

Edelgaskristalle, van der Waals Bindung

Van der Waals-Wechselwirkung ist in allen Kristallen vorhanden !!

im Edelgaskristall: ausschließlich van der Waals-Wechselwirkung

Elektronenkonfiguration der Atome: **abgeschlossene Schalen**

Bindung sehr schwach: $E_B = 20 \cdots 200 \text{ meV / Atom}$

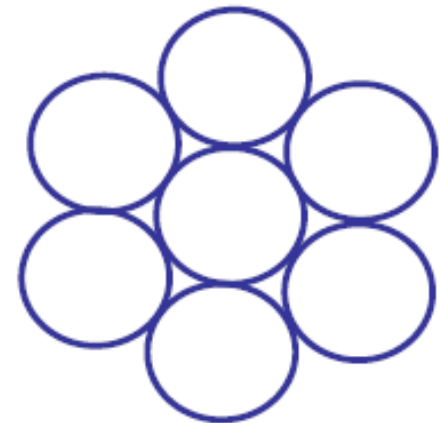
d.h. **nicht stabil bei Raumtemperatur**

$$(E_{\text{therm}} = k_B \cdot T = 25 \text{ meV bei } 300 \text{ K})$$

Sublimationstemperatur: $5 \text{ K} \cdots 80 \text{ K}$.

Kristallisation in fcc- (oder hcp-) Struktur

Ausnahme: He keine Kristallisation
beim Abkühlen.



Nur bei niedriger Temperatur und hohem Druck (z.B. 4 K und 2000 bar):
Kristallisation in hcp-Struktur

Superfluides und festes Helium

2 stabile He Isotope, e-Konfiguration $1s_2$



^4He



^3He

natürliche Häufigkeit	99,99986 %	0,00014 %
Siedepunkt	4,21 K	3,19 K
kritische Temperatur	5,20 K	3,32 K
Übergangstemperatur zum suprafluiden Zustand	2,177 K	0,0025 K

^4He : 2 Protonen $\uparrow\downarrow$ + 2 Neutronen $\uparrow\downarrow$ + 2 Elektronen $\uparrow\downarrow$ > Boson

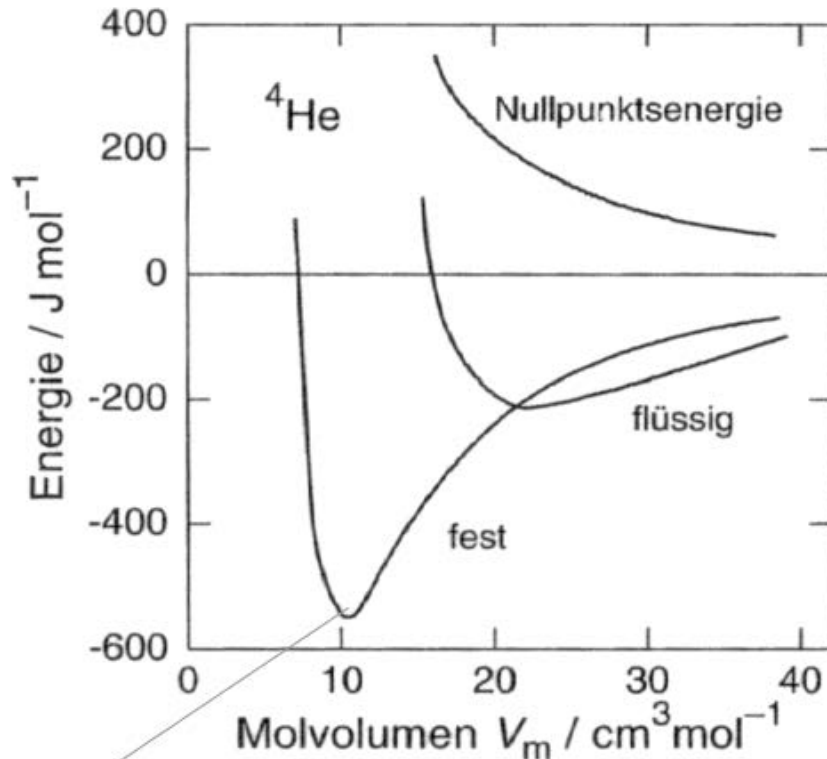
^3He : 2 Protonen $\uparrow\downarrow$ + 1 Neutron \uparrow + 2 Elektronen $\uparrow\downarrow$ > Fermion

Van der Waals + Nullpunktsenergie

$$E_0 = \frac{3 \hbar^2 \pi^2}{2 m V^{2/3}}$$

Nullpunktsenergie

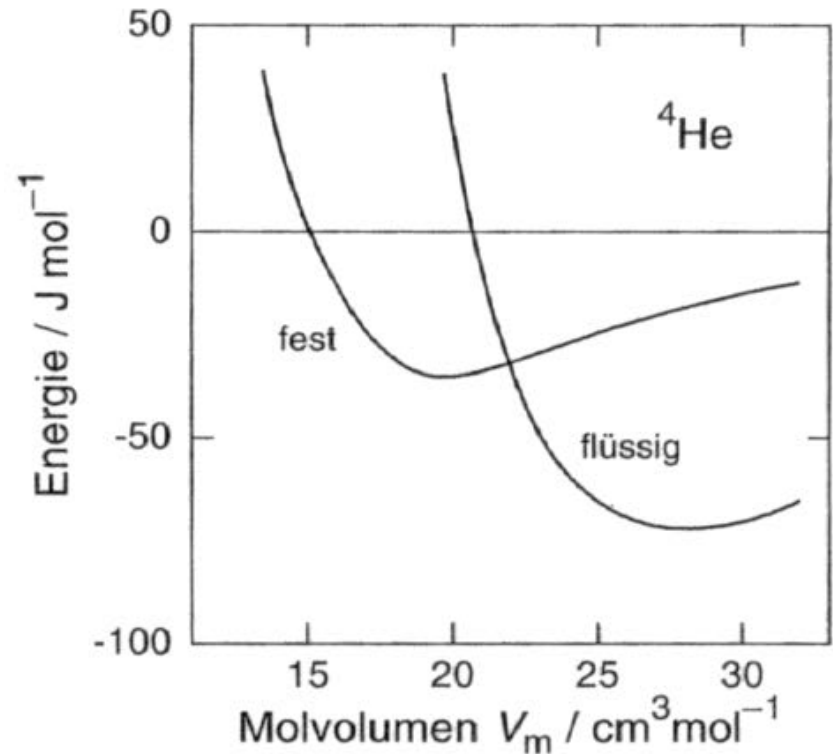
potenzielle Energie



Ohne Nullpunktsenergie

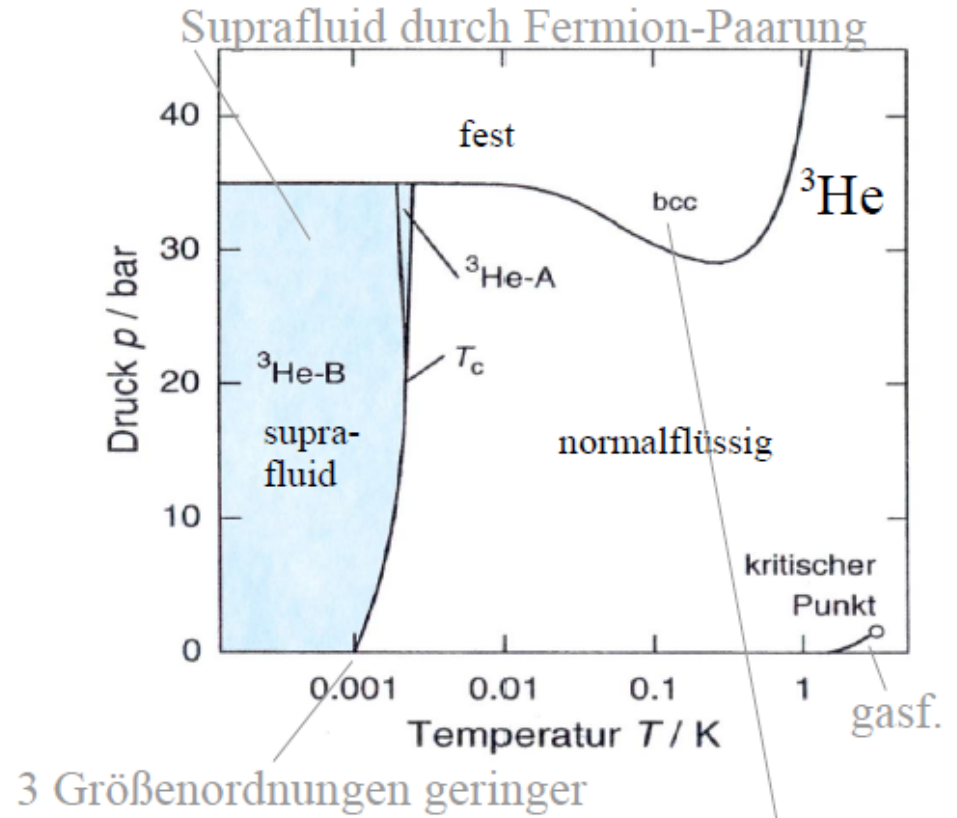
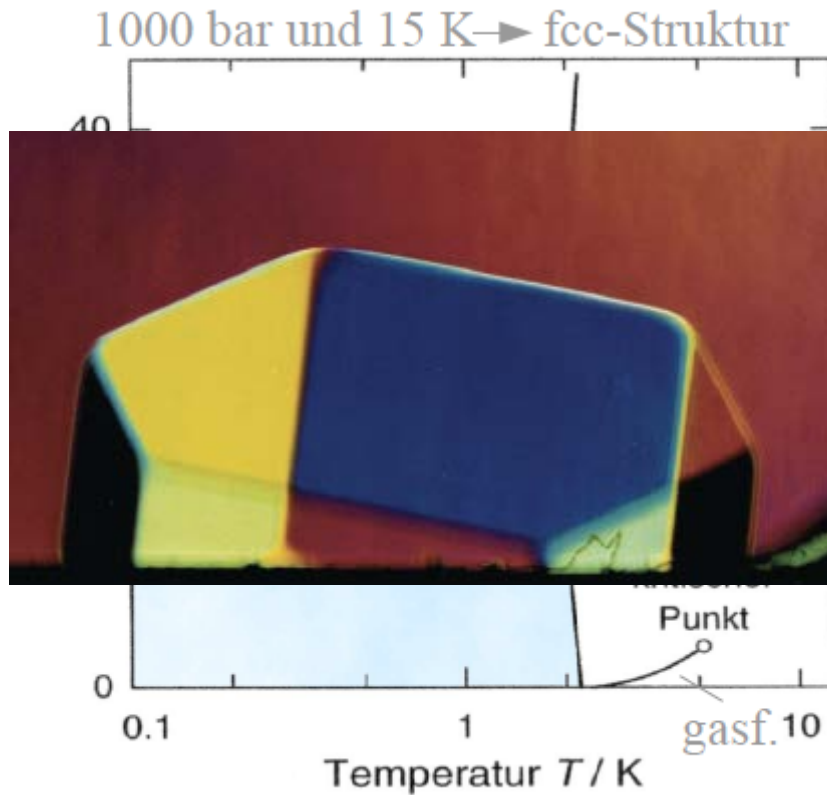
Nullpunktsenergie spielt bei allen anderen Edelgasen ausser Helium keine Rolle

Gesamtenergie



Mit Nullpunktsenergie nur fest bei $T \sim 1-1.5$ K und $p > 2.5$ MPa

Phasendiagramm von ^3He und ^4He



Bei Normaldruck nicht fest

Kein Tripelpunkt

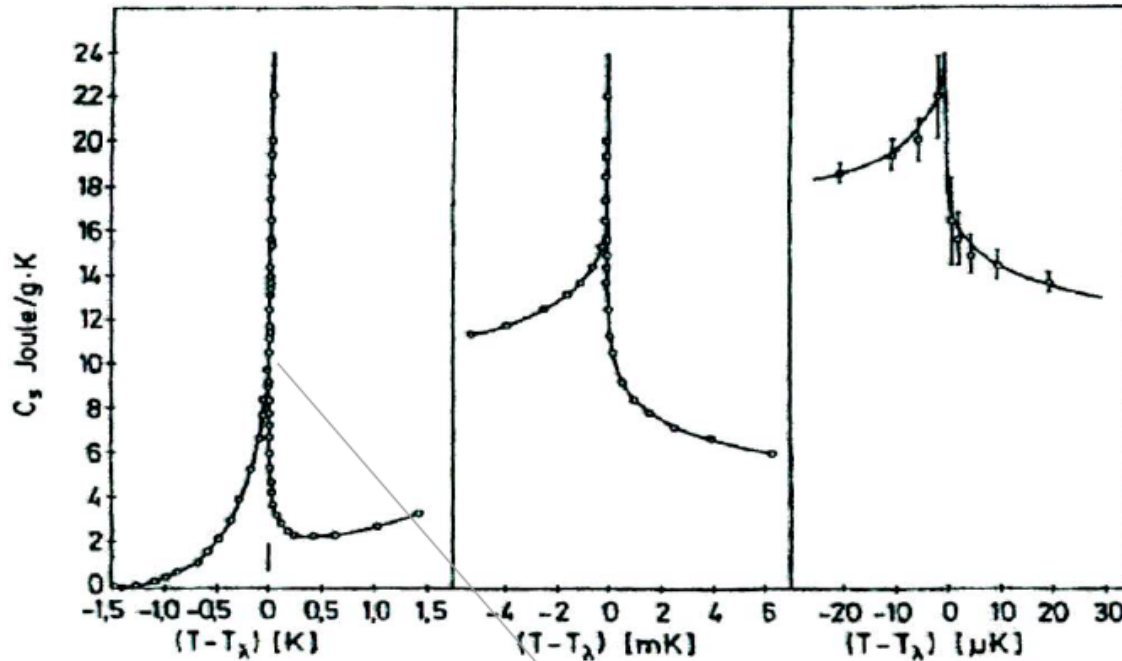
Suprafluidität ähnlich Supraleitung, Phasenübergang 2. Ordnung

^4He und ^3He gänzlich unterschiedlich

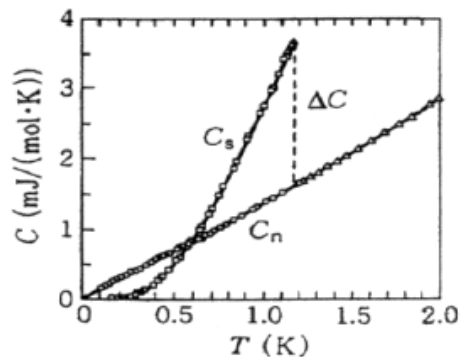
Schmelzen bei
Temperaturerniedrigung
(Pomerantchuk-Effekt)

Suprafluidität ist Phasenübergang 2. Ordnung

Wärmekapazität um T_λ



= Phasenübergang 2. Art
(keine Umwandlungswärme)



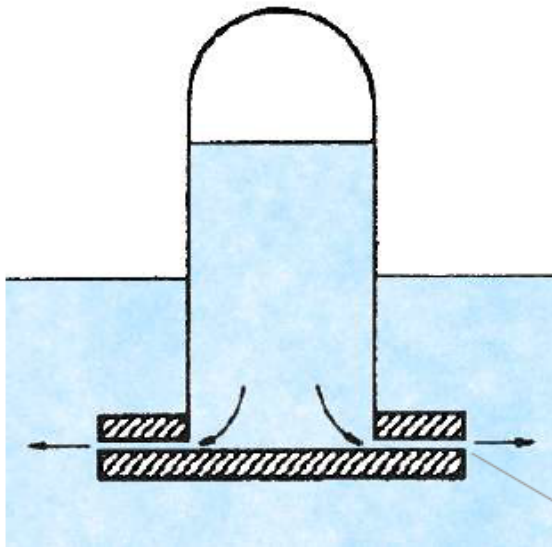
Singularität an Phasenübergang
= spontane Ausbildung makroskopischer Ordnung

Vergleich zum Supraleiter:
ebenfalls Phasenübergang 2. Art

Suprafluide Eigenschaften

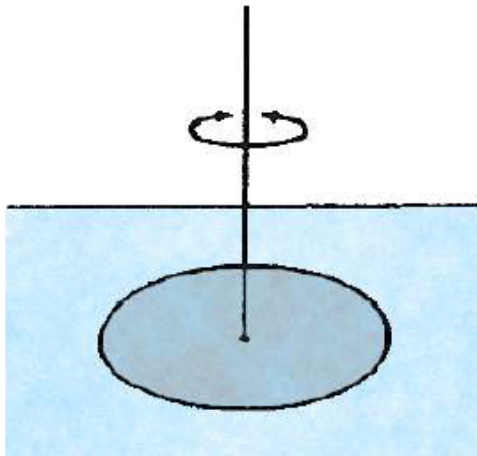
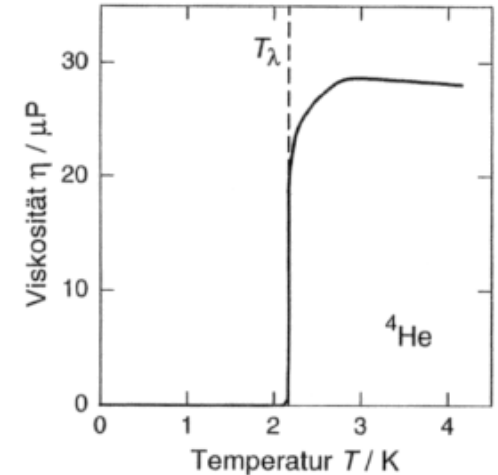
- Verschwindende Viskosität, Abfall um 11 Größenordnungen
- Sehr hohe Wärmeleitfähigkeit, Anstieg um 5 Größenordnungen
- Sieden nur noch an der Oberfläche statt im ganzen Volumen

Viskositätsmessungen



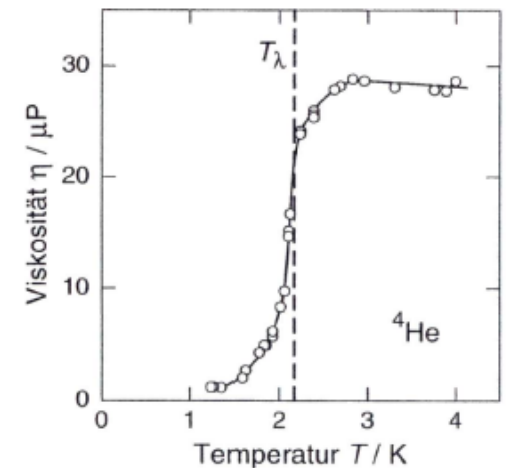
Heliumstand im Gefäß in Abhängigkeit von der Zeit

→ Viskosität $< 10^{-12}$ Pa s

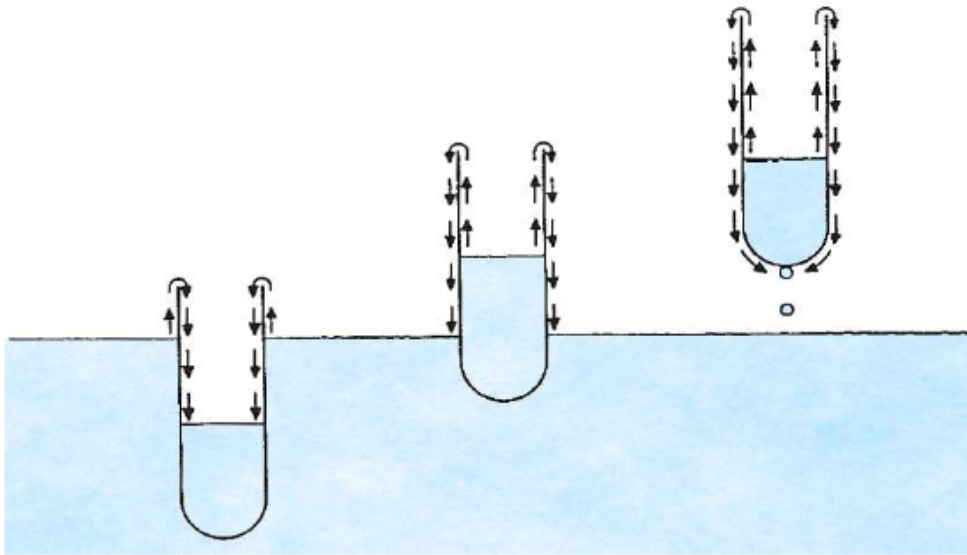


Dämpfung der Schwingung durch Reibung

→ Viskosität $\approx 10^{-6}$ Pa s
wie Wasser bei 300 K

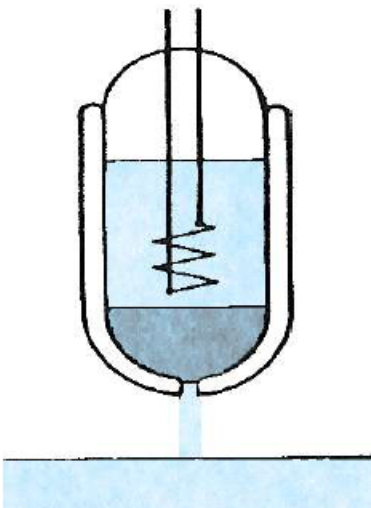


Ausfluss von suprafluidem He



Suprafluider Heliumfilm auf Glaswand

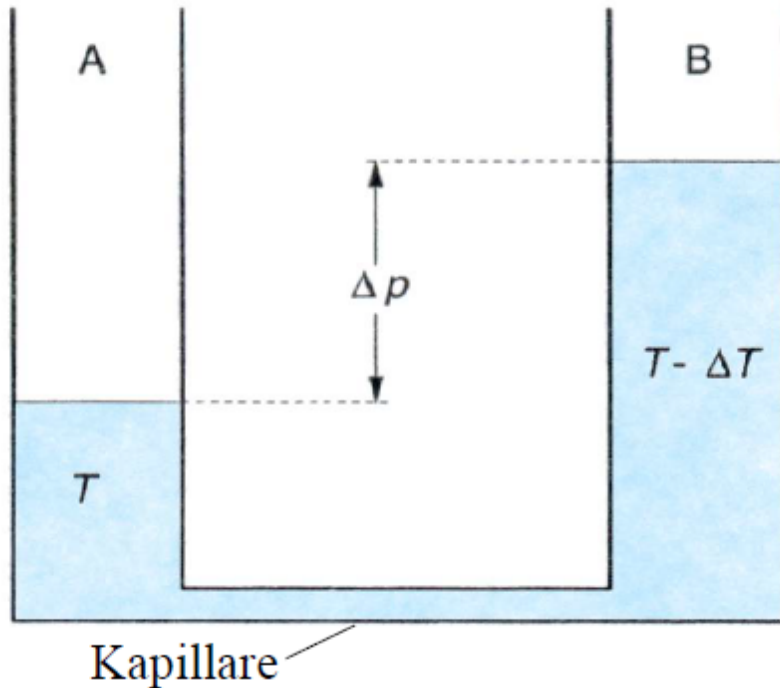
→ Helium fließt zur energetisch günstigsten Position



Austrittsspalt mit Pulver verschlossen

Temperaturerhöhung beim Ausfluss von He

Thermomechanischer Effekt



zu Beginn: $T_A = T_B$

Druckerhöhung in A

- Pegelausgleich
- Temperaturanstieg in A
- Temperaturabfall in B

Entfernen von Δp \longrightarrow Ausgangszustand wiederhergestellt

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} = \rho S$$

London-Gleichung

Zwei-Flüssigkeiten-Modell

Helium bestehend aus zwei verschiedenen Flüssigkeiten:

$$\rho = \rho_n + \rho_s$$

keine Einteilchenanregung, sondern
thermische Anregungen (Phononen, Rotonen)

normalfluide Komponente (He I)

suprafluide Komponente (He II)

Dichte

$$\rho_n$$

$$\rho_s$$

Viskosität

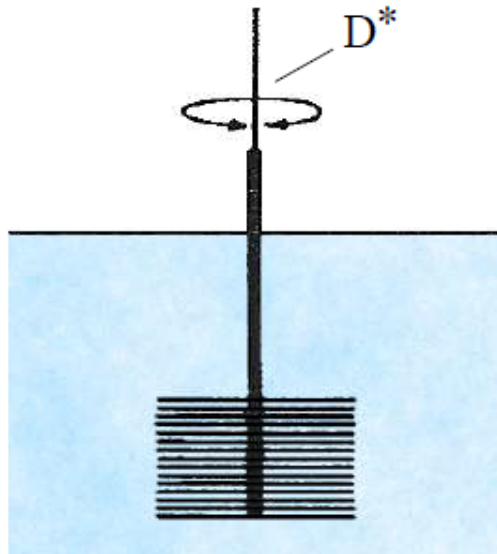
$$\eta_n = \eta$$

$$\eta_s = 0$$

Entropie

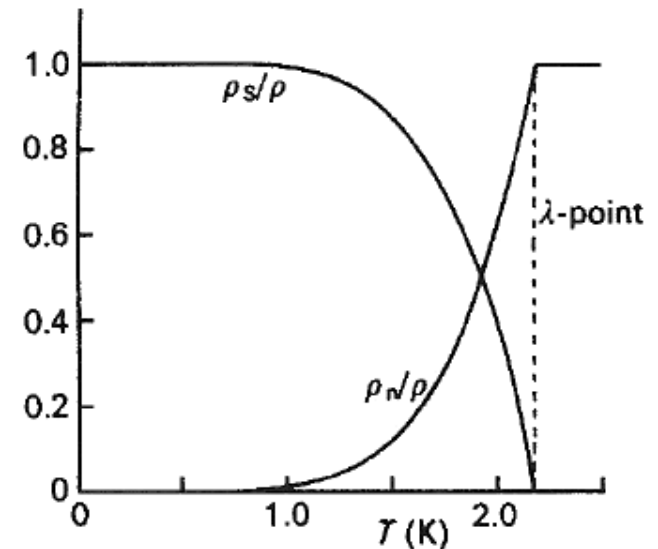
$$S_n = S$$

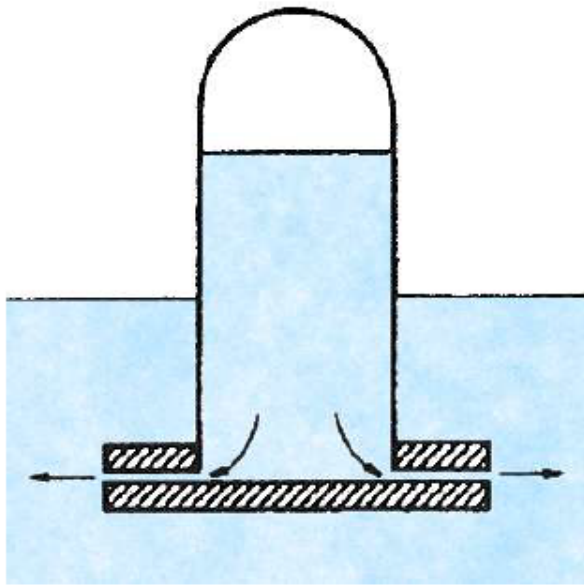
$$S_s = 0$$



Bestimmung des Masse-
verhältnisses mittels
Pendelfrequenz
eines Plattenstapels

$$\omega_0(T) = \sqrt{\frac{D^*}{J(m_n(T))}}$$

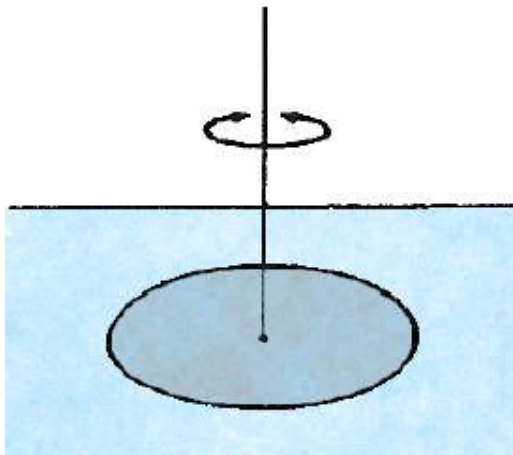




schmaler Austrittsspalt

→ normalfluide Komponente blockiert,
nur suprafluide Komponente fließt

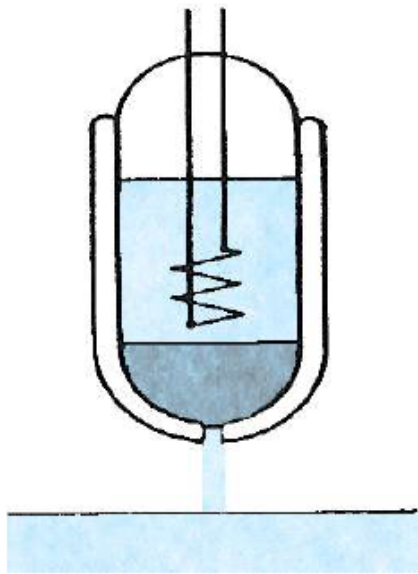
→ $\eta = \eta_s < 10^{-12} \text{ Pa s}$



Drehmoment: $M = \pi \sqrt{\eta \rho} \omega^{3/2} r^4 \Theta(\omega)$
|
Auslenkwinkel

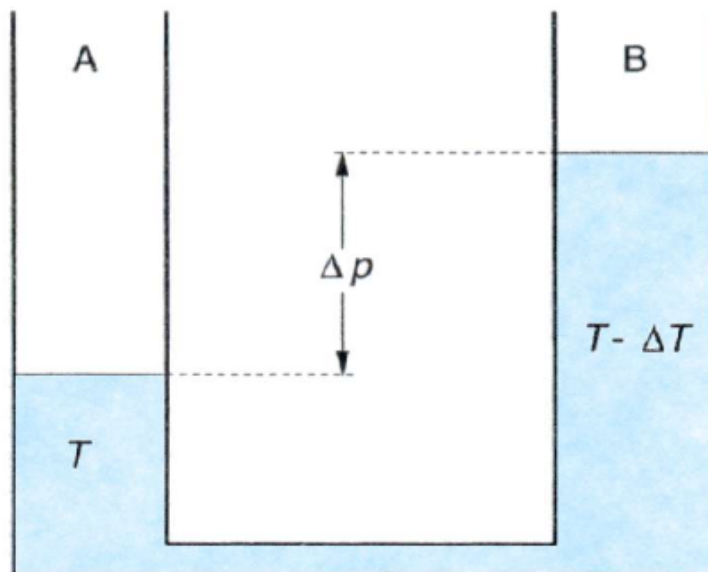
Dämpfung der Schwingung nur durch Reibung an der
normalfluiden Komponente möglich

→ $\eta = \eta_n \approx 10^{-6} \text{ Pa s}$



- durch Pulver tritt nur suprafluide Komponente aus
- normalfluide Komponente inkl. Entropie bleiben im Gefäß

Temperaturerhöhung beim Ausfluss von He



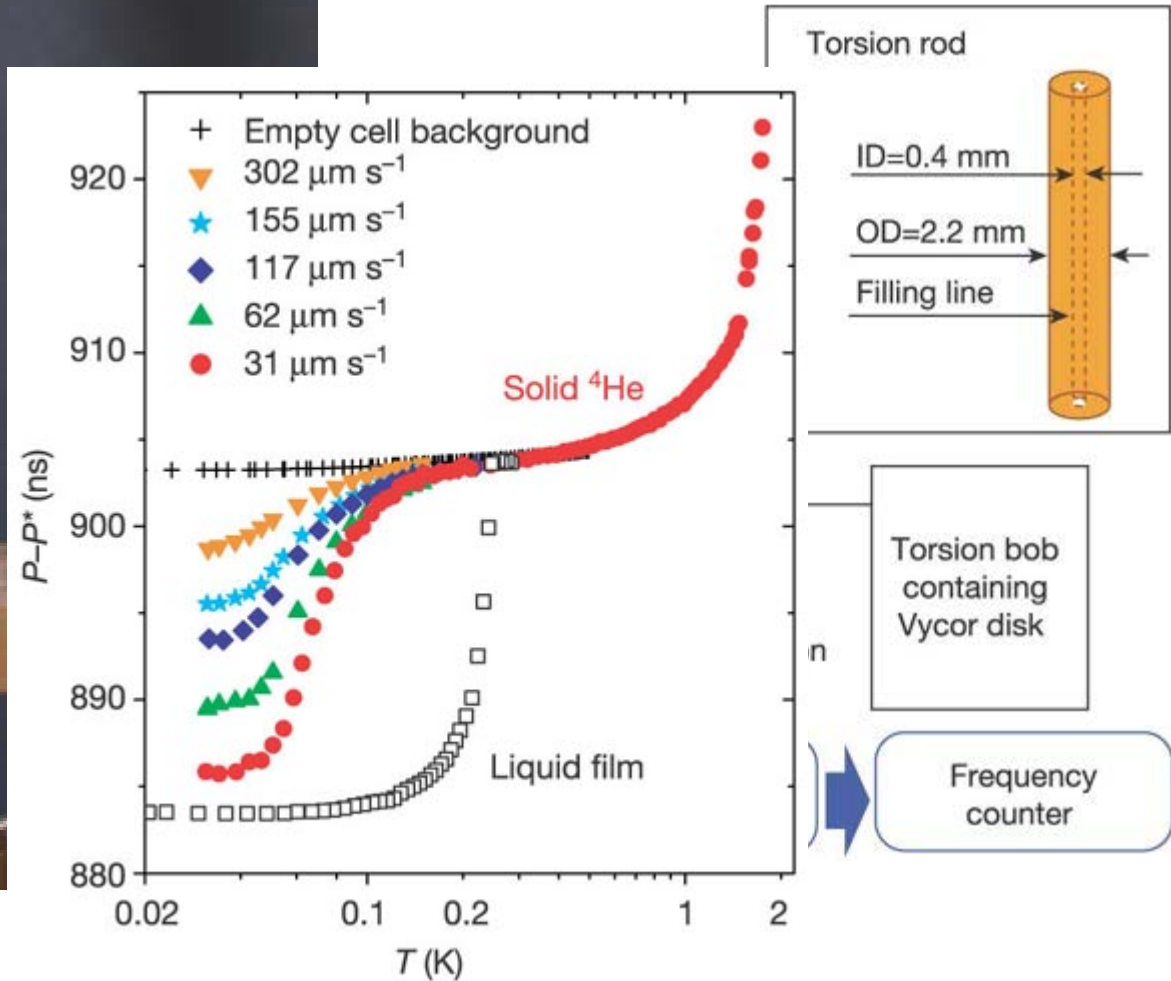
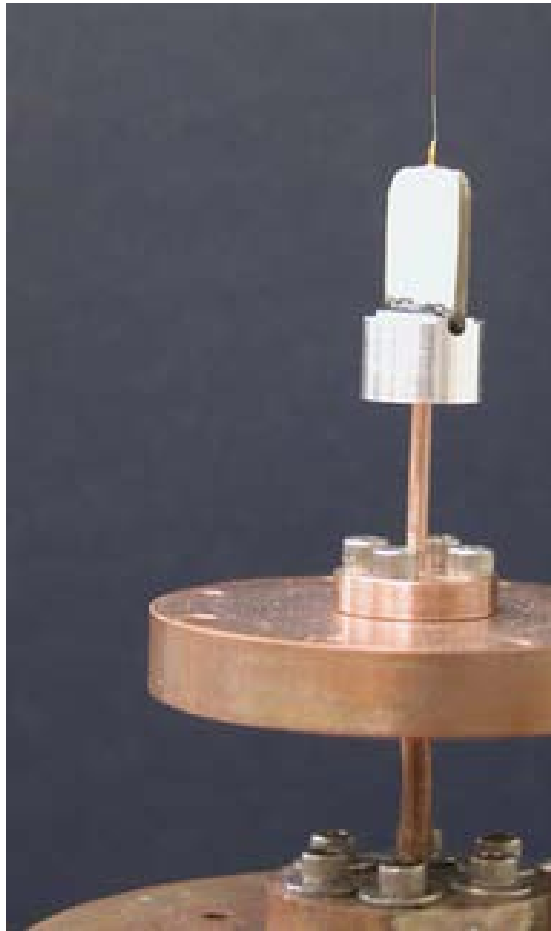
A

- suprafluide Komponente fließt durch Kapillare
 - normalfluide Komponente bleibt zurück
- Temperaturanstieg

B

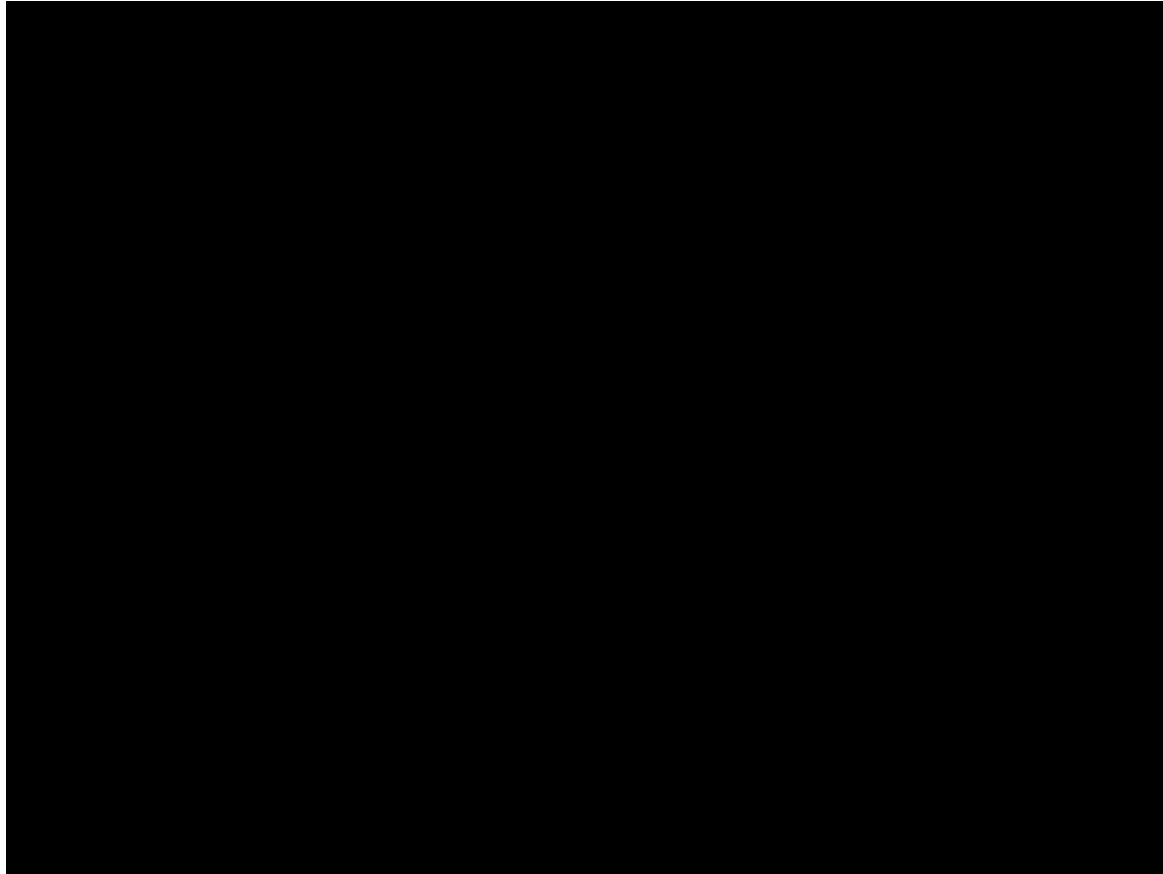
- ρ_n / ρ_s wird geringer
- Energiedichte fällt
- Temperatur sinkt

Gibt es suprasolide Festkörper (in Analogie zu suprafluiden Flüssigkeiten) ?



Torsionsoszillator von Kim und Chan (2004)

Video Supersolidität



Aber :

Focus: Supersolid Discoverer's New Experiments Show No Supersolid

Published October 8, 2012 | Physics 5, 111 (2012) | DOI: 10.1103/Physics.5.111

The first evidence of a superfluidlike state in solid helium came from 2004 experiments that, with improvements, now find no supersolidity.

The concept of “supersolid” helium—a bizarre material that does the atomic-scale equivalent of walking through walls—was supported by experiments in dozens of labs starting in 2004. Many doubts have since emerged, and now the researcher whose work kicked off the field reports in *Physical Review Letters* that all of those early results were misunderstood. His latest version of the apparatus, designed in response to issues raised since 2004, shows no sign of supersolidity. Researchers in the field say, however, that the pursuit of supersolidity has opened up new areas of study, such as research on the effects of quantum states of atoms on macroscopic material properties.

Theory says that frozen helium might become a “super” substance, where some atoms gang up and pass through the atomic lattice of the normal solid, a completely counterintuitive phenomenon. In 2004, the field of quantum matter got revved up when Eunseong Kim and Moses Chan at Pennsylvania State University in State College reported experiments showing the formation of a supersolid [1]. The team used a torsional oscillator, a hollow disk that hangs down on a rod and

Absence of Supersolidity in Solid Helium in Porous Vycor Glass

Duk Y. Kim and Moses H. W. Chan
Phys. Rev. Lett. **109**, 155301 (2012)

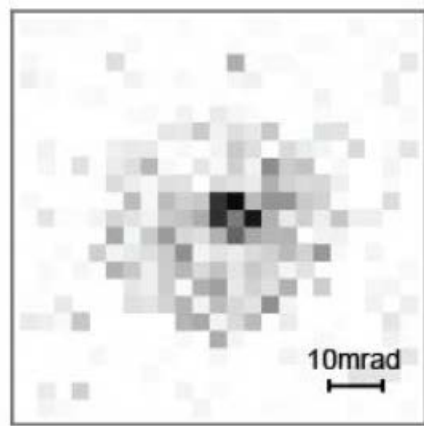
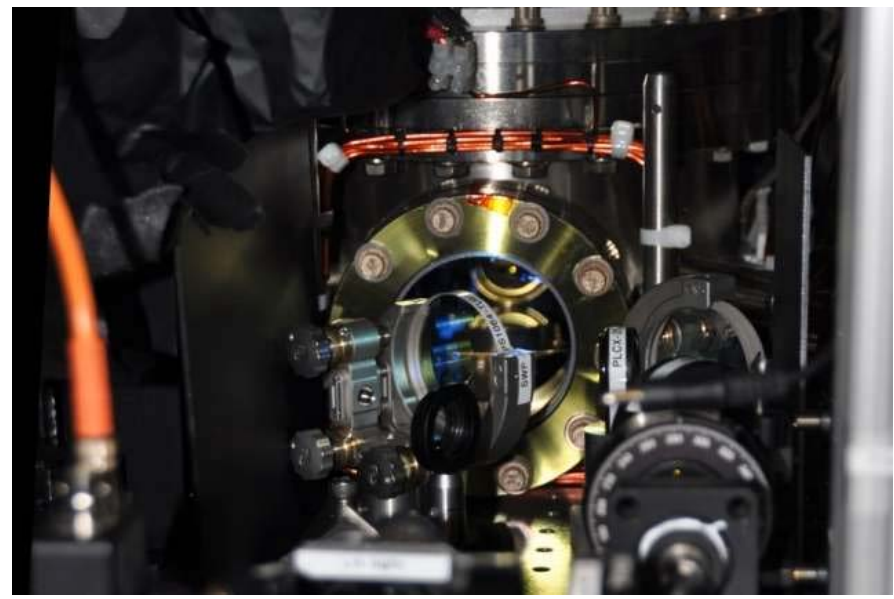
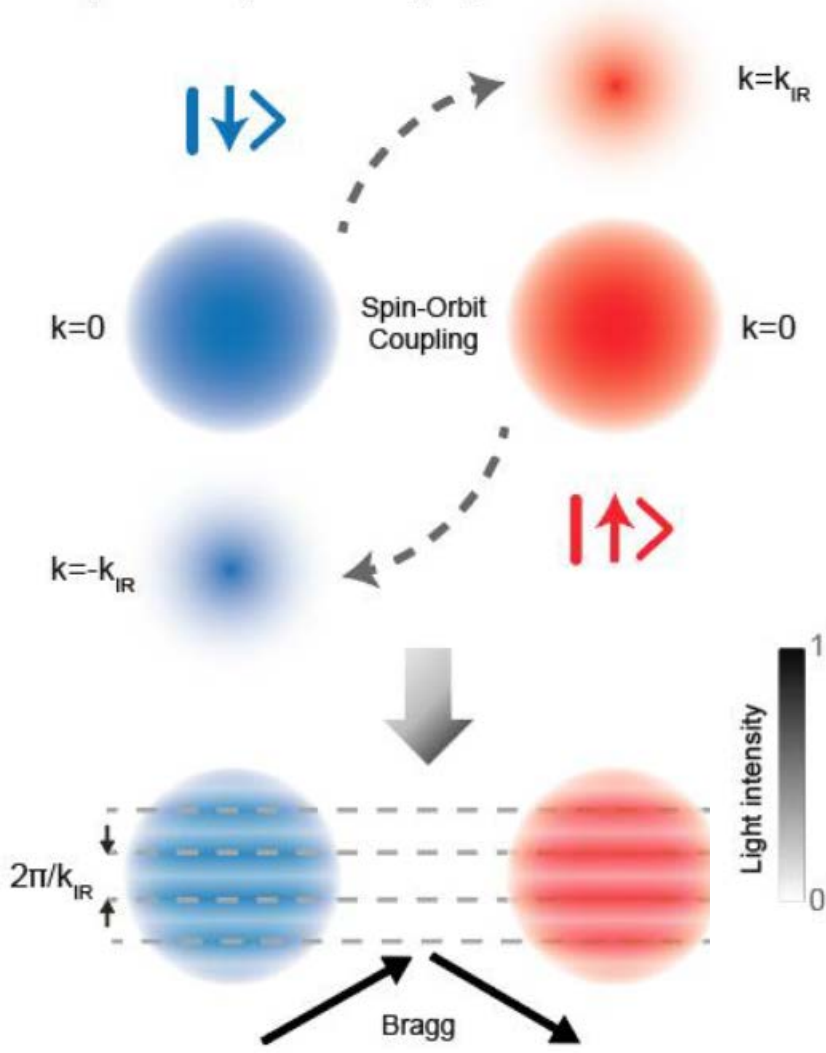
Published October 8, 2012

[+Enlarge image](#)

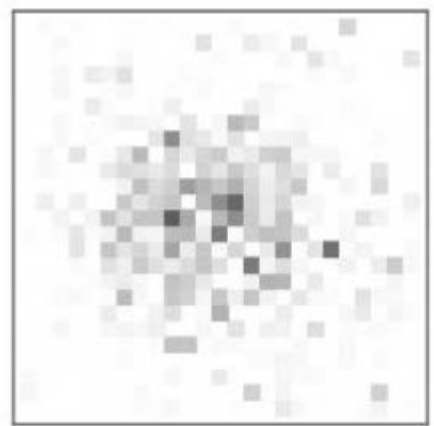
2017 : A stripe phase with supersolid properties in spin-orbit-coupled Bose-Einstein condensates

Jun-Ru Li , Jeongwon Lee, Wujie Huang, Sean Burchesky, Boris Shteynas, Furkan Çağrı Top, Alan O. Jamison & Wolfgang Ketterle

a Supersolid stripes from spin-orbit coupling



Bragg + Rayleigh



Rayleigh