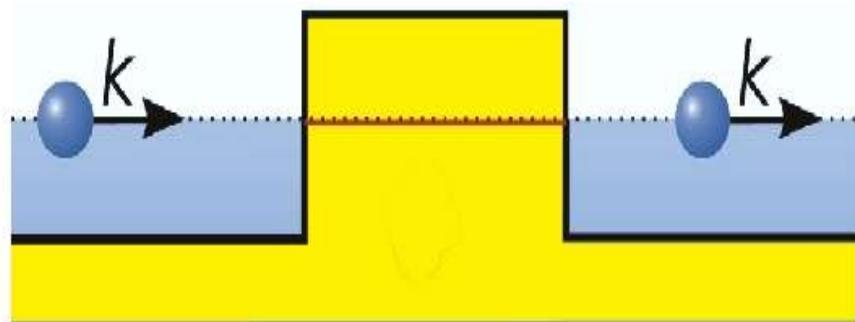
- Heisenbergsche Unschärfe
- Dirac Gleichung
- Tunneleffekte

Theorie der kondensierten Materie

- Landau Niveaus
- Quanten-Hall-Effekt



Kleinparadoxon



Kleinparadoxon

- Tunnelwahrscheinlichkeit = 1
- Höhe der Barriere mindestens zweifache Ruheenergie

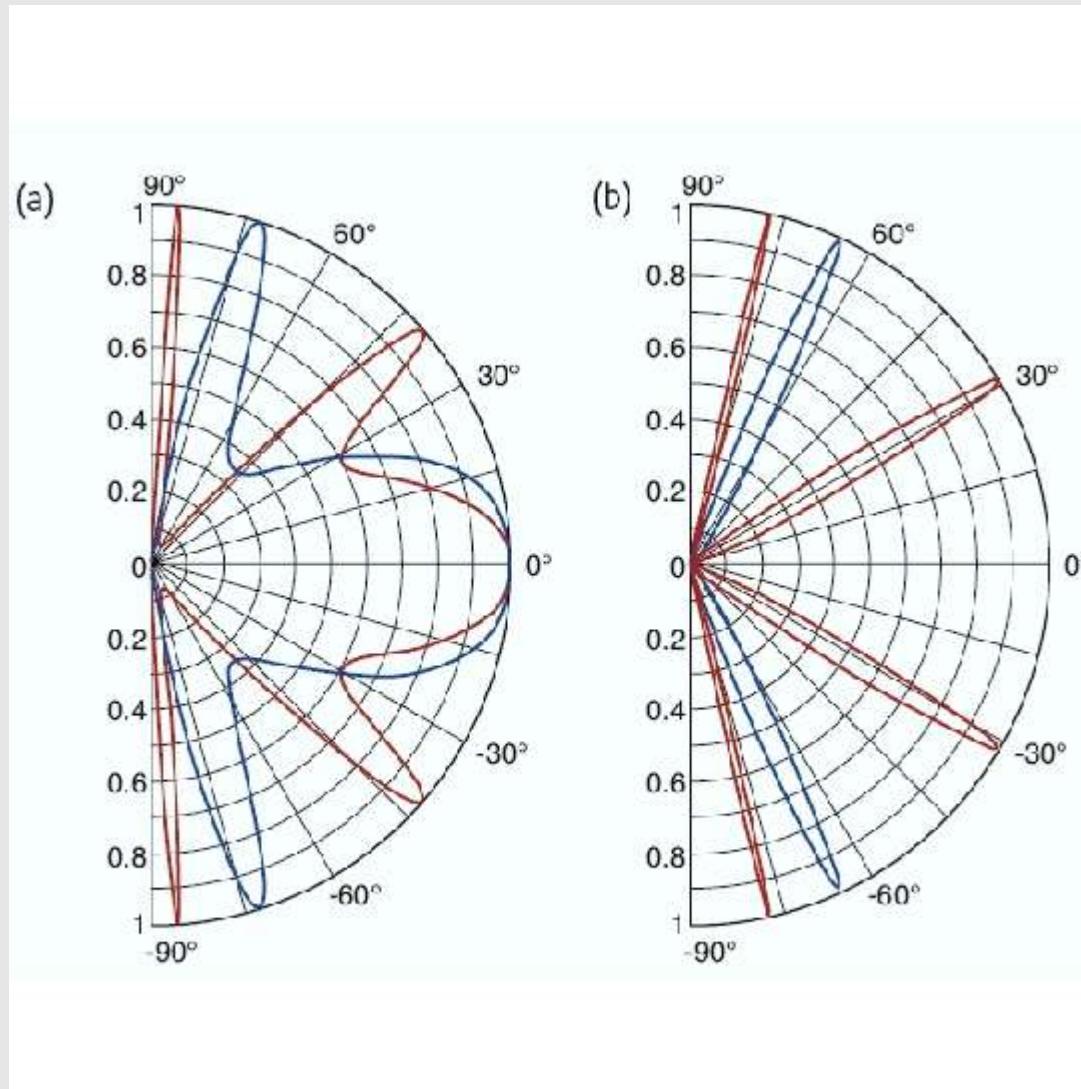
Tunneln

- Tunnelwahrscheinlichkeit nimmt exponentiell ab
- Abhängig von Höhe und Breite der Barriere

Tunnelwahrscheinlichkeit

a)
Einzelschicht

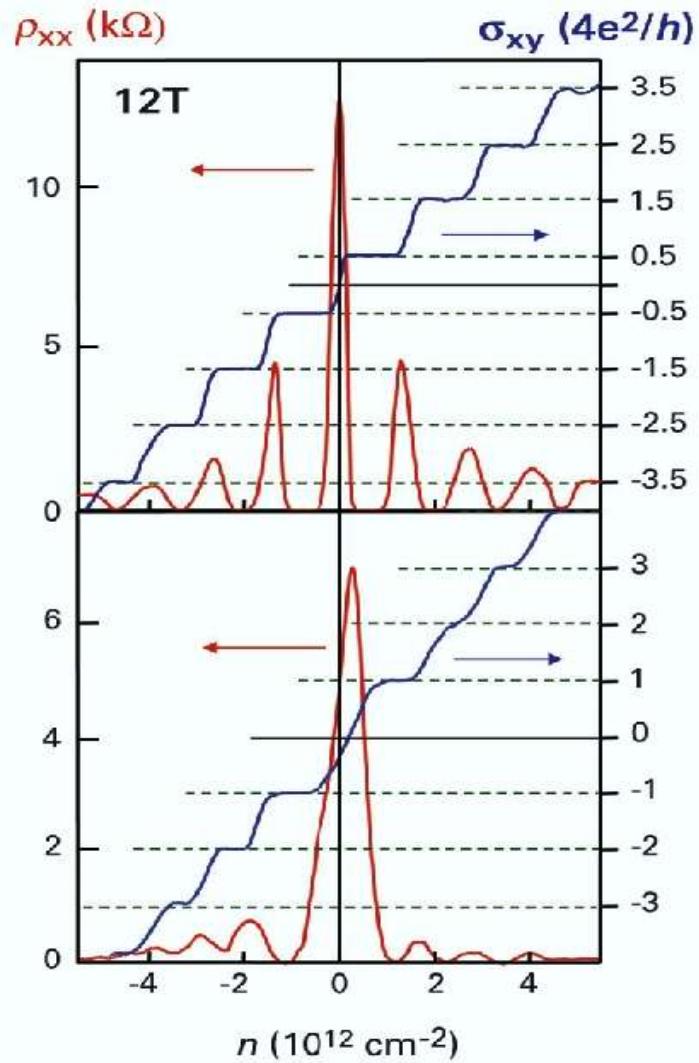
- 200 meV
- 285 meV



b)
Doppelschicht

- 50 meV
- 100 meV

Anormaler Quantenhalleffekt



Einzelschicht

- Halbzahlige Quantisierung der Leitfähigkeit nicht ganzzahlig!

Doppelschicht

- Großer Sprung bei Null sonst ganzzahlige Quantisierung

Landau Levels

Links Halbleiter

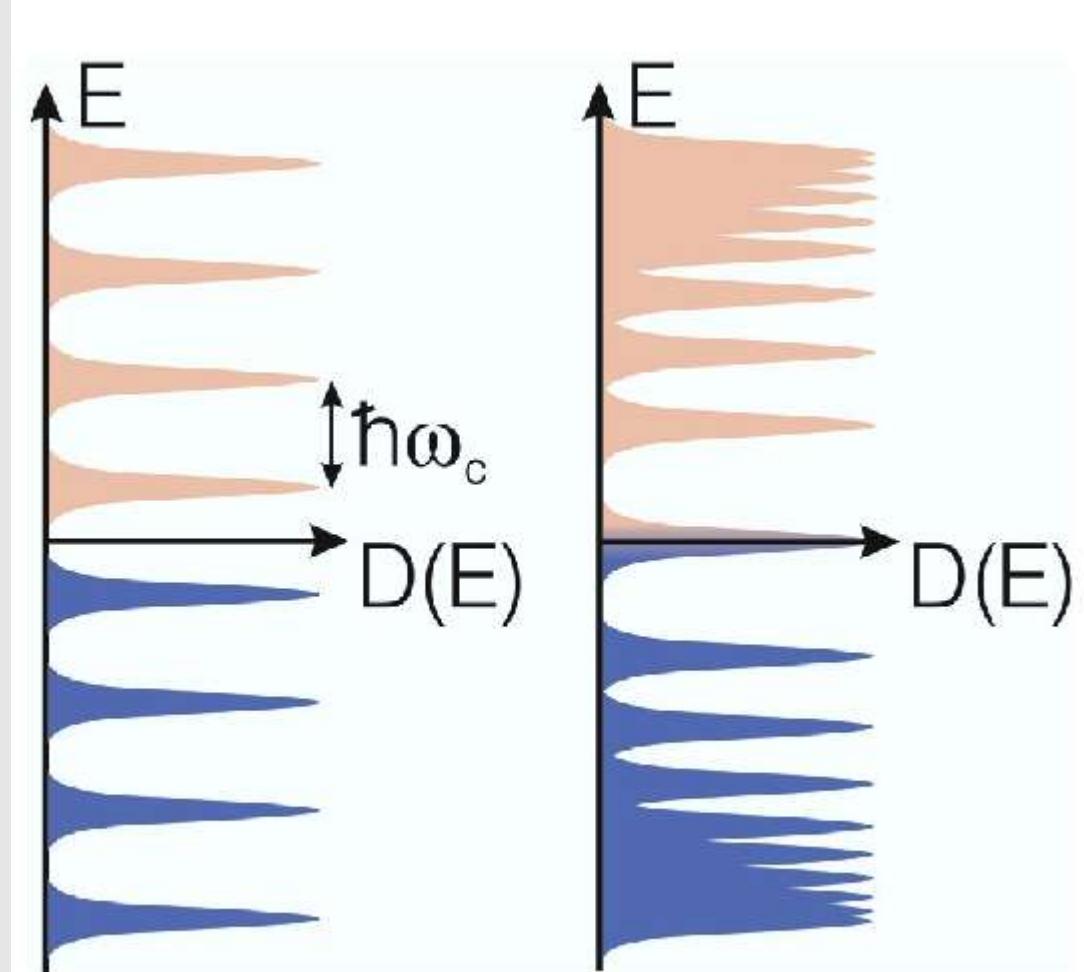
$$E = \hbar\omega_c\left(\nu + \frac{1}{2}\right)$$

parabolische
Dispersionsrelation

Rechts Graphen

$$E = \pm \sqrt{2|e|B\hbar v_F^2\left(\nu + \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}\right)}$$

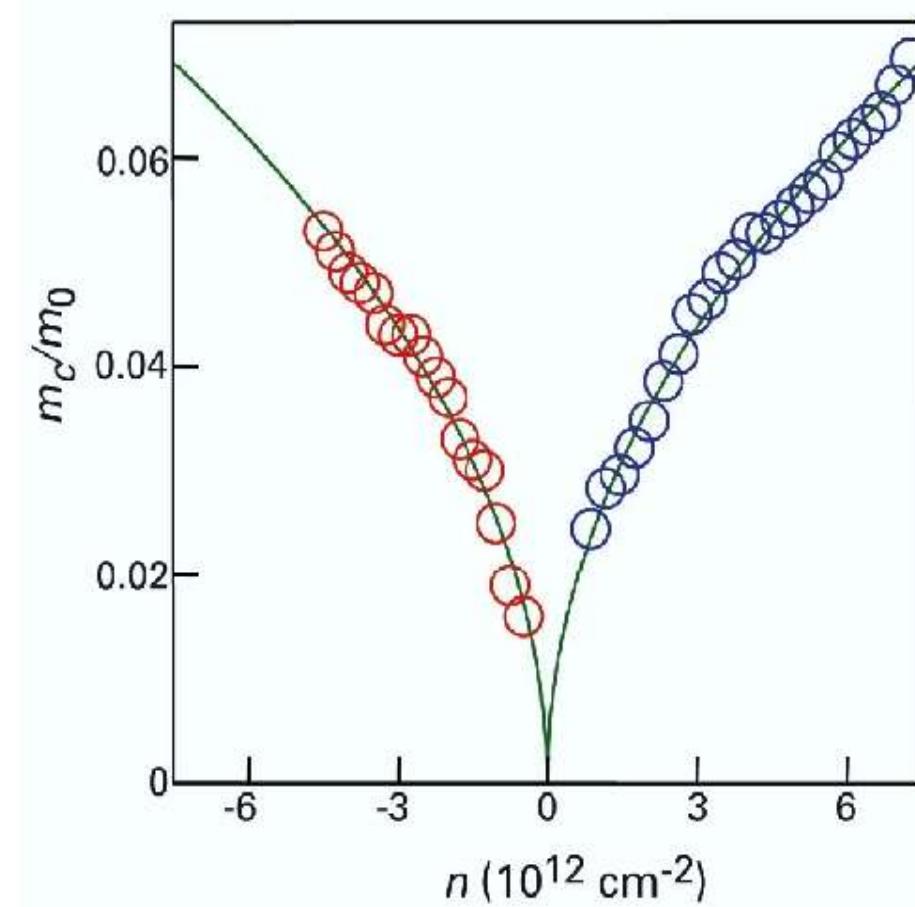
lineare
Dispersionsrelation



Zyklotronmasse

- Einstellen Fermienergie auf Landau Niveau
- Physikalische Größen oszillieren mit $1/B$
- Amplitude liefert Zyklotronmasse
- Periodendauer liefert Ladungsträgerkonzentration n
- Theorie bei linearer Dispersion liefert

$$m \propto \sqrt{n}$$



Anwendungen für Graphen

- Gassensor
- Feldeffekttransistor (FET)
- Supraleitenden FET
- TEM