

Interferenz makroskopischer Objekte

Vortragender:
Johannes Haupt
508385

Inhalt

1. Motivation
2. Geschichtliche Einführung
3. Experiment
 - 3.1. Aufbau
 - 3.2. Resultate
4. Thermische Strahlung
 - 4.1. Grundidee
 - 4.2. Experiment
 - 4.3. Auswertung
5. Zusammenfassung und Ausblick

1. Motivation

- Welle-Teilchen-Dualismus: Materie mit Welleneigenschaften
- Ursprung einiger Quantenphänomene

Schwerpunkt:

Experimente zum Nachweis der Welleneigenschaften von Materie über Interferenz von Molekülen

Übergang vom Mikrokosmos zum Makrokosmos

???

2. Geschichtliche Einführung

- Welle-Teilchen-Dualismus

- 1923 de Broglie Wellenlänge $\lambda_{dB} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$

- untersucht wurden daraufhin Elektronen, kleinere Atome und Neutronen
- Materiewellen-Interferometrie erst durch leistungsstarke Atominterferometer möglich
- Herstellung gut geeigneter Teilchen erst ab Mitte der 80er Jahre möglich



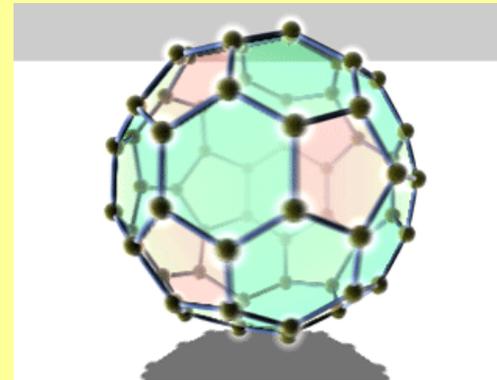
Louis-Victor de Broglie
Quelle: Wikipedia

3. Experiment

- Arbeitsgruppe um Dr. Markus Arndt (Universität Wien)
- C_{60} - Fullerene werden am Gitter gebeugt

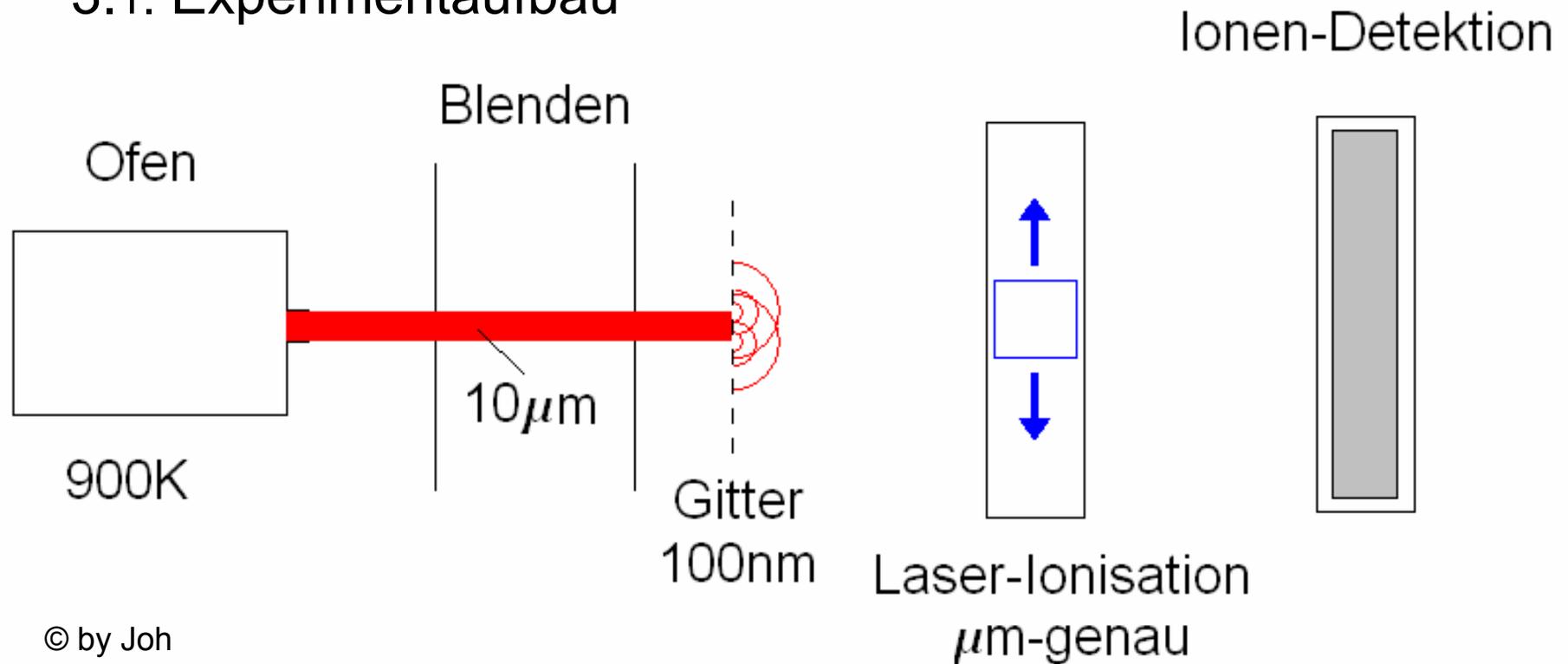
C_{60} - Fulleren

- sphärisches Molekül aus Kohlenstoffatomen
- viele interne Freiheitsgrade, daher klassisch keine Interferenz erwartet
- „Bucky-Ball“



C_{60} - Fulleren
Quelle: Wikipedia

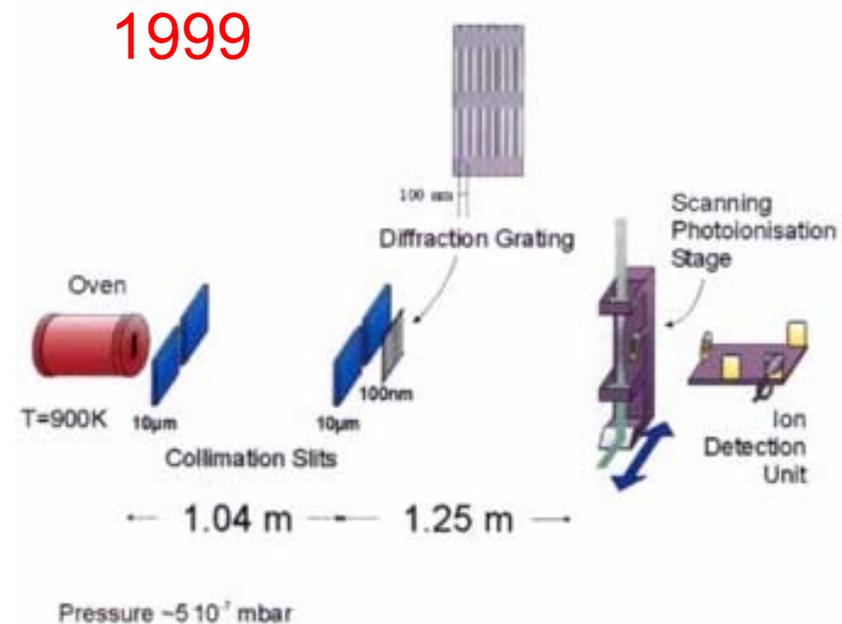
3.1. Experimentaufbau



- Ofen erhitzt C_{60} – Fullerene auf ca. 900K
- 2 Blenden als Voraussetzung für räumliche Kohärenz
- hochpräzises Gitter, da Materiewellenlänge \ll Teilchendurchmesser

3.1. Experimentaufbau

- Laserstrahl mittels Linsen fokussiert → 8 μ m dick
- Laserstrahl absolut parallel zu Blenden und Gitter
- Argon-Ion-Laser ionisiert Bucky-Ball → Elektron wird herausgelöst



Interferenznachweis am Ion-Detektor

- Fulleren-Ionen werden durch Linsensystem fokussiert
- Beschleunigung zur Konverter-Elektrode (9kV)
- dort werden Elektronen verstärkt und detektiert

Vorteil: keine Detektion von Restgasen im Vakuum
→ Fehler < 1count/sec

3.1. Experimentaufbau

2003

Schwierigkeiten

- Ausrichtung des Teilchenstrahls (räumliche Kohärenz)

Lösungen

Blendenöffnungen beweglich

C_{60} Ofen

räumlicher Drift

5 μm

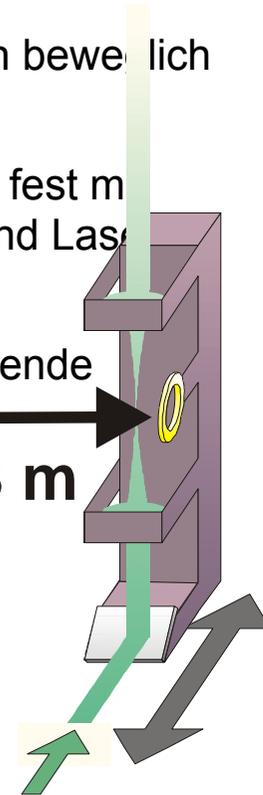
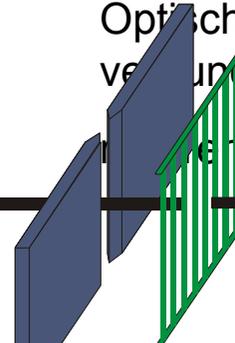
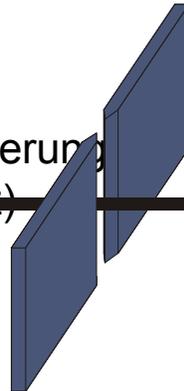
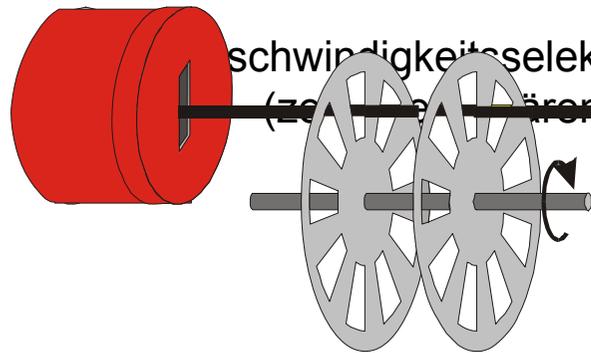
5 μm

Geschwindigkeitsselektierung (zeitliche Kohärenz)

1.13 m

Vakuum-Kammer fest mit Optischer Bank und Laser verbunden

1.33 m



Geschwindigkeitsselektor

Spalte

Gitter

Laser Detektor

3.2. Resultate

• klar zu erkennendes Interferenzmuster
 Messungen 1999

• Maximum 0. Ordnung passen sehr gut zur de Broglie-Wellenlänge
 Messungen 2005

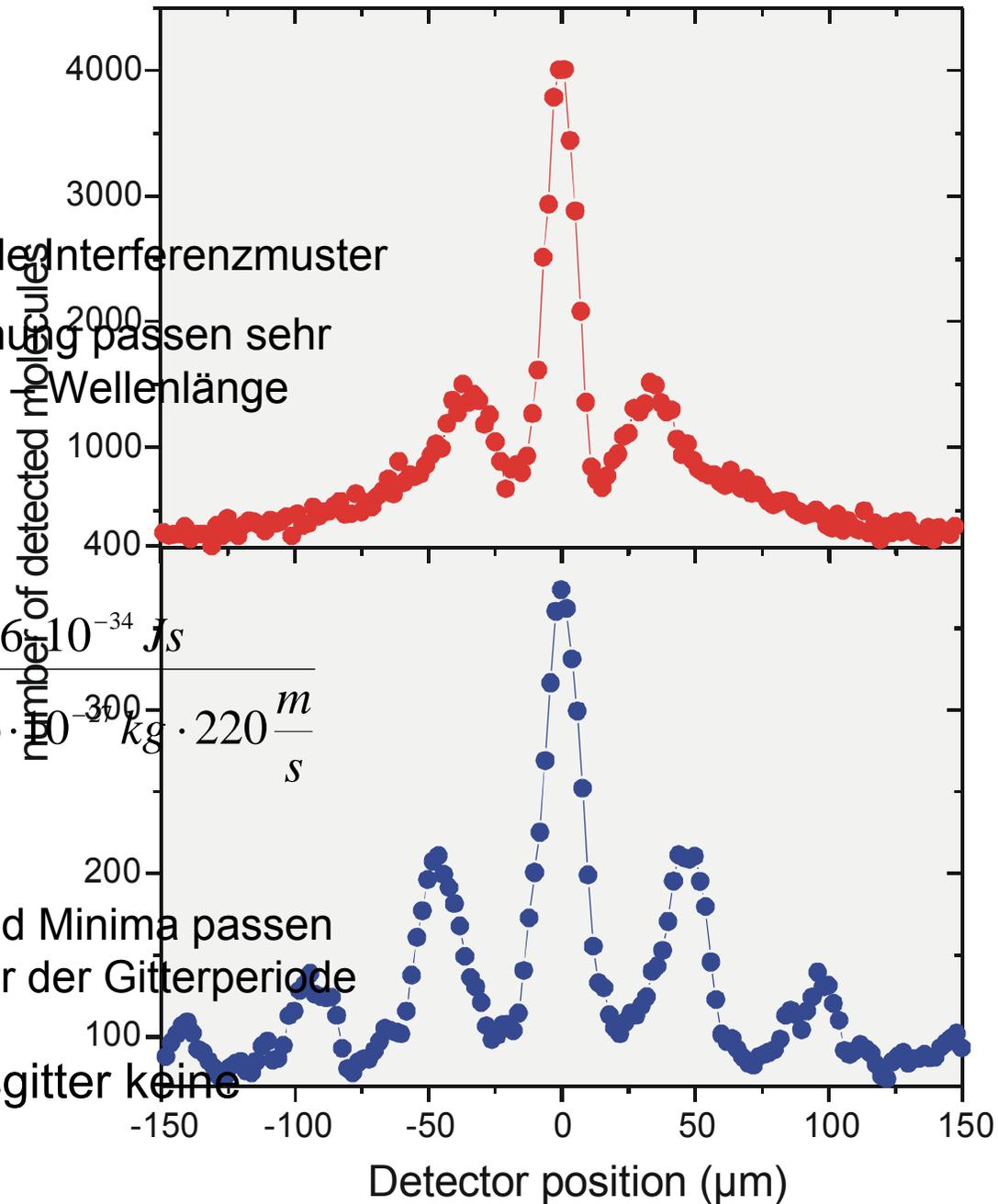
$$\lambda_{dB} = \frac{h}{m_{C_{60}} v}$$

$$= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{60 \cdot 12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 220 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\approx 2,5 \text{ pm}$$

• Nebenmaxima und Minima passen gut nach Korrektur der Gitterperiode

• ohne Beugungsgitter keine Interferenz



3.2. Resultate

Fit der Graphen theoretisch berechnet mit:

De Broglie Wellenlänge

Spaltbreite der Blenden (Kollimation → Parallelrichtung der Strahlen)

Spaltbreite des Gitters

Breite des Laserstrahls

Skalierungsfaktor

Alle Größen im Experiment möglichst variabel

4. Thermische Strahlung

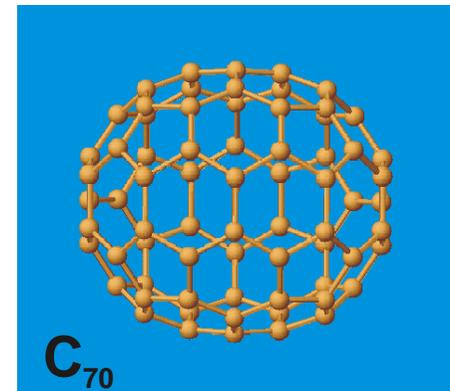
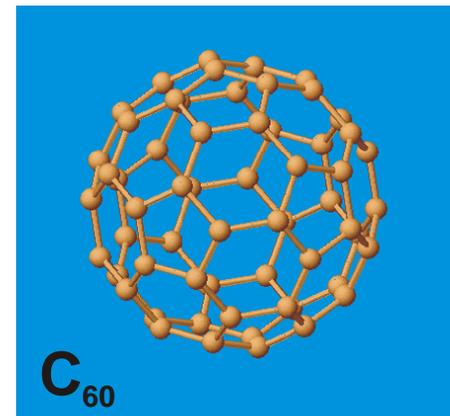
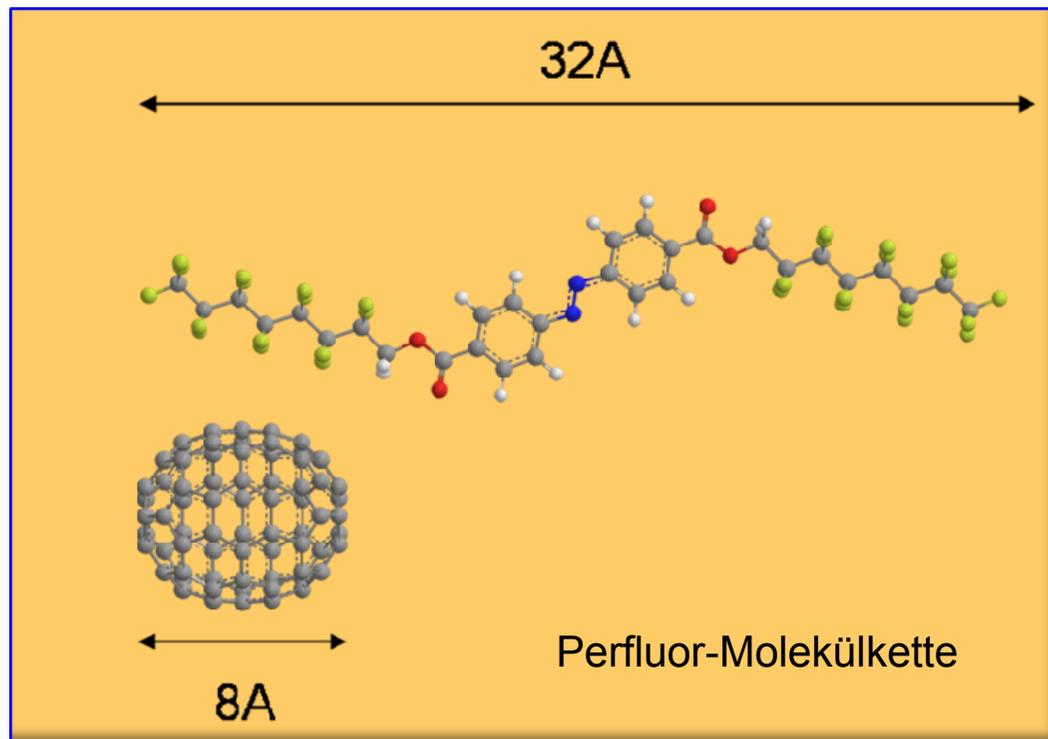
Frage: Übergang von der Quantenmechanik zur klassischen Physik?



Antwort: Wechselwirkung zwischen Quantensystem mit Umgebung

4. Thermische Strahlung

Man benutzt zur Untersuchung des Übergangs von der Quantenmechanik zur klassischen Physik große Moleküle mit vielen Freiheitsgraden



4.1. Grundidee

Verteilung der Kohärenz auf die Freiheitsgrade des Teilchens

Viele interne Freiheitsgrade (makroskopische Objekte, große Moleküle, ...) ermöglichen die Speicherung von viel Energie

Wechselwirkung mit Umgebung durch Umwandlung interner Energie zu thermischer Abstrahlung von Photonen

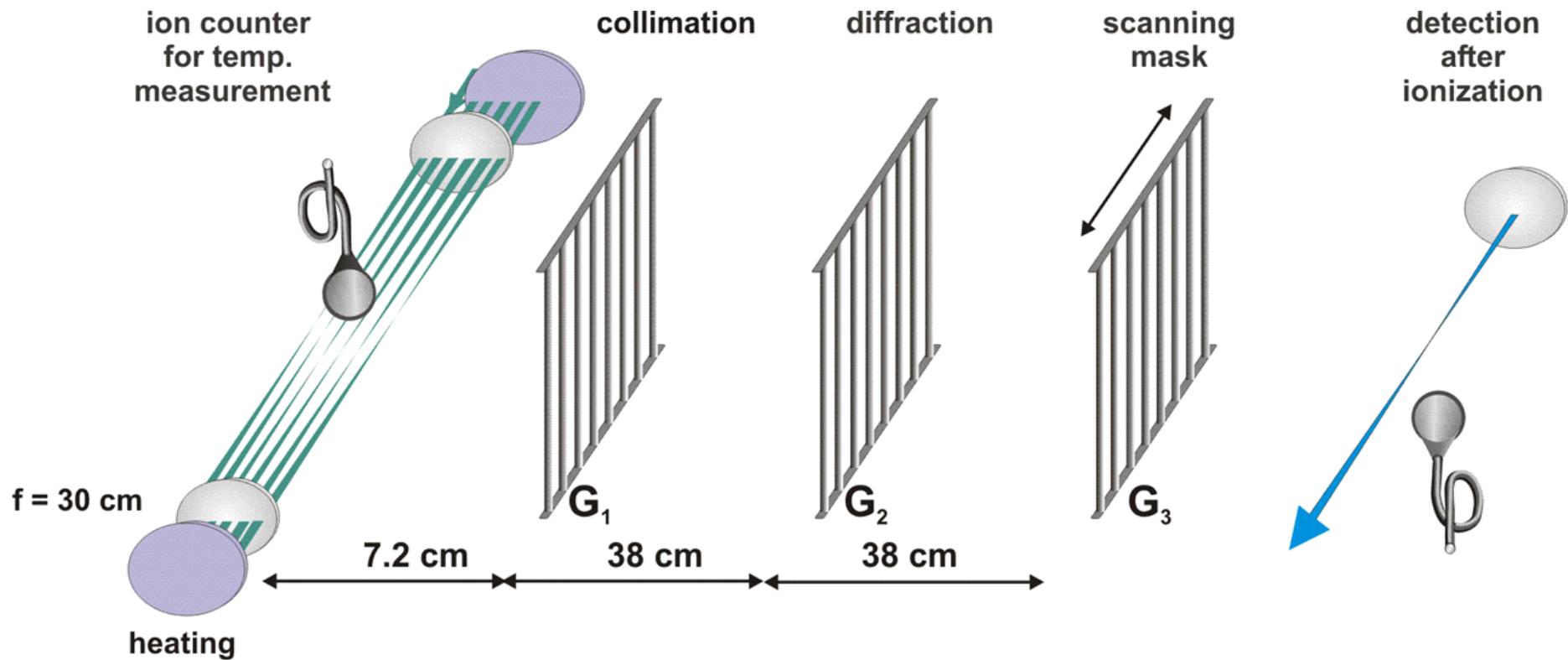
→ Rückstoß (Impuls) → Kopplung der inneren Freiheitsgrade mit der Schwerpunktsbewegung → Dekohärenz

Experiment:

- C_{70} – Fullerene werden vor Interferometer mittels Laser erhitzt
- Interferenzeigenschaften in Abhängigkeit ihrer Temperatur (Energie)

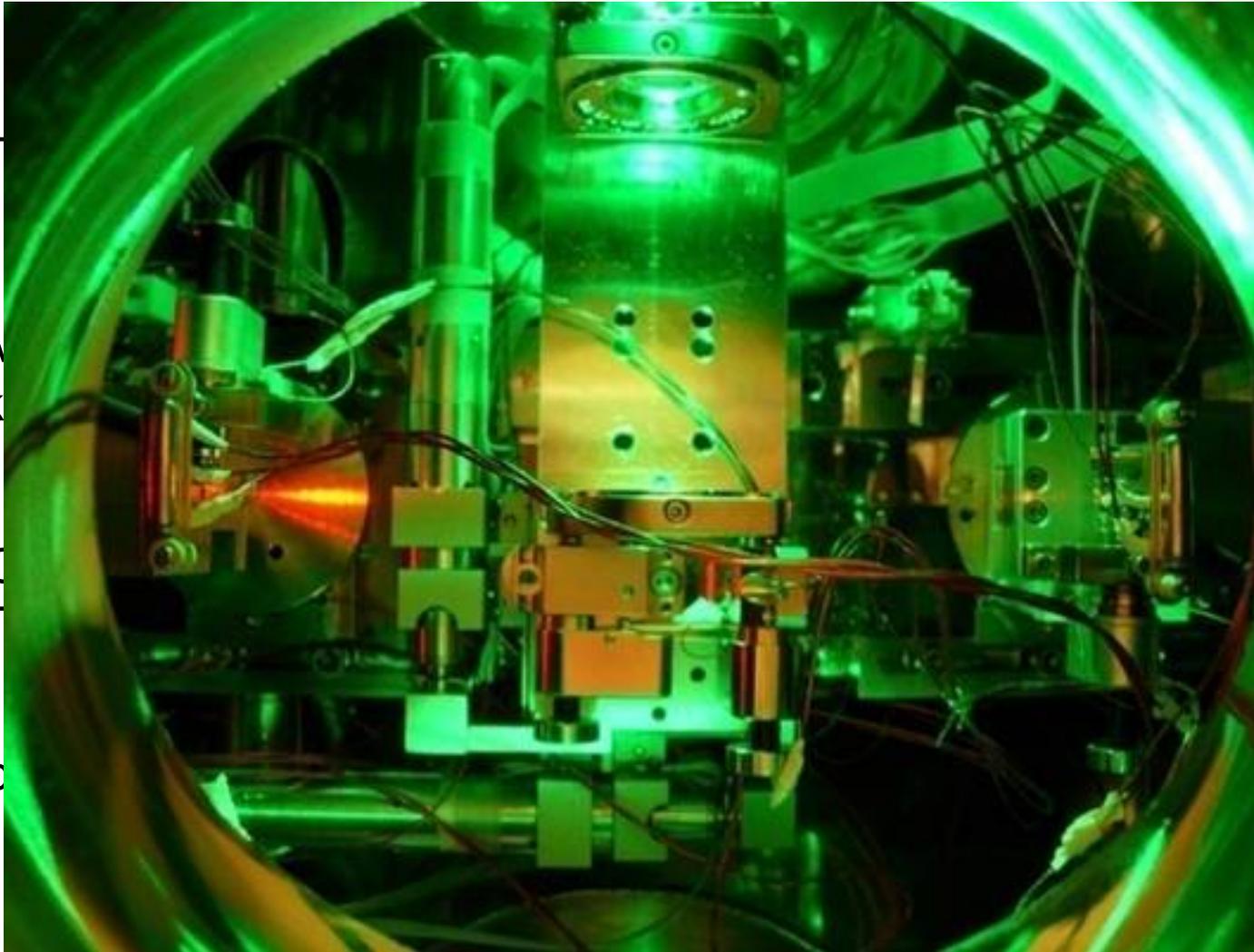
4.2. Experiment

Talbot-Lau-Interferometer

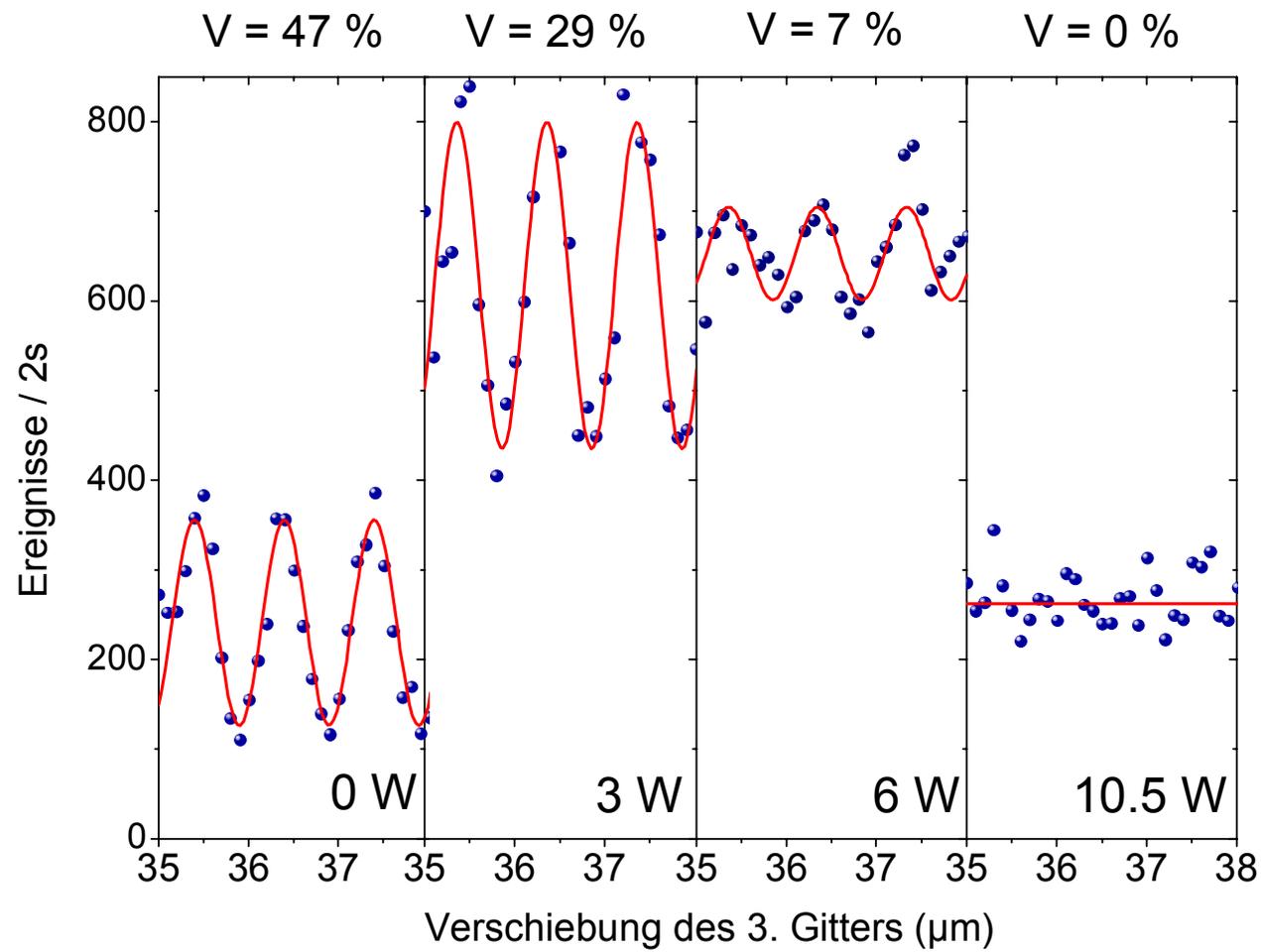


4.2. Experiment

- L
1
- M
k
- C
T
- b



4.3. Auswertung

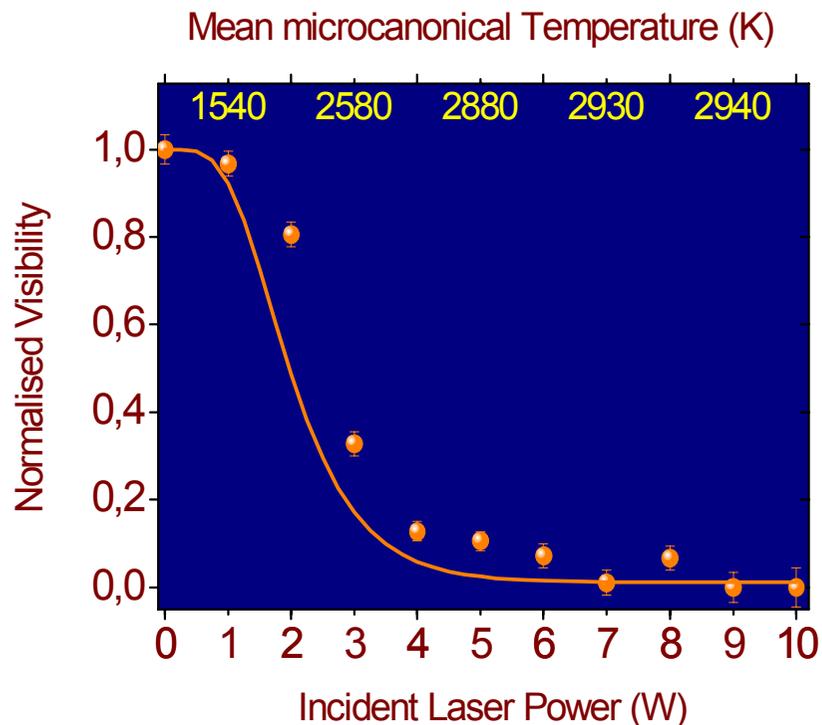


V - Visibility

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

4.3. Auswertung

- Interferenz sehr gut zu beobachten bei $T < 1000\text{K}$
- bei Laserleistung ab 6W ($\sim 3000\text{K}$) ist Übergang vom quantenmechanischen Interferenzmuster zur klassisch erwarteten Verteilung zu beobachten



Thermische Energie wird teilweise in Form von Photonen emittiert und verursacht Dekohärenz

→ Innere Energie wichtig für die Quanteneigenschaften

5. Zusammenfassung und Ausblick

- Quantentheorie kann im Experiment bestätigt werden
- Es wird angenommen, dass makroskopische Objekte zu viele Photonen abstrahlen um nach de Broglie zu interferieren
- Übergang von Quantenmechanik zur klassischen Physik hängt von den Freiheitsgraden des Objekts und dessen Energie ab

In der Zukunft sind weitere Experimente, mit noch höherer Präzision, an Molekülketten und Viren geplant. Ziel ist es dabei in den Bereich $\varnothing_{\text{Teilchen}} < \lambda_{\text{dB}}$ vorzudringen.

Quellen

Soweit nicht anders angegeben stammen sämtliche Bildmaterialien direkt von der Arbeitsgruppe um Dr. Markus Arndt

- letters of nature, 401, 680-682 (99)
- letters of nature, 427, 711-714 (04)