

Philosophische Aspekte der modernen Physik SS2010

5. Quantenphänomene I

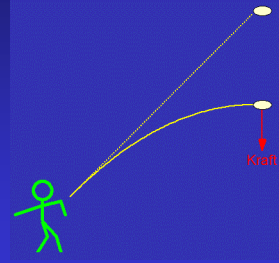
17.05.2010

www.kbraeuer.de

1

Objektivität/Kontextunabhängigkeit und die Gesetze der Physik

- Trägheit der Masse -



- Objektivität/Kontextunabhängigkeit:
 - Ohne Grund keine Richtungsänderung
 - Grund für Richtungsänderung: Kraft

17.05.2010

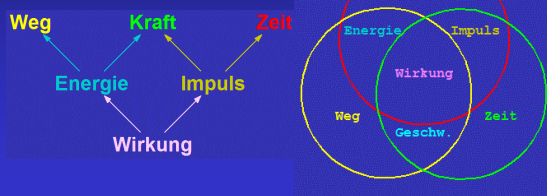
www.kbraeuer.de

2

Die Grundbegriffe der Physik

- Objektive Wirkungen erscheinen in Raum und Zeit als Kräfte
- Eine Kraft wirkt auf einen Körper umgekehrt proportional zu dessen Masse

$$\begin{aligned} \text{Wirkung} &= \text{Kraft} \times \text{Weg} \times \text{Zeit} \\ &= \text{Impuls} \times \text{Weg} \\ &= \text{Energie} \times \text{Zeit} \end{aligned}$$



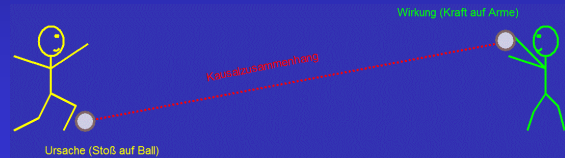
17.05.2010

www.kbraeuer.de

3

Kausalität als Grundlage der Physik

- Bewusstseinsinhalte sind charakterisiert durch objektiven (kontextunabhängigen) kausalen Zusammenhang
- Die mathematische Beschreibung dieses Zusammenhanges führt auf Energie und Masse
- Das ist Grundlage unserer materiellen Welterfahrung (im Gegensatz zur Traumerfahrung).
- Beschreibung kausaler Zusammenhänge ist allgemeiner als Beschreibung von Bahnkurven (Klas.Mech.+Quant.mech.)



Ursache (Stoß auf Ball)

Ausbreitung von Wirkungen

Energieerhaltung

Objekt auf Bahnkurve

$$x(t), v(t) \rightarrow$$

$$F = \frac{dp}{dt} = m \cdot a, \dots$$

Newtonsche Bewegungsgleichung

Unschärfe $\Delta v \Delta p > \hbar \rightarrow$

Wahrscheinlichkeitsstrom

$$\rho(x,t) \cdot v(x,t) \rightarrow$$

Schrödinger-Gleichung, ...

17.05.2010

www.kbraeuer.de

5

Grundphänomene der Quantenmechanik

- Unschärfe
- Nichtlokalität
- Scheinbarer Wellen-Teilchen-Dualismus
- Reduktion des quantenmechanischen Zustandes
 - Zeitentwicklung des Quantenzustandes ist kontinuierlich und deterministisch
 - Aus den statistischen Möglichkeiten manifestiert sich bei der Messung eine Tatsache

17.05.2010

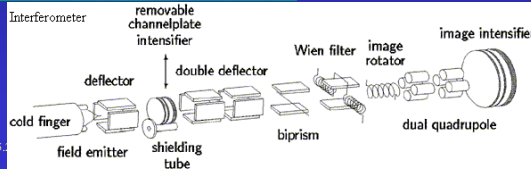
www.kbraeuer.de

6

Experimente z.B. Franz Hasselbach (Angewandte Physik, Uni Tübingen)

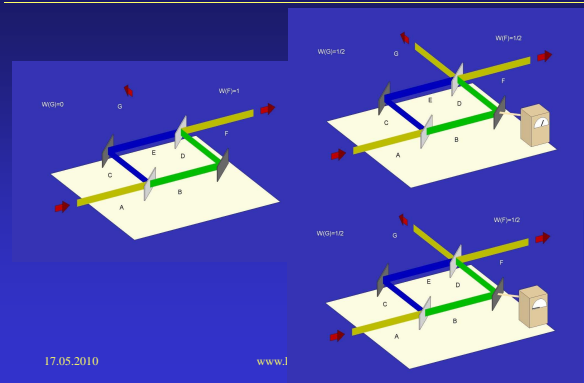


Ioneninterferometrie



17.05.2010

Beobachtungen



17.05.2010

www.1

Grundphänomene des Quanteninterferometers

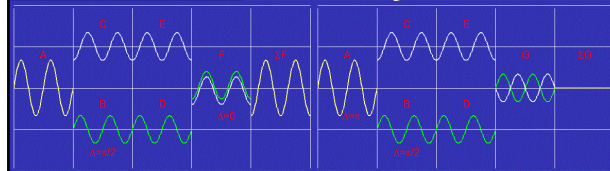
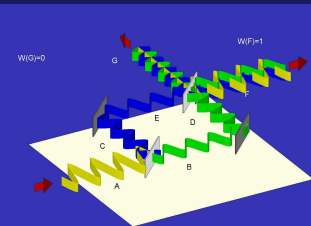
- Wellencharakter
 - Ohne Wegedetektor: Interferenz
- Teilchencharakter
 - Einzelne Ereignisse
 - Mit Wegedetektor: statistisches Verhalten von Teilchen
- Nichtlokalität
 - Pure Möglichkeit zur Wegemessung beeinflusst Ergebnisse (auch wenn Wegedetektor nicht anspricht)
- Beobachtung ändert Systemverhalten grundlegend
- Reduktion von Möglichkeiten durch Beobachtung

17.05.2010

www.kbraeuer.de

9

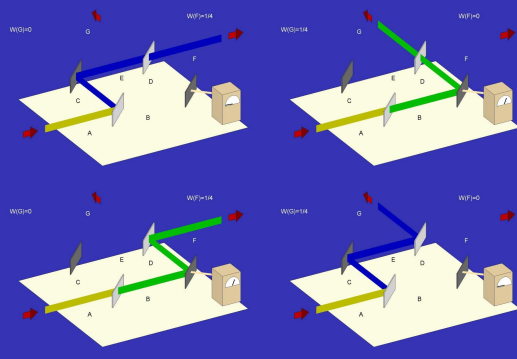
Interpretation Wellen



Konstruktive Interferenz am Ausgang F

Destruktive Interferenz am Ausgang G

Interpretation Teilchen



Statistische Interpretation der Quantenphänomene

- Idealer Punkt ist mathematisches Objekt, nicht physikalisches
- Nur mittlere Geschwindigkeiten sind beobachtbar
- Bahnkurven sind mathematische Hilfsmittel (nicht beobachtbar)
- Wirkungen sind nur bis auf das Plancksche Wirkungsquantum h festgelegt

17.05.2010

www.kbraeuer.de

12

Kontinuität der Wahrscheinlichkeit:
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \frac{\vec{\nabla} S}{m} = 0 \quad (1)$$
 Kontinuitätsgleichung

Kontextunabhängigkeit kausaler Bezüge:
$$\frac{-E}{\partial t} + \frac{\vec{p}^2}{2m} + V + \frac{\hbar^2}{2m} \frac{(\nabla S)^2}{\sqrt{\rho}} = 0 \quad (2)$$
 Hamilton-Jacobi Gleichung

Unschärfepotential:
$$Q = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\nabla^2 \sqrt{\rho}}{\sqrt{\rho}} \quad (3)$$

Mathematische Transformation:
$$\psi = \sqrt{\rho} e^{iS/\hbar}$$
 Quantenfeld (Wellenfunktion)

(1) bis (3) ⇔
$$\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial t} \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V \psi$$
 Schrödinger-Gleichung (Wellengleichung)

17.05.2010 www.kbrauer.de 13

Kopenhagener Interpretation

17.05.2010 www.kbrauer.de

Kein Wegedetektor
Phasensprung bei A→C und D→F
Wahrscheinlichkeiten: p(F)=1, p(G)=0

Wegedetektor spricht an
Phasensprung bei A→C und D→F
Wahrscheinlichkeiten: p(F)=1/2, p(G)=1/2

Wegedetektor spricht nicht an
Phasensprung bei A→C
Wahrscheinlichkeiten: p(F)=1/2, p(G)=1/2

17.05.2010 www.kbrauer.de 15

Weitere Interpretationen

(siehe K.Bräuer: Die fundamentalen Phänomene der Quantenmechanik Logos Verlag 2000)

- **Parallele Universen (Everett, Wheeler, Graham 1957)**
 - Jede quantenmechanische Möglichkeit wird in ein eigenes (klassisches) Universum gelegt
- **Feynmansche Pfadintegrale**
 - Quantenmechanische Wirkung breitet sich auf allen möglichen Pfaden aus, die interferieren
- **Kausale Interpretation von David Bohm**
 - Quantenpotential Q und einen zufällig ausgewählten klassischen Pfad

Kopenhagener Interpretation basiert allein auf der Tatsache, dass idealer (Euklidischer) Punkt nicht wirklich existiert, die Genauigkeit von Wirkungen also grundsätzlich beschränkt sein muss

17.05.2010 www.kbrauer.de 16

Wigners ‚Delayed choice Experiment‘

Einfluß der Entscheidung von t_1 nach t_0 ($t_0 < t_1$)

17.05.2010 www.kbrauer.de 17

Zusammenfassung

- Objektiver Kausalzusammenhang
- Unschärfe → Überlagerung von Möglichkeiten
 - Rolle der Beobachtung
 - Nichtlokalität
 - ‚Dualismus‘ (Teilchen – Welle)
 - ‚Rückwirkung in der Zeit,‘

- **Spannend: Beobachtung, Reduktion von Möglichkeiten (Einschränkung)**
 - Manifestation im kollektiv Unbewussten?
 - Umwelt, Archäologie,

17.05.2010 www.kbrauer.de 18

Nächsten Montag:

- Der aktive Geist des Menschen (Julian Jaynes):
 - Was ist Bewusstsein (und was ist es nicht)
 - Entwicklung des Bewusstseins
 - Zusammenhang mit klassischer und moderner Physik