Studienseminar Koblenz

JOHANNES GUTENBERG UNIVERSITÄT MAINZ

Josef Leisen

Vom Lehren und Lernen der Quantenphysik in der Schule

Vortrag in Waldthausen am 9.7.2016

17.00 – 17.30 Uhr

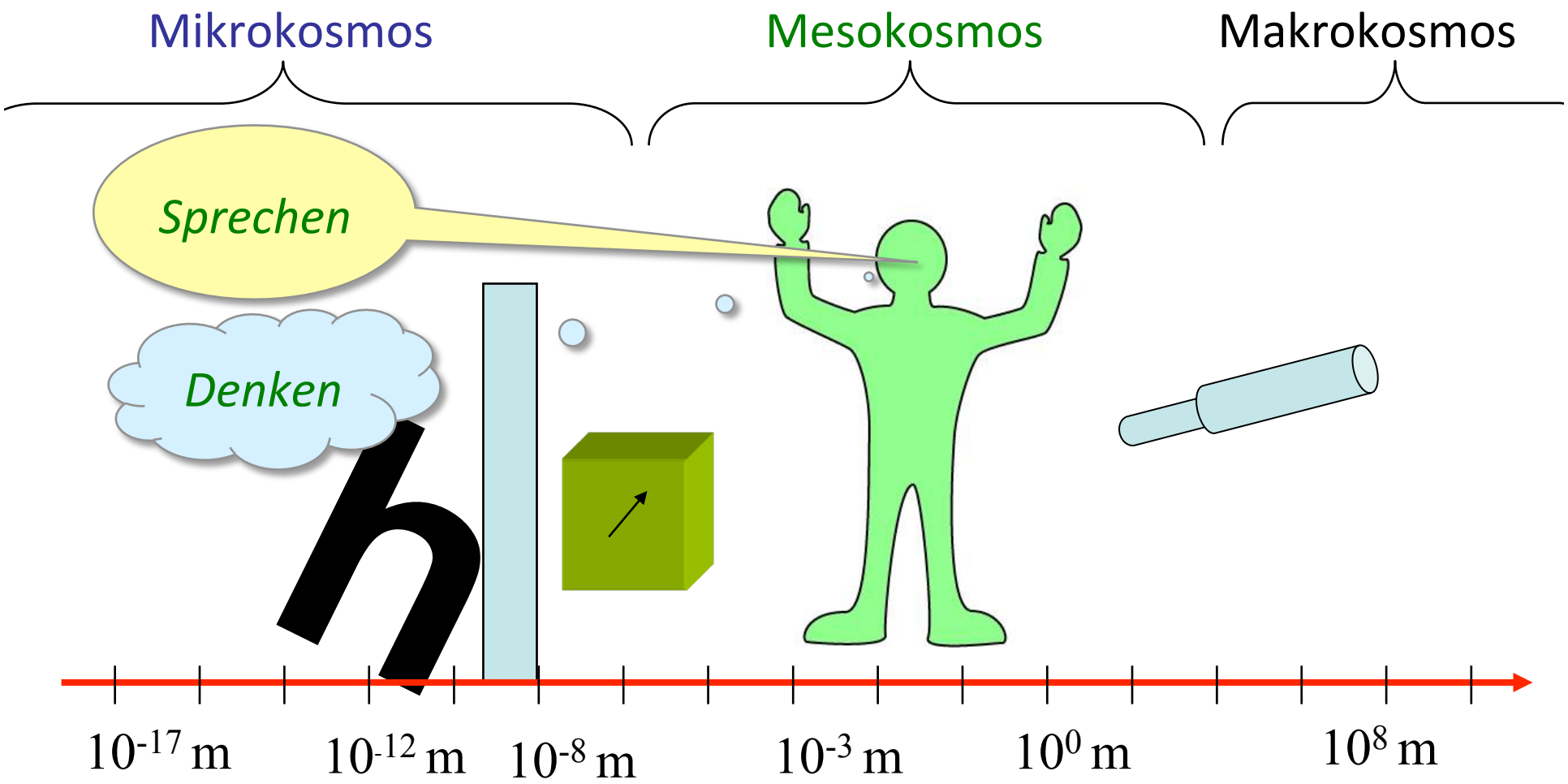
Vorbemerkungen

- Quantenphysik gehört in das physikalische Allgemeinwissen wie das Amen in die Kirche.
- Es ist eine Schande, wenn Schüler die Schule verlassen, ohne die Quantenphysik kennen gelernt zu haben.

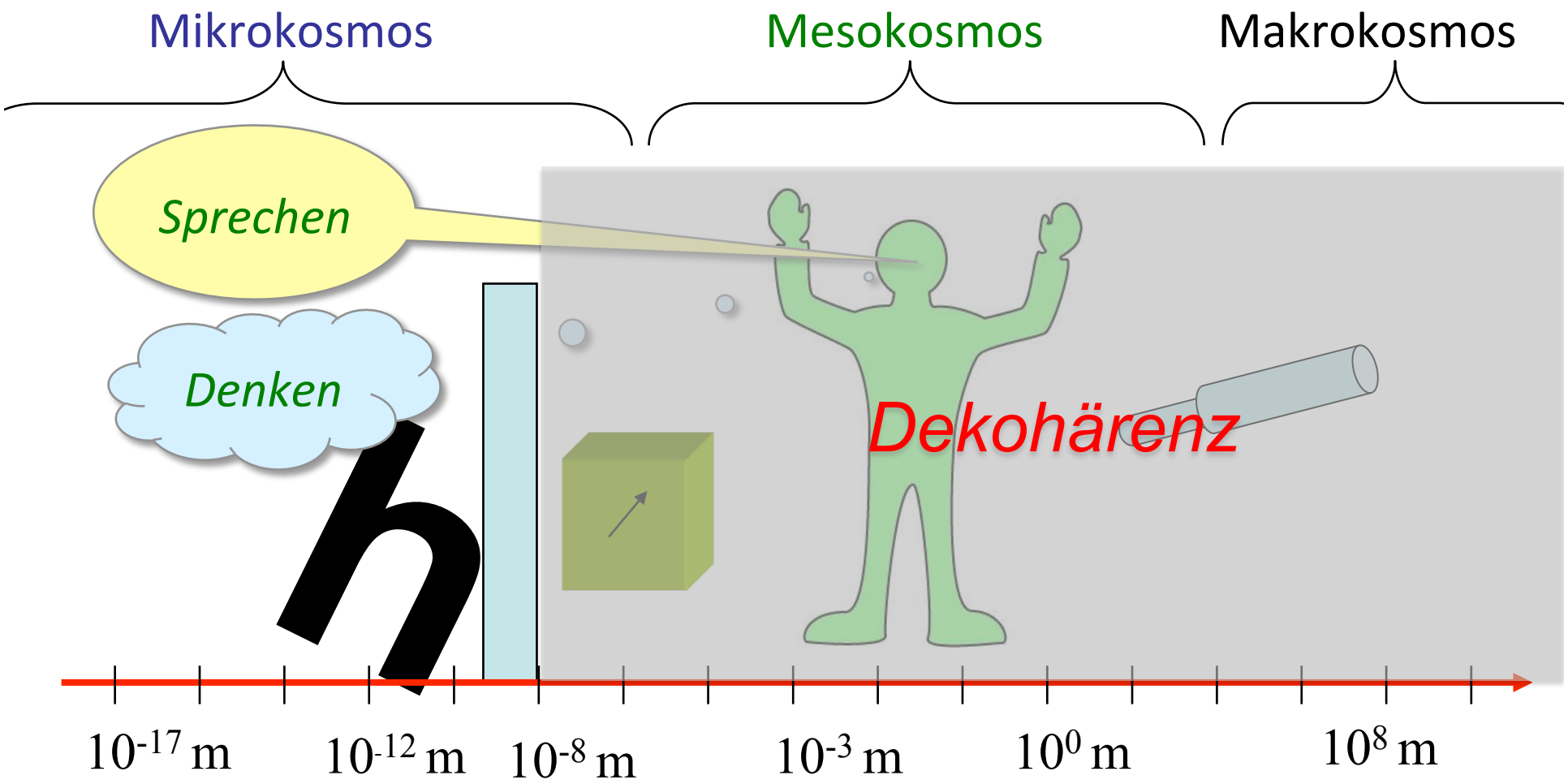
Stellen Sie sich vor ...

- ... Grippeviren würden Physik betreiben. Wie wäre deren physikalisches Standardwerk aufgebaut?
- ... Elektronen würden Physik betreiben. Was wären die elementarsten Inhalte?

Unser Problem mit dem Mikrokosmos



Unser Problem mit dem Mikrokosmos



Neues Verständnis in der Quantenphysik

- Die Quantenphysik „denkt“ anders.
- In der Quantenphysik muss man ***neu*** denken und ***neu*** sprechen, und dabei ***alte*** Begriffe verwenden und ***neue*** schaffen.
- Aus dem Mesokosmos heraus gedacht und gesprochen, erscheint uns die Welt des Mikrokosmos bisweilen absurd.

Was bringt die Quantenphysik aus Schülersicht?

Die 13 Schüler des Leistungskurses antworteten schriftlich auf den Impuls:

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

....

....

....

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

1

... *dass Physik viel fundamentaler ist, als ich sowieso annahm*

... *dass es sehr auf die 'Größe' und die 'Größenordnung' ankommt, mit und in der man experimentiert, denkt und philosophiert*

... *dass man bereit sein muss, alte Denkweisen komplett zu überdenken und auch mal 'komplett über den Haufen zu werfen'*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

2

... *dass die klassische Physik mit ihren Gesetzen und Formeln ein Grenzfall der Mikro (und Makro-) Physik ist*

... *dass Physik und Philosophie stark miteinander zusammenhängen*

... *dass nicht alle Phänomene mathematisch oder logisch fassbar und erklärbar sind, sondern teilweise einer interpretierenden Deutung bedürfen*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

3

... *dass die Philosophie eine wichtige Komponente der Physik ist*

... *dass unsere 'klassischen' Naturvorstellungen keinen universellen Stellenwert haben und man diese oft zugunsten des Fortschritts aufgeben muss*

... *dass Experimente eine wichtige Rolle in der Physik spielen*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

4

... *dass alle Dinge, die ich im Laufe meiner Schullaufbahn gelernt habe - klassische Physik - zum größten Teil in der Quantenphysik nicht mehr gültig sind*

... *dass alles Interferenz ist*

... *dass viele Dinge, die ich vorher angenommen habe, bzw. die ich mir vorgestellt habe, im Laufe des Unterrichts immer wieder geändert wurden*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

5

... *die Bedeutung der Philosophie im Physikunterricht*

... *die Bedeutung der Interferenz (Wichtigkeit der mechanistischen Sehweise nur aus Sicht des Menschen)*

... *verschiedene Standpunkte auch unter Fachwissenschaftlern*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

6

... *dass ich interferiere (Alles ist Interferenz)*

... *dass Physik das interessanteste Fach ist*

... *dass Philosophie nicht unbedingt nur schlecht und langweilig sein muss*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

7

... *dass Physik und Philosophie ineinander übergehen*

... *dass unsere 'mesokosmischen' Vorstellungen doch nicht so selbstverständlich sind*

... *dass Natur absurd ist*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

8

... *dass Mikroobjekte mit sich selbst interferieren können*

... *dass es Wahrscheinlichkeitswellen gibt, die die Bewegung der Elektronen wiedergeben*

... *dass ununterscheidbare Elektronen erst Interferenz zeigen*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

9

... *dass eine Nichtlokalität existiert*

... *dass es 'Wellen' (ohne Energietransport) gibt, die sich mit Überlichtgeschwindigkeit 'bewegen'*

... *dass sich die gesamte klassische Physik auf die Quantenphysik gründen lässt*

... *die philosophischen Auswirkungen*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

10

... *dass nicht alle Phänomene (Ergebnisse und Experimente) mit 'Tatsachen' zu beschreiben sind (klassische Erklärungen)*

... *dass alles (auch ich) interferiere*

... *dass Physik interessant ist*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

11

... alles ist Interferenz

... die Welt ist ganz anders, als ich immer dachte

... alles, was ich bisher gelernt habe, waren nur Sonderfälle der Quantenphysik

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

12

... *dass man die Welt nicht so erklären kann, wie ich es annahm*

... *dass alles Interferenz ist,*

... *dass ich offener zu neuen Theorien bin*

"Das Besondere, das ich in der Quantenphysik gelernt habe ist ... "

13

... *dass nach der HU die Elektronen nicht so zu präparieren sind, dass Orts- und Impulsunschärfe gleichzeitig klein sind*

... *dass es gegensätzliche Aussagen von verschiedenen Physikern gibt (Kopenhagener versus Realisten)*

... *dass Physik und Philosophie eng zusammenhängen*

Was bringt die Quantenphysik aus Schülersicht?

- Neue Sicht auf die Natur und die Physik
- Neue Einsicht, dass alles interferiert
- Neues Denken und neues Weltbild
- Physik ist Philosophie (Erkenntnistheorie)
- Physik ist interessant

Gretchenfragen der Didaktik der Quantenphysik

Wie halten Sie es mit …

- dem Einstieg: *Fotoeffekt oder Doppelspalt?*
- dem bohrschen Modell: *ja oder nein?*
- der Unbestimmtheitsrelation: *so oder so oder so?*
- der Schrödinger-Gleichung: *ja oder nein?*
- den Interpretationen: *überhaupt, wie und wann?*
- der historischen Entwicklung: *ja oder nein?*
- dem Foto- und Comptoneffekt: *wo und wie?*

Untersuchungsergebnisse

Burkard/Schecker in MNU 5(2004), 279 ff:

- Einstieg: *58% Fotoeffekt, 15% Doppelspalt*
- bohrsches Modell: *48% im GK und LK*
- Unbestimmtheitsrelation: *41% im GK, 55% im LK*
- Schrödinger-Gleichung: *5% im GK, 18% im LK*
- Interpretationen: *16% im GK, 37% LK*

Gretchenfragen der Didaktik der Quantenphysik

Ich persönlich halte es mit …

- dem Einstieg: *Doppelspalt*
- dem bohrschen Modell: *nein*
- der Unbestimmtheitsrelation: *Unmöglichkeits-formulierung*
- der Schrödinger-Gleichung: *nein*
- den Interpretationen: *unbedingt*
- der historischen Entwicklung: *nein*
- dem Foto- und Comptoneffekt: *in der Mitte als Photon-Elektron-Wechselwirkung*

Didaktische Grundprobleme der Quantenphysik in der Schule

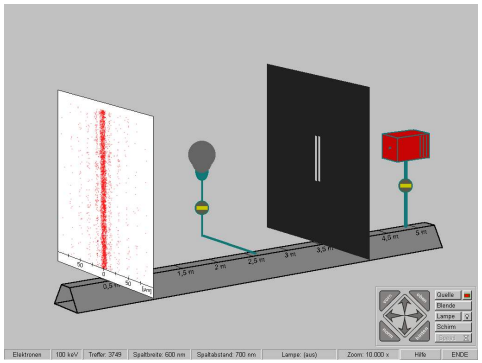
- Wie elementarisieren wir eine abstrakte mathematische Theorie?
- Wie behandeln wir die neuen Denkweisen und Begrifflichkeiten?
- An welchen Inhalten und Experimenten machen wir die Quantenphysik fest?
- Wie gehen wir mit den „didaktischen Altlasten“ (z.B. Dualismus) um?
- Wie gehen wir mit den interessanten, aber schwierigen Interpretationsfragen (Quantenphilosophie) um?
- Wie gehen wir mit spannenden Themen (Teleportation, Quantencomputer, Verschlüsselung, …) um?

Meine grundsätzlichen didaktischen Überlegungen

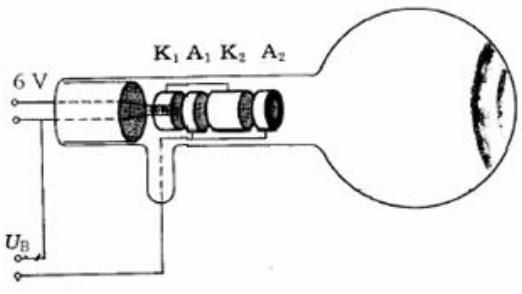
- Keine Orientierung an der historischen Entwicklung
- Die „Wesen“ der Quantenphysik in das Zentrum setzen
- Verzicht auf einen formalisierten Zugang zur Quantenphysik
- Den Unterricht durch Real- und Simulations-experimente anreichern
- Analogien, Materialien, Bilder, Apps, Videos und Originalarbeiten als Unterrichtsbausteine einbauen

Unterrichtsbausteine

Simulationen

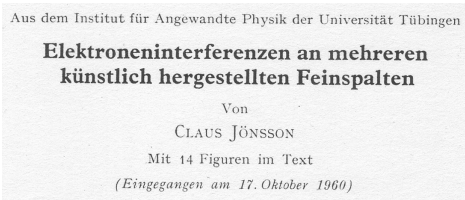


Realexperimente



Quantenspiele

Originalarbeiten



Aus dem Institut für Angewandte Physik der Universität Tübingen

Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten

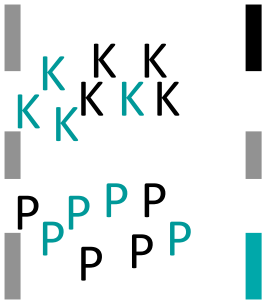
Von

Claus Jönsson

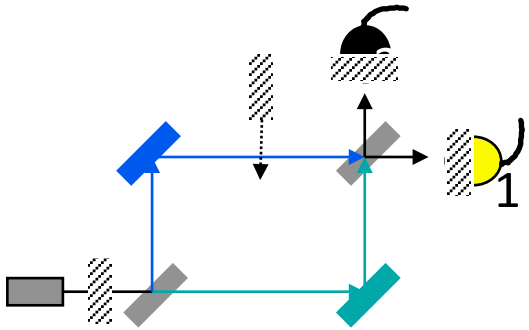
Mit 14 Figuren im Text

(Eingegangen am 17. Oktober 1960)

Analogien



Materialien



Was ist das „Wesen“ der Quantenphysik?

- Eine erkenntnistheoretisch schwierige Frage.
- Am besten lässt man die Finger von den „Wesensfragen“.
- Reden wir nicht über das „Wesen der Quanten“, sondern über **uns**, nämlich wie **wir** darüber quantenphysikalisch denken und sprechen.
- Die quantenphysikalische Denkweise drückt sich in den Wesensmerkmalen des Verhaltens von Quantenobjekten aus.

Das Verhalten von Quantenobjekten ist durch 6 Wesenszüge gekennzeichnet

1. Quantelung (Körniges)
2. Stochastisches Verhalten (Stochastisches)
3. Fähigkeit zur Interferenz (Welliges)
4. Komplementarität
5. Unbestimmtheit
6. Nichtlokalität

Im Doppelspaltexperiment steckt

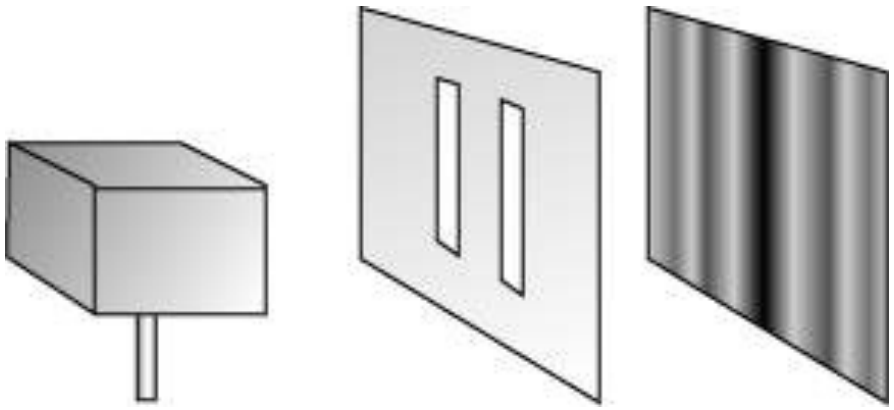
- das "Wellige", das "Körnige" und das "Stochastische" der Quantenphysik
- die Heisenberg'sche Unschärferelation
- die Frage des Messprozesses
- die Frage der Nichtlokalität
- die ganze Palette der Interpretationen
- stecken viele andere wichtige Experimente

Das Doppelspaltexperiment als didaktischer Alleskönner

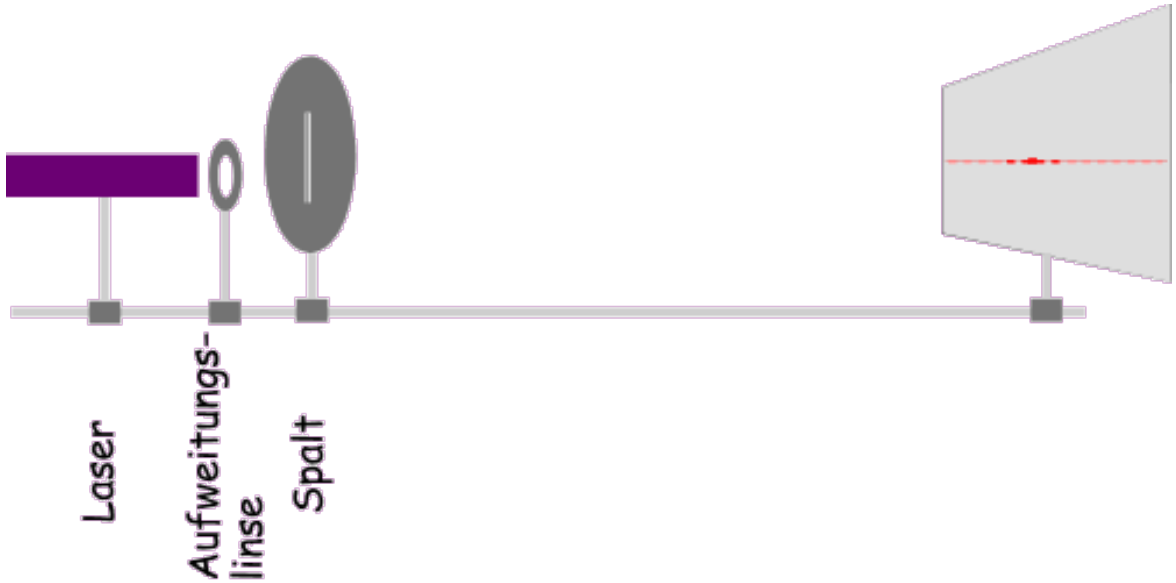
- Im Doppelspaltexperiment stecken die zentralen Ideen der Quantenphysik.
- *"Das zentrale Geheimnis der Quantentheorie steckt im Doppelspaltexperiment.“* (Richard Feynman)

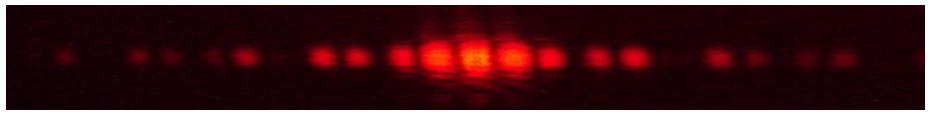
Varianten des Doppelspaltexperiments

- Das Young-Experiment (1800): Licht (Laserlicht) hoher Intensität
- Das Taylor-Experiment (1909): Licht sehr geringer Intensität
- Das Jönsson-Experiment (1960): Elektronen als Quelle



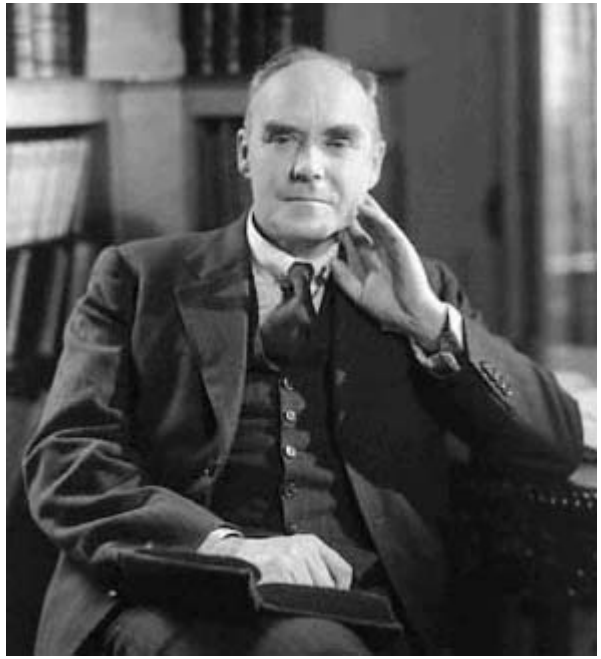
Das Young-Experiment:
Laserlicht hoher Intensität (1800)





Das Taylor-Experiment: Licht sehr geringer Intensität (1909)

- Ursprünglich: Beugung an Nadelspitze
- Anschaulich nur ein Photon zwischen Nadelspitze und Schirm
- Kann aber auch am Doppelspalt durchgeführt werden



Geoffrey Ingram Taylor

Interference fringes with feeble light. By G. I. TAYLOR, B.A., Trinity College. (Communicated by Professor Sir J. J. Thomson, F.R.S.)

[*Read* 25 January 1909.]

The phenomena of ionisation by light and by Röntgen rays have led to a theory according to which energy is distributed unevenly over the wave-front (J. J. Thomson, *Proc. Camb. Phil. Soc.* XIV. p. 417, 1907). There are regions of maximum energy widely separated by large undisturbed areas. When the intensity of light is reduced these regions become more widely separated, but the amount of energy in any one of them does not change; that is, they are indivisible units.

So far all the evidence brought forward in support of the theory has been of an indirect nature; for all ordinary optical phenomena are average effects, and are therefore incapable of differentiating between the usual electromagnetic theory and the modification of it that we are considering. Sir J. J. Thomson however suggested that if the intensity of light in a diffraction pattern were so greatly reduced that only a few of these indivisible units of energy should occur on a Huygens zone at once the ordinary phenomena of diffraction would be modified. Photographs were taken of the shadow of a needle, the source of light being a narrow slit placed in front of a gas flame. The intensity of the light was reduced by means of smoked glass screens.

Before making any exposures it was necessary to find out what proportion of the light was cut off by these screens. A plate was exposed to direct gas light for a certain time. The gas flame was then shaded by the various screens that were to be used, and other plates of the same kind were exposed till they came out as black as the first plate on being completely developed. The times of exposure necessary to produce this result were taken as inversely proportional to the intensities. Experiments made to test the truth of this assumption shewed it to be true if the light was not very feeble.

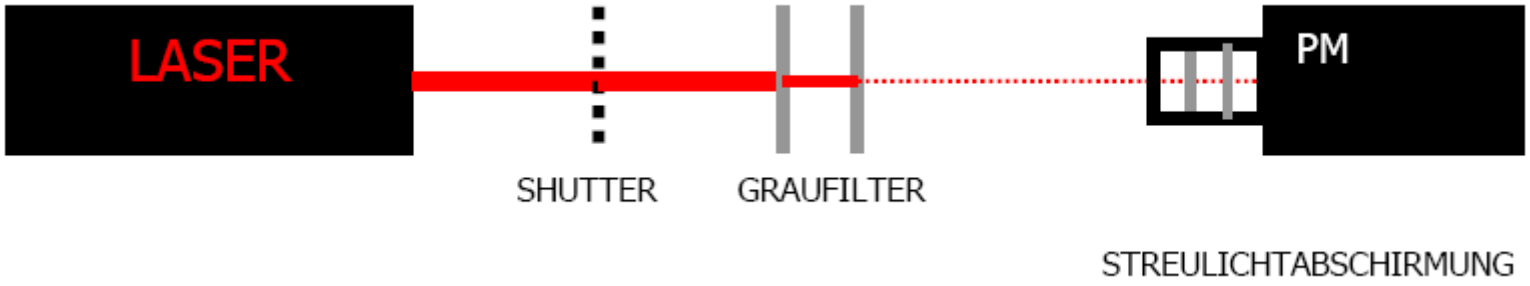
Five diffraction photographs were then taken, the first with direct light and the others with the various screens inserted between the gas flame and the slit. The time of exposure for the first photograph was obtained by trial, a certain standard of blackness being attained by the plate when fully developed. The

remaining times of exposure were taken from the first in the inverse ratio of the corresponding intensities. The longest time was 2000 hours or about 3 months. In no case was there any diminution in the sharpness of the pattern although the plates did not all reach the standard blackness of the first photograph.

In order to get some idea of the energy of the light falling on the plates in these experiments a plate of the same kind was exposed at a distance of two metres from a standard candle till complete development brought it up to the standard of blackness. Ten seconds sufficed for this. A simple calculation will shew that the amount of energy falling on the plate during the longest exposure was the same as that due to a standard candle burning at a distance slightly exceeding a mile. Taking the value given by Drude for the energy in the visible part of the spectrum of a standard candle, the amount of energy falling on 1 square centimetre of the plate is 5×10^{-4} ergs per sec. and the amount of energy per cubic centimetre of this radiation is $1{\cdot}6 \times 10^{-16}$ ergs.

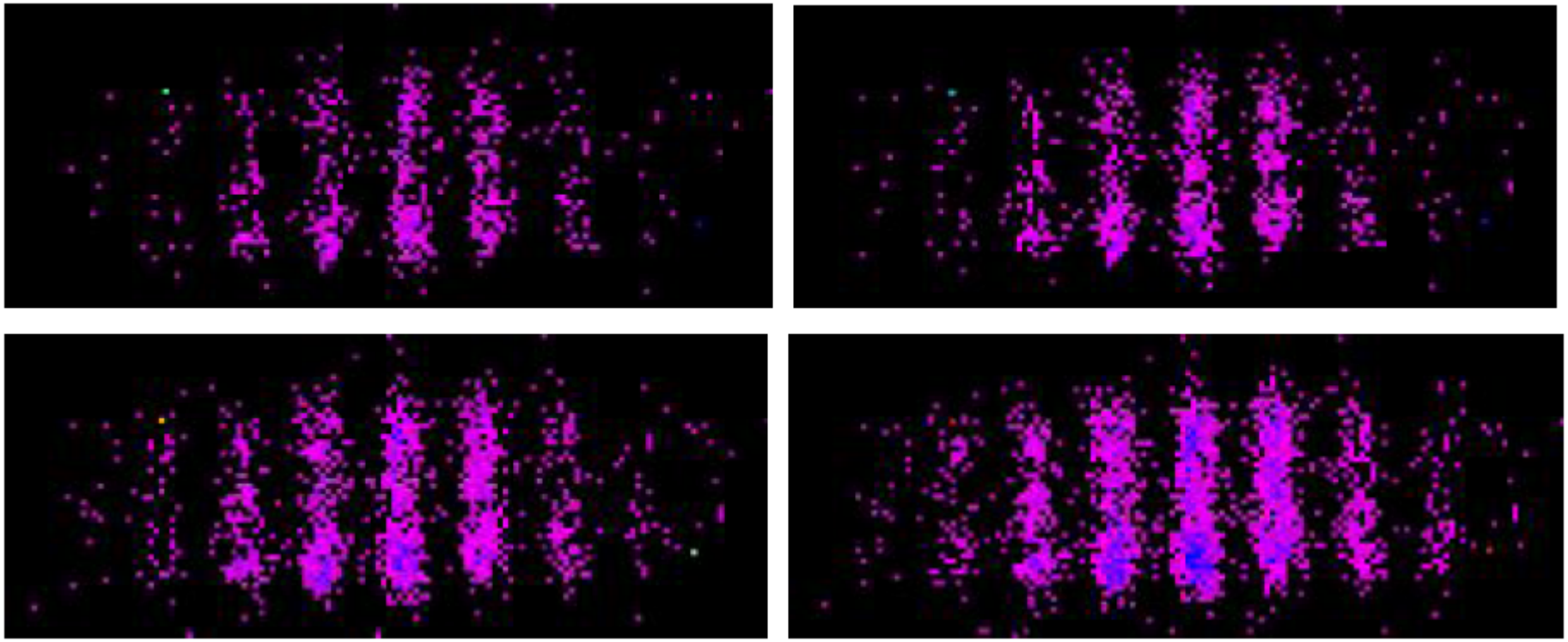
According to Sir J. J. Thomson this value sets an upper limit to the amount of energy contained in one of the indivisible units mentioned above.

Doppelspaltexperiment mit geringer Lichtintensität („verdünntes Licht“)

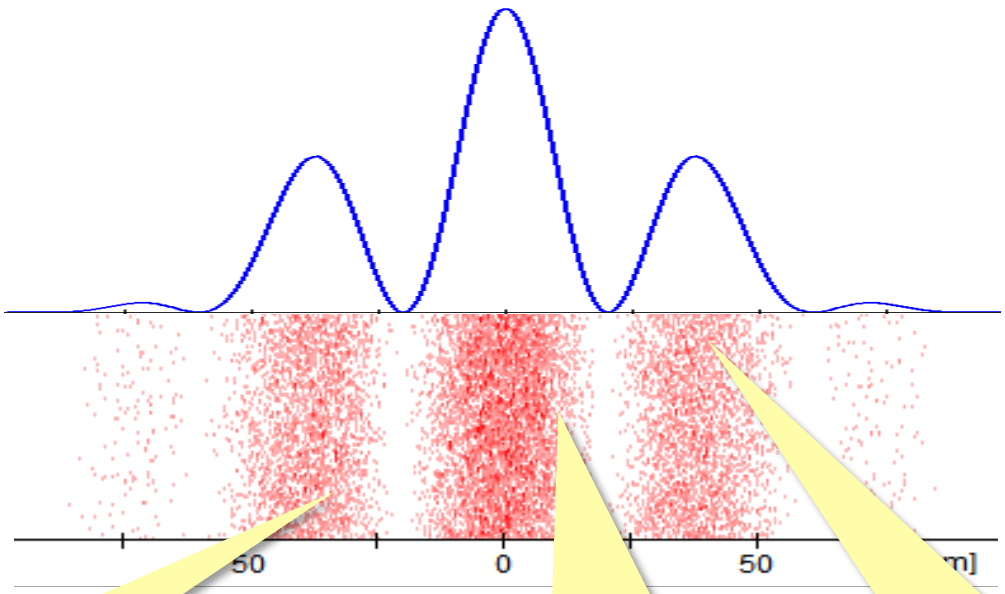


Versuchsaufbau von Christian Vogel (Staatsexamensarbeit „Schulexperimente zum Dualismus des Lichts“ an der Uni Mainz, 2004)

Beobachtung im Zeitraffer



Welliges, Körniges, Stochastisches



In den Interferenzstreifen erkennen wir das „Wellige“

In dem Aufleuchten lokalisierbarer Schirmstellen erkennen wir das „Körnige/Quantige“

In dem Zufallscharakter des Aufleuchtens erkennen wir das „Stochastische“

Das Jönsson-Experiment: Elektronen am Doppelspalt (1960)

2. Herstellung der freitragenden Feinspalte

Nach einigen Vorversuchen hat sich schließlich ein Verfahren ergeben, das die Herstellung der gewünschten Spalte ermöglichte. Es beruht darauf, daß an der Auftreffstelle eines Elektronenstrahls infolge der Anwesenheit von Fettdämpfen eine Kohlenwasserstoff-Polymerisatschicht entsteht, die sich unter anderem durch eine weitgehende chemische Unangreifbarkeit und eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit auszeichnet. Diese Eigenschaften werden hier in folgender Weise ausgenutzt (Fig. 1):

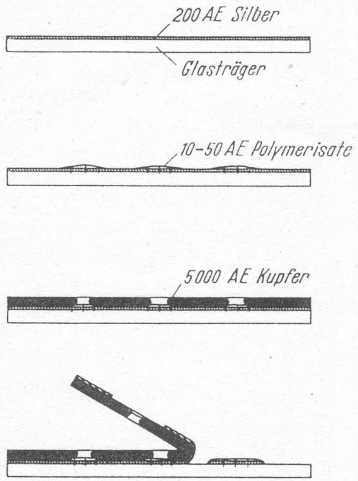


Fig. 1. Herstellung von Feinspalten

Eine Glasplatte, die als vorläufiger Träger dient, wird im Hochvakuum mit einer dünnen Silberschicht bedampft, um sie elektrisch leitend zu machen. Auf die Silberschicht werden mit einem darauf eingerichteten Elektronenstrahlgerät Kohlenwasserstoff-Polymerisatstreifen gedruckt, deren Zahl, Breite, Länge und Abstand sich nach der gewünschten Zahl, Breite, Länge und Abstand der Spalte richten, wobei jedoch einige Grenzwerte nicht zu überschreiten sind. Die so präparierte Glasplatte wird anschließend in einem elektrolytischen Bad mit einer Kupferschicht versehen, wobei die durch die Polymerisatschicht abgedeckten Stellen der Silberschicht von Kupfer frei bleiben und damit in der aufwachsenden Kupferschicht Spalte entstehen. Beim mechanischen Abheben der Kupferfolie von der Glasunterlage bleiben an den Stellen der Spalte unter gewissen Bedingungen sowohl die Silberschicht als auch die Polymerisatschicht auf der Glasunterlage zurück, so daß man auf diese

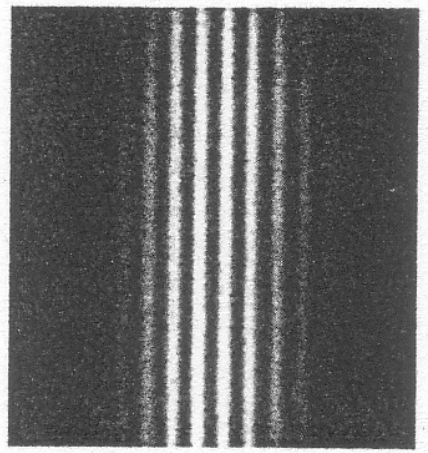


Fig. 8. Elektronenbeugungsaufnahme an zwei Spalten (Fraunhofer-Ebene)

h-Berechnung mit den Daten aus dem Originalexperiment

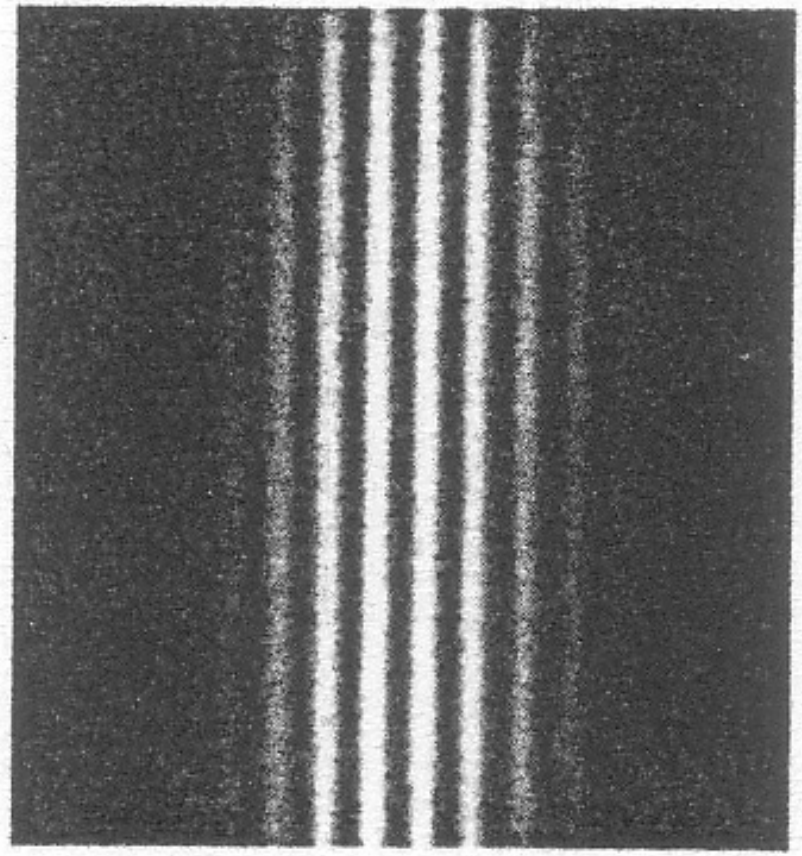
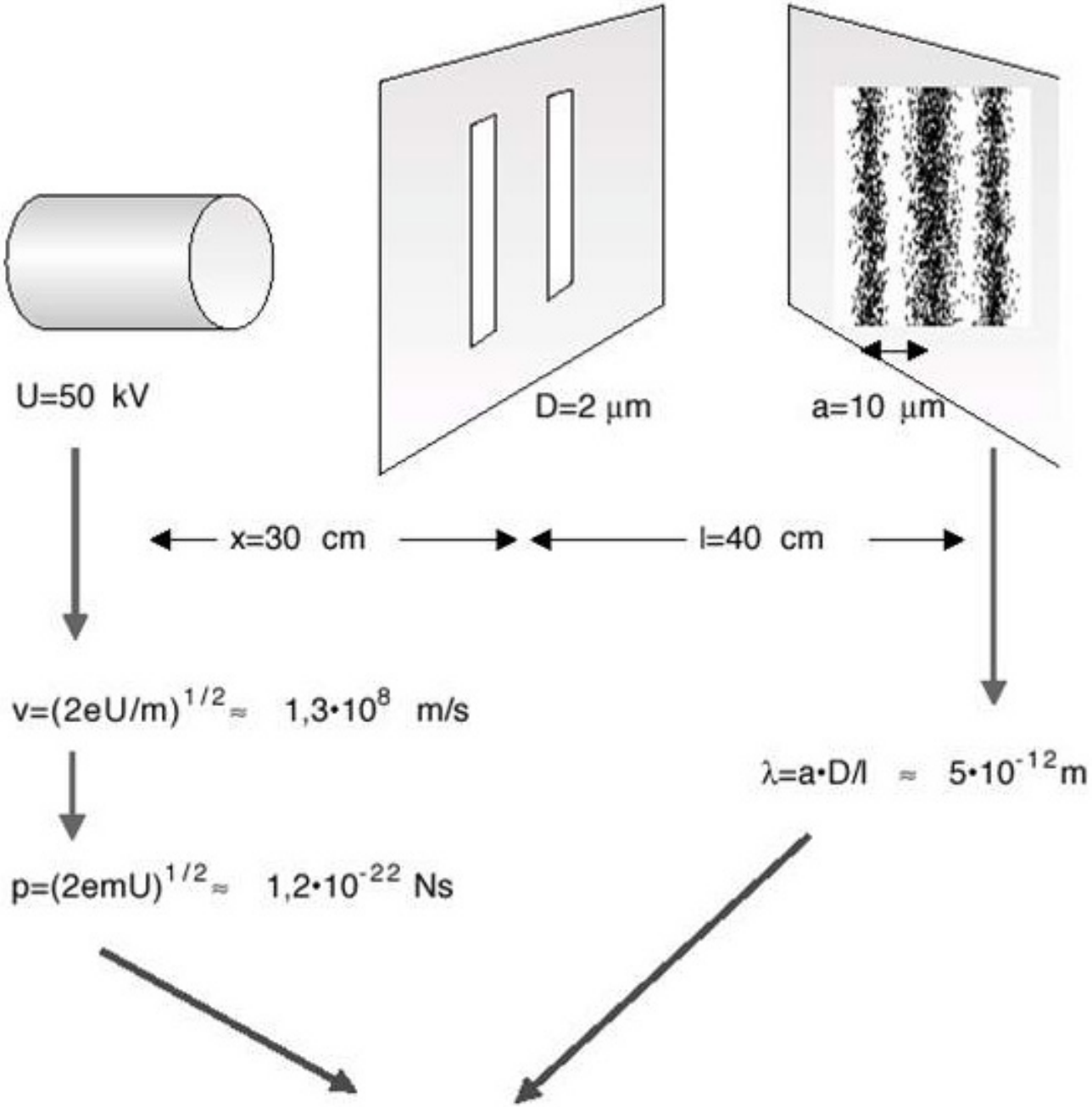
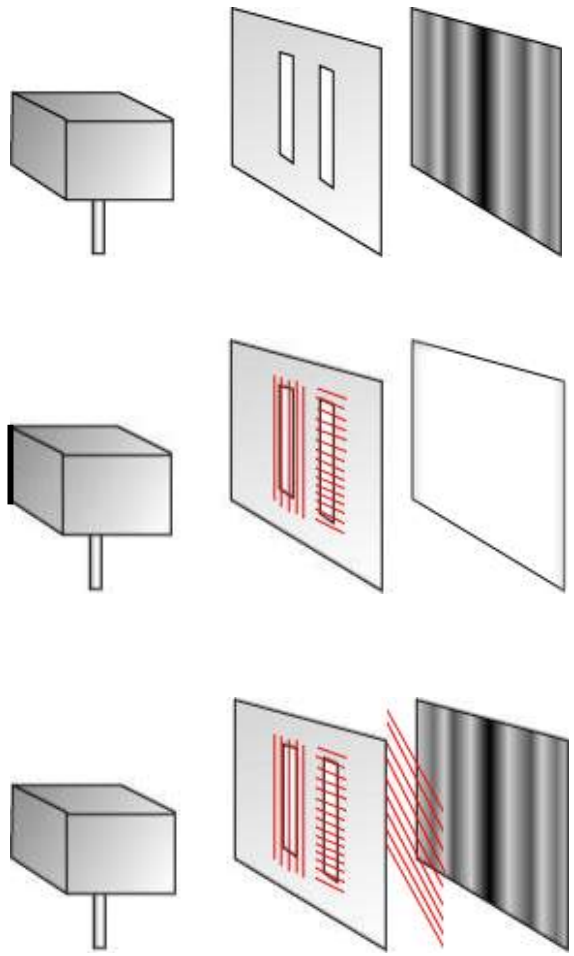


Fig. 8. Elektronenbeugungsaufnahme an zwei Spalten (Fraunhofer-Ebene)



$$p \cdot \lambda \approx 6 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{Js} \approx h$$

Doppelspalt mit Polfilter als „Quantenradierer“



Im Doppelspaltexperiment steckt Unbestimmtheit, Komplementarität

- Quantenobjekte sind vor der Messung in einem unbestimmten Zustand
- "Welcher-Weg-Information" und Interferenzmuster schließen sich gegenseitig aus (*Komplementarität)*
- Unterscheidbare Mikroobjekte interferieren nicht
- Nur ununterscheidbare Mikroobjekte interferieren

Der große Unterschied

- In der Quantenphysik besteht ein Unterschied zwischen „eine Eigenschaft haben“ und „eine Eigenschaft messen“
- Zum Beispiel sind die beiden folgenden Aussagen *nicht* gleichbedeutend:
  - Bei einer Messung findet man das Elektron am Ort
  - Ein Elektron besitzt die Eigenschaft „Ort“

Bei allem didaktischen Optimismus ist zu bedenken ...

- Es gibt kein direkt vermittelter Weg vom Quantenphänomen zur Theorie
- Es gibt kein Experiment, aus dem die Theorie heraustropft, wenn es nur lange genug „induktiv ausquetscht“
- denn Physik ist eine theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft
- *„Die Theorie bestimmt, was wir beobachten.“* (Einstein)

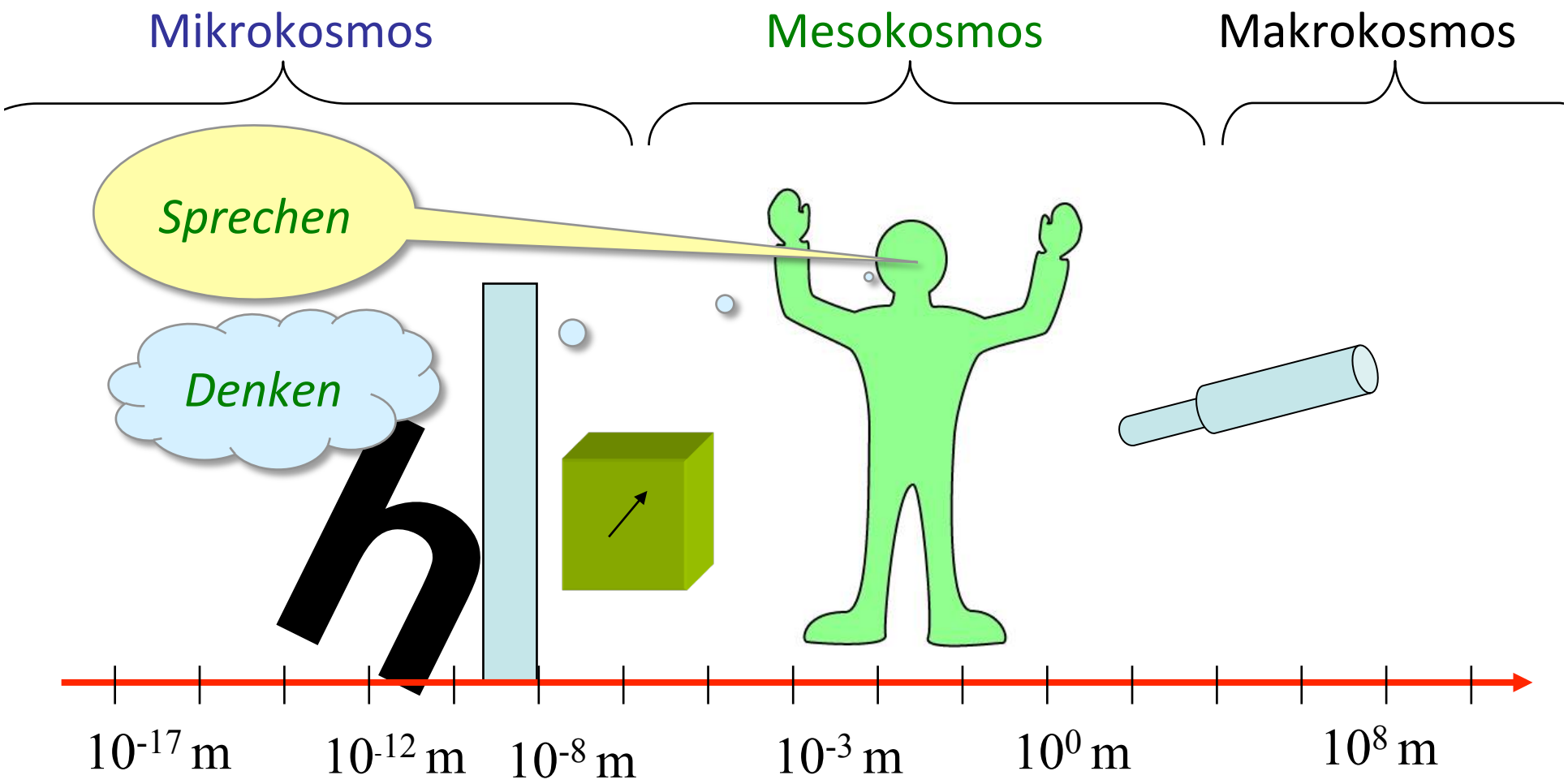
Neues Verständnis in der Quantenphysik

- In der Quantenphysik muss man ***neu*** denken und ***neu*** sprechen, und dabei ***alte*** Begriffe verwenden und ***neue*** schaffen
- In der Quantenphysik muss man ***neue*** Experimente und Ergebnisse *(z.B. Körniges in Interferenzstreifen)* mit ***neuen*** Grundideen *(z.B. Quantisierung)* in eine ***neue*** Sprache *(z.B. Wahrscheinlichkeitswelle)* bringen

Didaktische Empfehlungen zum Verständnis der Quantenphysik

- Auf ontologische Aussagen verzichten
- Den Dualismus vermeiden
- Das klassische Wellen- und Teilchenkonzept neu denken
- Mathematische Wahrscheinlichkeitswellen zuordnen
- Akzeptieren, dass uns der Mikrokosmos absurd erscheint

Unser Problem mit dem Mikrokosmos



Fragen des Praktikers an den Didaktiker

- Wo ist der Dualismus?

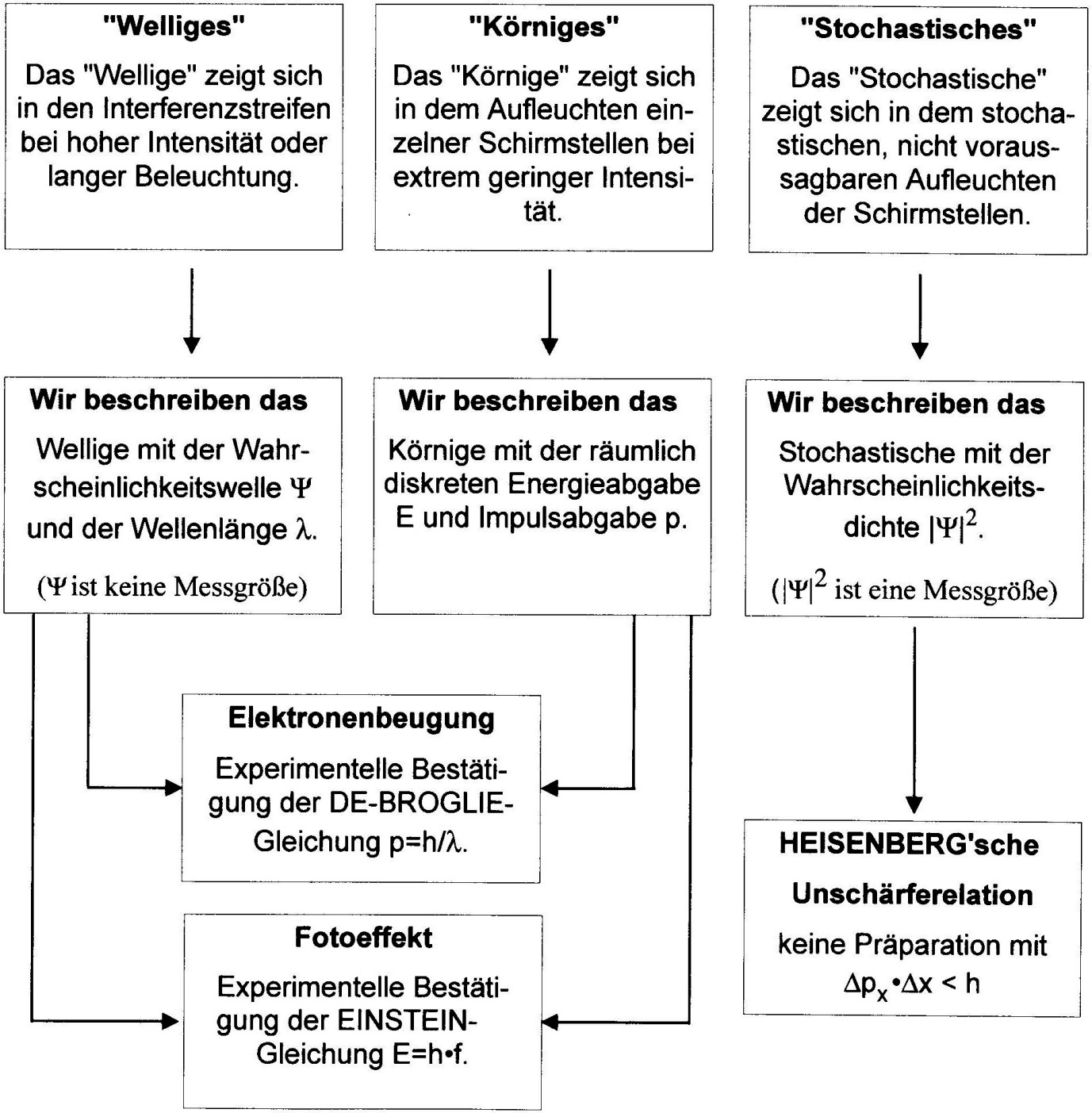
  Der Dualismus ist eine überflüssige Altlast.

- Wie ist das mit der historischen Entwicklung?

  Sie ist keine gute Grundlage für einen didaktischen Weg.

- Wo bleiben die guten alten Experimente (Foto-effekt, Compton-Effekt, Elektronenbeugung)?

  Sie unverändert wichtig und haben einen andern didaktischen Ort und Stellenwert.


"Welliges"
Das "Wellige" zeigt sich in den Interferenzstreifen bei hoher Intensität oder langer Beleuchtung.
"Körniges"
Das "Körnige" zeigt sich in dem Aufleuchten einzelner Schirmstellen bei extrem geringer Intensität.
"Stochastisches"
Das "Stochastische" zeigt sich in dem stochastischen, nicht voraussagbaren Aufleuchten der Schirmstellen.
Wir beschreiben das
Wellige mit der Wahrscheinlichkeitswelle Ψ und der Wellenlänge λ.
(Ψ ist keine Messgröße)
Wir beschreiben das
Körnige mit der räumlich diskreten Energieabgabe E und Impulsabgabe p.
Wir beschreiben das
Stochastische mit der Wahrscheinlichkeitsdichte $|\Psi|^2$.
($|\Psi|^2$ ist eine Messgröße)
Elektronenbeugung
Experimentelle Bestätigung der DE-BROGLIE-Gleichung p=h/λ.
Fotoeffekt
Experimentelle Bestätigung der EINSTEIN-Gleichung E=h•f.
HEISENBERG'sche Unschärferelation
keine Präparation mit $\Delta p_x \cdot \Delta x < h$

Fragen des Praktikers an den Didaktiker

- Welche Rolle haben Simulationsexperimente?

  Sie spielen eine wichtige Rolle.

- Gibt es neue unglaubliche Realexperimente für die Schule, z.B. zur Verschränkung?

  Ja, es gibt sie! (z.B. Erlanger Schülerlabor)

- Was fordern die Lehrpläne?

  Lehrkräfte müssen im neuen Sinn unterrichten.

- Gibt es Handreichungen und Fortbildungen?

  Ja es gibt sie inzwischen reichlich.

Pflichtbausteine LK (RLP)

Mikroobjekte I	**10**
- quantenmechanisches Verhalten von freien Elektronen und Photonen am Doppelspalt (experimentelle Befunde) - Wahrscheinlichkeitswelle - Heisenberg'sche Unschärferelation	• In die quantenphysikalische Denkweise als Fundament naturwissenschaftlicher Bildung einführen. • Die Problematik der Begriffsbildung auf der Basis der experimentellen Befunde am Doppelspaltexperiment thematisieren.

Mikroobjekte III	**10**
- Fotoeffekt - Comptoneffekt	• Solide Kenntnisse über experimentelle Befunde bereitstellen und Fertigkeiten im fomalen Umgang fördern. • Die Effekte als die Formen der Photon-Elektron-Wechselwirkung verdeutlichen. Beim traditionellen Einstieg in die Quantenphysik über den Fotoeffekt müsste dieser vorgezogen werden.

Wahlbausteine LK (RLP)

Mikroobjekte II	**10**
- Braggreflexion; Elektronenbeugung - Röntgenstrahlung; Grenzwellenlänge	• Durch experimentelles Arbeiten den Beschäftigungsgrad erhöhen. • Dieser Baustein ist eine experimentelle Vertiefungsinsel zu den Bausteinen **Mikroobjekte I** und **Mikroobjekte III**.

Interpretationen der Quantenphysik	**10**
- Naturphilosophische Probleme (Realität, Indeterminismus, Messprozess, ...) - Interpretationen der Quantenphysik und erkenntnistheoretische Fragestellungen - experimentelle Befunde	• Naturphilosophische Grundfragen bewusst machen und naturwissenschaftliche Antworten anbieten. • Die Problematik der Interpretationen auf der Basis der experimentellen Befunde am Doppelspaltexperiment thematisieren.

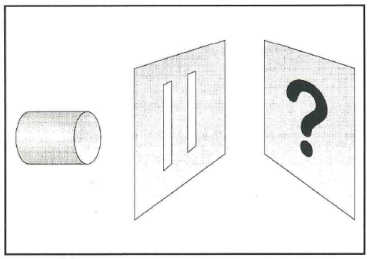
Grundlegende fachliche Inhalte in den EPA (Abiturprüfungsordnung)

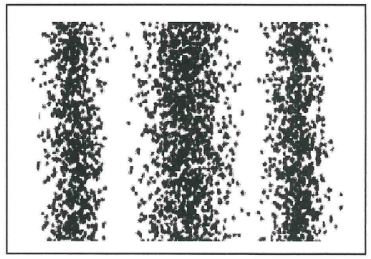
- Grundlegende Eigenschaften und Anwendungen von **elektrischen Feldern, magnetischen Feldern und Gravitationsfeldern** in einfachen Situationen
  Beschreibungen von Feldern, Darstellungsformen, Größen, Naturkonstanten, Energiebetrachtungen, Kräfte, Wechselwirkung mit Materie, einfache Anwendungen
- Grundlegende Phänomene und Eigenschaften von **mechanischen und elektromagnetischen Wellen** unter Einbezug von **Licht**
  Entstehung von Wellen, harmonische Welle, Größen, einfache mathematische Beschreibungen, Interferenz, Beugung, Polarisation, Überlagerung von Wellen
- Grundlegende Merkmale von **Quantenobjekten** unter Einbezug erkenntnistheoretischer Aspekte
  Wellenmerkmal, Quantenmerkmal, stochastisches Verhalten, Komplementarität, Nichtlokalität, Verhalten beim Messprozess
- Grundlegende Merkmale der **Struktur der Materie** und beispielhafte Untersuchungsmethoden
  Atome, Kerne, Quarks, ausgewählte Elementarteilchen, Untersuchungs-methoden (Spektren, hochenergetische Strahlung, Detektoren)

RheinlandPfalz

PZ-Information 2/2000 Physik

Quantenphysik / Mikroobjekte

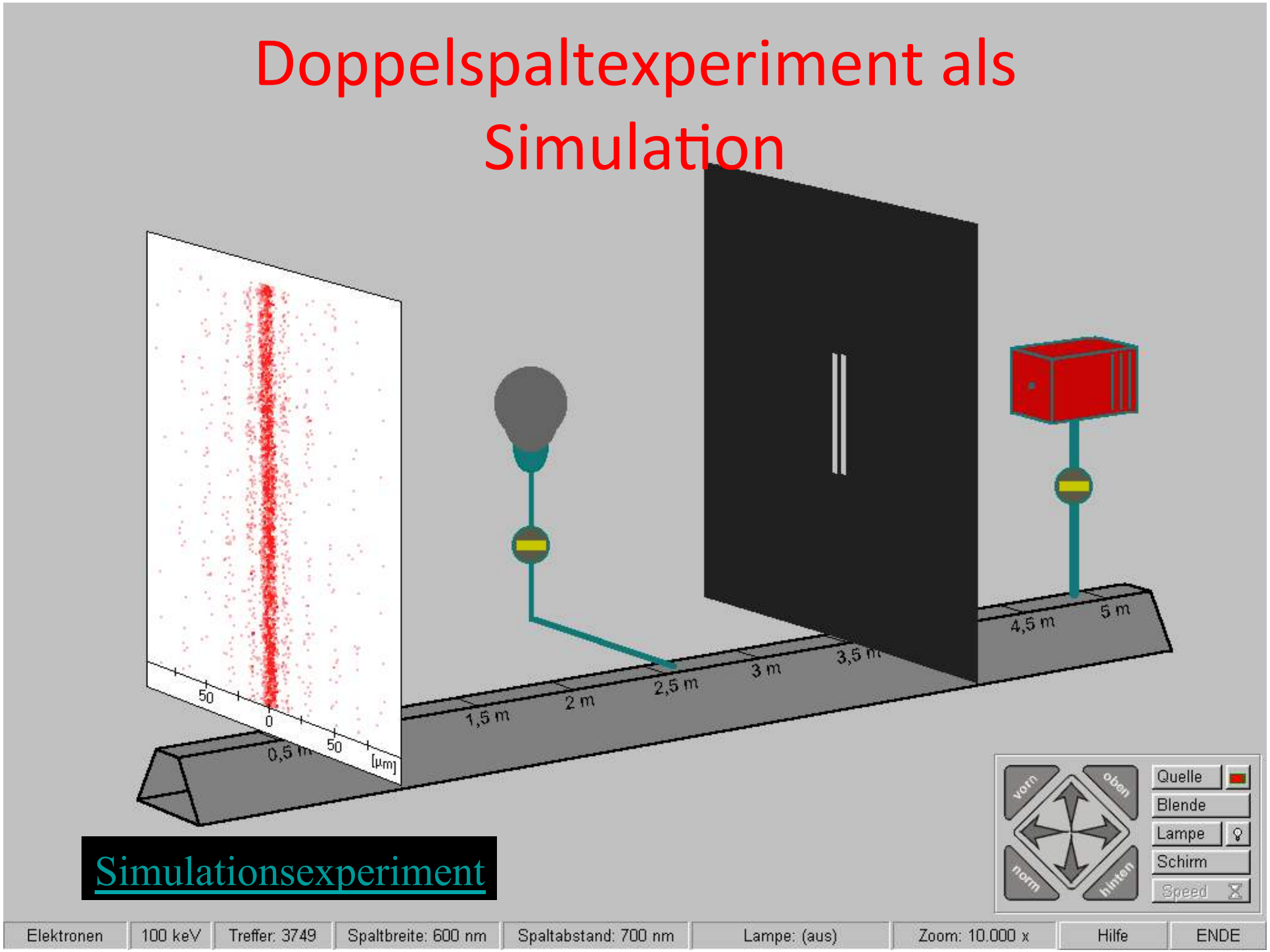




Handreichung zum neuen Lehrplan Physik in der S II

Pädagogisches Zentrum

Doppelspaltexperiment als Simulation



Simulationsexperiment

Münchener Internet-Projekt Lehrerfortbildung Quantenmechanik

- MILQ richtet sich an alle, die in der Schule Quantenphysik unterrichten und sich gerne noch etwas ausführlicher damit beschäftigen wollen. Wir möchten an den Unterricht angepasstes begriffliches Hintergrundwissen vermitteln und für den Unterricht aufbereitete Materialien zu lohnenden Themen der Quantenmechanik zur Verfügung stellen.
  http://www.cip.physik.uni-muenchen.de/%7Emilq/index.html

Schülerlabor zur Quantenoptik Uni-Erlangen

QuantumLab - Mozilla Firefox

Datei Bearbeiten Ansicht Chronik Lesezeichen Extras Hilfe

http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

QuantumLab

Einführung:

- Startseite
- Konzept
- Grundlagen

Experimente:

- Aufbau Optik
- Koinzidenz
- Existenz Photon
- Quantenzufall
- Q-Kryptographie
- Verschränkung
- Interferenz
- Hong-Ou-Mandel
- Photonenstatistik
- Doppelspalt

Weiteres:

- Schülerlabor
- Unterricht
- Literatur
- Impressum

Schülerlabor zur Quantenoptik

An der Universität Erlangen-Nürnberg können Schüler in einem Labor (Abb. 1) die Grundlagen der Quantenoptik an drei experimentellen Stationen (Abb. 2) erlernen. Das Labor kann kostenlos von Lehrer und Schülern (ab Klassenstufe 10) nach vorheriger Anmeldung genutzt werden. Die Experimente im Schülerlabor werden von einem Betreuer der Universität begleitet. Leider darf die maximale Gruppengröße momentan 15 Schüler nicht überschreiten. Der Besuch des Schülerlabors ist nur dann sinnvoll, wenn der Labortag in eine Unterrichtseinheit zur Quantenphysik eingebunden ist. Vorrausgesetzt werden bei den Schülern Kenntnisse zum Prinzip der Quantenkryptographie, zur Funktion eines Interferometers und zum Prinzip des Quantenradierers. Alle vorrausgesetzten Experimente werden in unserer Unterrichtseinheit zur Quantenphysik des Photons behandelt.

Abb. 1: Arbeitsplätze im Schülerlabor zur Quantenoptik

Schülerlabor zur Quantenoptik

- **Schülerlabor zur Quantenoptik**
  An der Universität Erlangen-Nürnberg können Schüler in einem Labor die Grundlagen der Quantenoptik an drei experimentellen Stationen erlernen. Das Labor kann kostenlos von Lehrer und Schülern (ab Klassenstufe 10) genutzt werden. Die Experimente im Schülerlabor werden von einem Betreuer der Universität begleitet. Vorausgesetzt werden bei den Schülern Kenntnisse zum Prinzip der Quantenkryptographie, zur Funktion eines Interferometers und zum Prinzip des Quantenradierers. Alle vorausgesetzten Experimente werden in unserer Unterrichtseinheit zur Quantenphysik des Photons behandelt.
- http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/

Simulationsexperimente

- Doppelspalt: http://www.physik.uni-muenchen.de/didaktik/Computer/Doppelspalt/Doppelspalt.htm
- http://www.phys.ksu.edu/perg/vqmorig/programs/java/makewave/Slit/vq_mws.htm
- Quantum-Eraser/Polfilter: http://www.physik.uni-muenchen.de/didaktik/Computer/interfer/interfer.html
- Interferenzexperimente: http://www.colorado.edu/physics/2000/schroedinger/index.html
- Quantum Mine Sweeper: http://kaluza.physik.uni-konstanz.de/AU/Staff/marzlin/games/qbomb/qbomb.html
- Bomben-Experiment: http://www.univie.ac.at/future.media/qu/quantentheorie.html

Links zur Quantendidaktik

- Homepage von Franz Embacher:
  http://homepage.univie.ac.at/Franz.Embacher/Quantentheorie/
- Links zur Quantendidaktik:
  http://homepage.univie.ac.at/Franz.Embacher/MERLIN_MPI/quant.htm
- Münchener Lehrerfortbildung Quantenphysik:
  http://www.cip.physik.uni-muenchen.de/%7Emilq/index.html
- Erlanger Schülerlabor:
  http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/

Was bringt die Quantenphysik aus Schülersicht?

- Neue Sicht auf die Natur und die Physik
- Neue Einsicht, dass alles interferiert
- Neues Denken und neues Weltbild
- Physik ist Philosophie (Erkenntnistheorie)
- Physik ist interessant

Jetzt schneide ich meine Quanten selbst.
Red ‘ nicht, rechne einfach!
Sollen wir wieder mit mesokosmischen Begriffen über den Mikrokosmos sprechen?