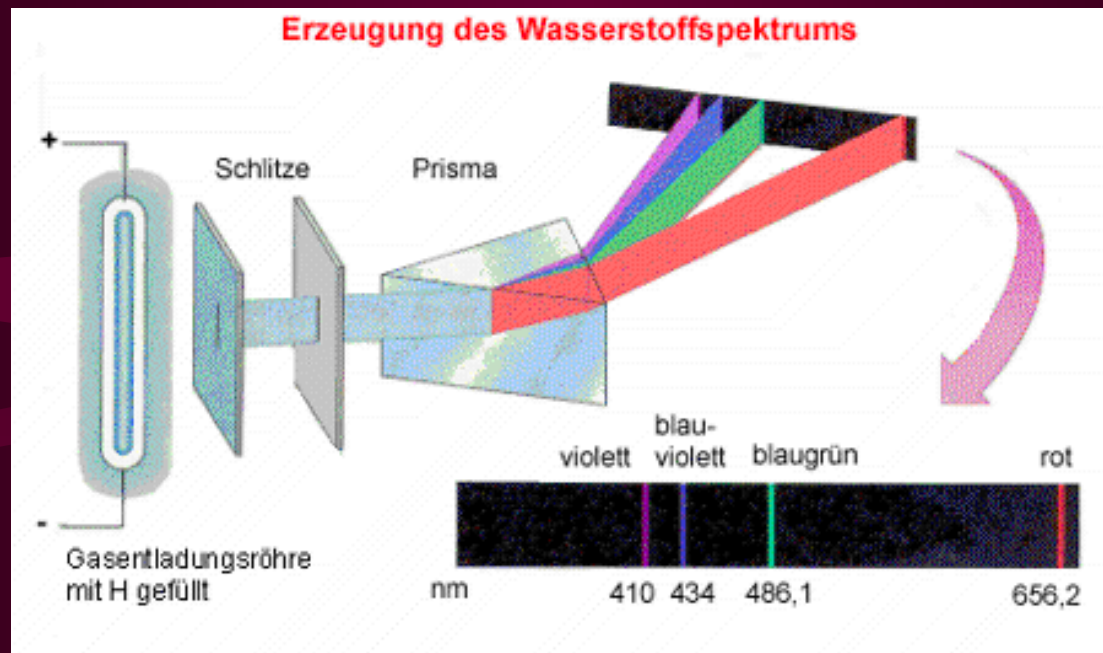


Was sind die Quellen des Lichtes ?
Woher stammen seine Farben ?
Woraus bestehen Gase,
Flüssigkeiten, Kristalle ?

Atome !!!

Wirkungsquantum und Lichtspektren



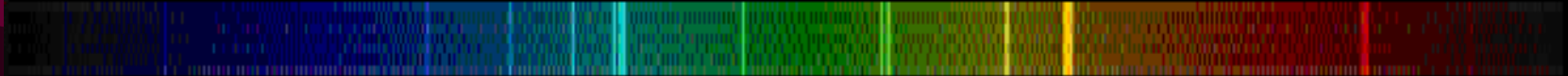
Legt man eine Spannung (+, -) an eine Gasentladungsröhre an, die mit Wasserstoff bei niedrigem Druck gefüllt ist, sieht man blaues Licht. Leitet man das blaue Licht durch ein Prisma, so können enge Banden hellen Lichts gegen einen schwarzen Hintergrund beobachtet werden (**Balmer-Spektrum**).

Einige Atomspektren

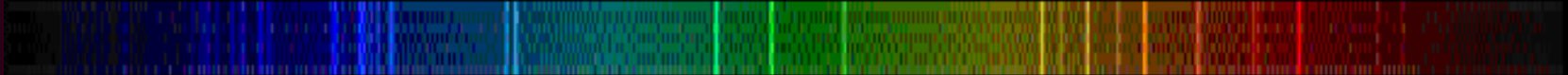
Wasserstoff



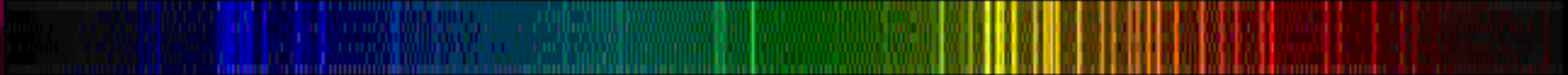
Kohlenstoff



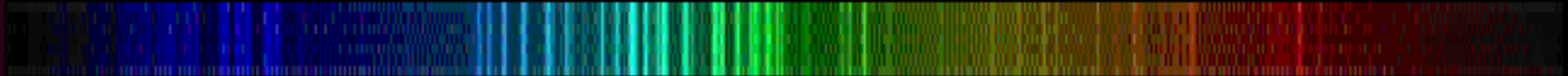
Sauerstoff



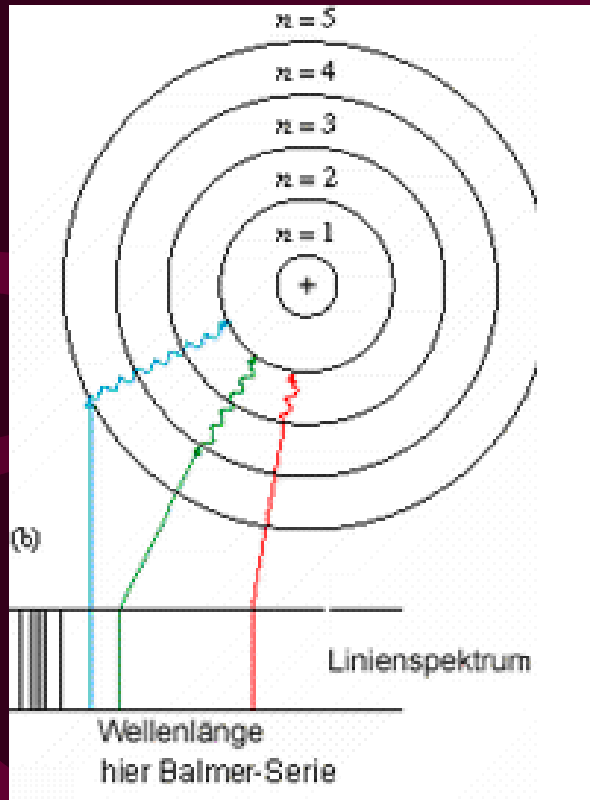
Neon



Eisen



Wasserstoff-Atom H



- Ραδιος $0,5 \cdot 10^{-10} \mu$
- Ελεκτρονενμασσε $\mu_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Προτονενμασσε $\mu_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

- Ελεμενταρλαδυνγε $= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Χουλομβ}$
- ποτεντιελλε Ενεργιε $E_{\text{pot}} = e^2 / 4\pi\epsilon_0 r \text{ (v)}$

Wirkungsquantum und Atommodell

- *Βοηροχηεο Η–Ατομμοδελλ 1913*

- *Ελεκτρονεν κρεισεν υμ ελεκτρισηη ποσιτιωεμ Κερν (Πλανετενμοδελλ). Ανναημε πον σταβιλεν Ελεκτρονενβαηνεν δυρχη Θυαντισιερυγγ δερ Ωιρκυνγ βζω. δεο Βαηνδρεηιμπυλοοο*
$$\Lambda_v = \mu \omega r = \eta \hbar / 2\pi$$

- *Βερεχηνυνγ δερ Βαηνραδιεν ρ_v υνδ δερ Φρεθυενζεν v_v δερ Ελεκτρονεν δυρχη Γλειχησετζεν πον Ζεντριφυγαλκραφτ $\mu \omega / \tau = \mu r (2\pi v)^2$ μιτ Χουλομβκραφτ $- e^2 / r^2$.*

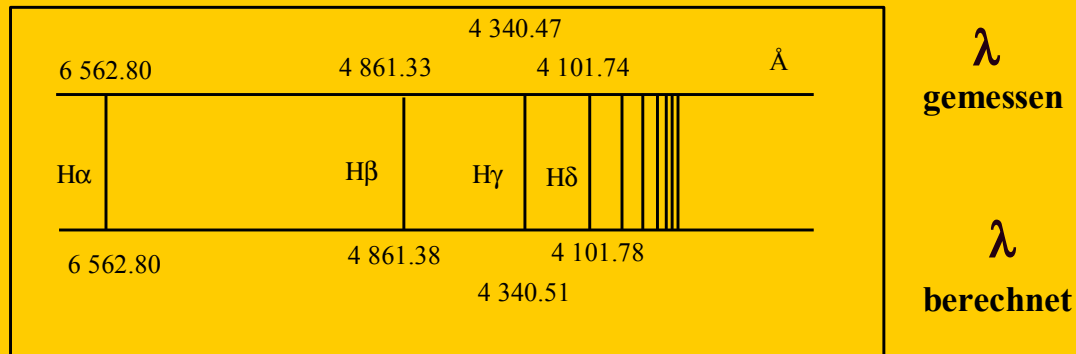
- *Φασζινιερενδε $\Leftarrow$ βερεινστιμμυνγ δερ βερεχηνετεν, αβγεστραηλτεν Σπεκτρεν $v_{v\mu} = v_v - v_\mu$ δεο Ωασσερστοφφεο Η μιτ δεν γεμεοοενεν, πον υ. Βαλμερ ηαρμονικαλ γεορδνετεν Λινιενοπεκτρεν.*

- *Ενεργιε–Νιωεαυο $E_v = \eta v_v$*



Niels Bohr, Nobelpreis 1922

Balmer-Spektrum des H-Atoms



Nach A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Bd. I, Harry Deutsch Verlag, Frankfurt 1978, pg. 77

Wellenlänge λ = Lichtgeschwindigkeit c / Frequenz ν

Komplementarität in Physik



Niels Bohr

Physikalische Erleuchtung

"Contraria sunt complementa – Gegensätze sind komplementär".

Im Jahr 1913 erzählte man Bohr, dass "die Wellenlängen einer ganzen Serie von Spektrallinien im Wasserstoffspektrum mit Hilfe ganzer Zahlen ausgedrückt werden können" (Balmer-Serie)

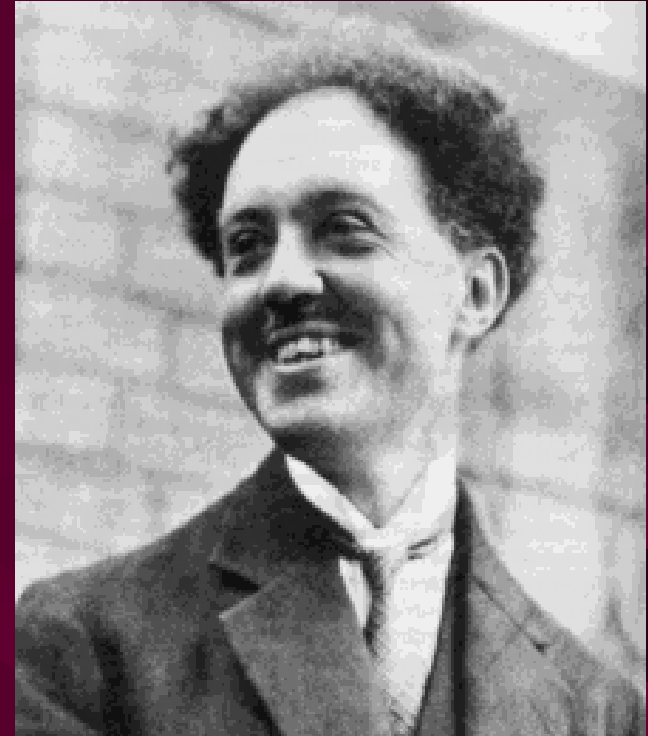
Diese Information, sagte Bohr, habe einen unauslöschlichen Eindruck bei ihm hinterlassen.



Bohrs Wappen

Wirkungswellen Ψ der Materie

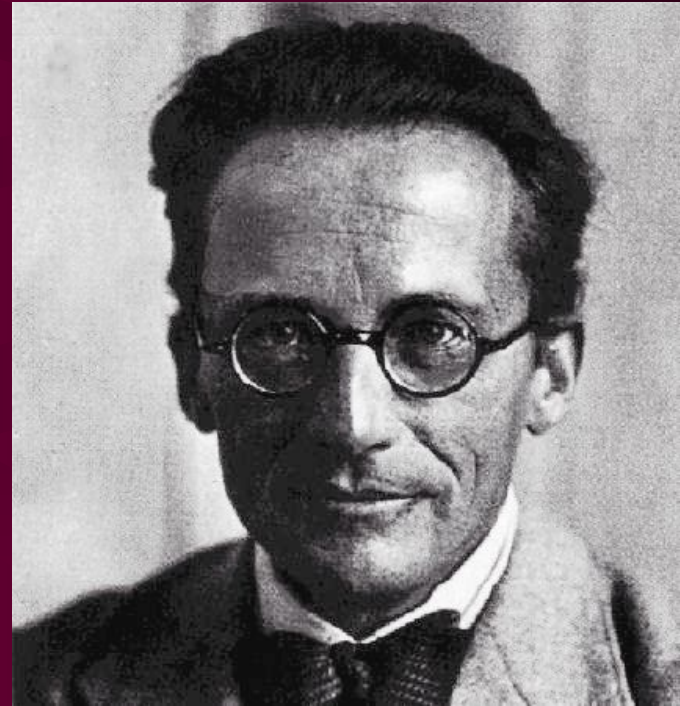
- Λουισ δε Βρογλιε 1924
- *ΠρTMμισσε: Χαμιλτονσ Αναλογιε ζωισχηεν γεομετρισηερ Οπτικ υνδ κλασσισηερ Μεχηανικ (οπτισηε Πηασε υνδ μεχηανισχηε Ωιρκυνγ)*
- *=> δε Βρογλιεσ Αναλογιε ζωισχηεν Ωελλενοπτικ υνδ νευεν Ωελλενμεχηανικ*
- *Ποστυλατ: Ματεριεωελλε $\Psi = \Psi_0 \exp(i\Omega/\eta) = \Psi_0 \exp[(\pi \xi - E\tau)/\eta]$ μιτ $E = \eta\omega, \pi = \eta\kappa$*
- *Φρεθυενζ ω δερ Ωελλε $\Leftrightarrow$ Ενεργιε E δεσ Τειλχηενσ Ωελλενζαηλ κ $\Leftrightarrow$ Ιμπυλσ π δεσ Τειλχηενσ*
- *=> Στεηενδε Ματεριεωελλε ερκλTMρτ ΣταβιλιτTMτ δερ Ελεκτρονεν-Βαηνεν ιν Ατομεν*



Louis de Broglie, Nobelpreis

Wellengleichung der Materie

- *E. Σχηρ δινγερ 1926*
- *Φορμυλιερτε διε Ωελλενγλειχηυνγ δερ
Ωιρκυνγσσελλεν Ψ μιττελσ Αναλογιε των
Οπτικ υνδ Μεχηανικ*
- *Σετζτε μαν ιν διε Ωελλενγλειχηυνγ δερ
Οπτικ $\partial^2 \Psi / \partial \xi^2 + \kappa^2 \Psi = 0$ διε δε-Βρογλιε-
Ωελλενζαηλ $\kappa^2 = \pi^2 / \eta^2$ μιτ $\pi^2 = 2\mu(E - E_{\text{pot}})$,
σο ερηTMλτ μαν διε Σχηρ δινγεργλειχηυνγ,
διε Ωελλενγλειχηυνγ δερ Μεχηανικ:*
- $\partial^2 \Psi / \partial \xi^2 + \{2\mu(E - E_{\text{pot}}) / \eta^2\} \Psi = 0$



E. Schrödinger, Nobelpreis

Wirkungsquantum $\hbar \Rightarrow$ Null

Quantenphysik $\Rightarrow$ klassische Physik

Schrödingergleichung $\Rightarrow$ Hamilton-Jacobigleichung

$$\hat{E}\Psi = \hat{H}\Psi \quad \text{mit} \quad \hat{H} \equiv \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \hat{V}(x, t) \text{ bzw. } H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}, t) \quad (2.35-1)$$

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi \quad \text{mit} \quad \hat{H} \equiv \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \hat{V}(x, t) \text{ bzw. } H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}, t) \quad (2.35-2)$$

Wir zeigen nun, daß die zeitabhängige Schrödingergleichung (2.35-2) mit $\hbar \Rightarrow 0$ in die Hamilton-Jacobi-Gleichung, die wichtigste Gleichung der klassischen Physik übergeht. Dazu stellen wir die Wellenfunktion ψ in Form einer Elementarwelle dar:

$$\psi = \exp\left(-i \frac{W}{\hbar}\right)$$

Nun differenzieren 2.35-2 einmal nach t und zweimal nach x bzw. y und z und erhalten

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar} \frac{\partial W}{\partial x} \psi; \quad |$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{i}{\hbar} \frac{\partial W}{\partial x} \psi; \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \left(-\frac{i}{\hbar} \frac{\partial W}{\partial x}\right) = \left(-\frac{1}{\hbar^2} \left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 \psi - \frac{i}{\hbar} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \psi\right)$$

Analoges gilt für die partielle Ableitung nach y und z ; dies setzen wir ein und erhalten

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{1}{2m} \left\{ \left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^2 \right\} + V(\mathbf{r}, t) + \frac{i\hbar}{2m} \nabla^2 W$$

Lassen wir $\hbar \Rightarrow 0$ $\hbar \ll W$, so erhalten wir die Hamilton-Jacobi-Gleichung

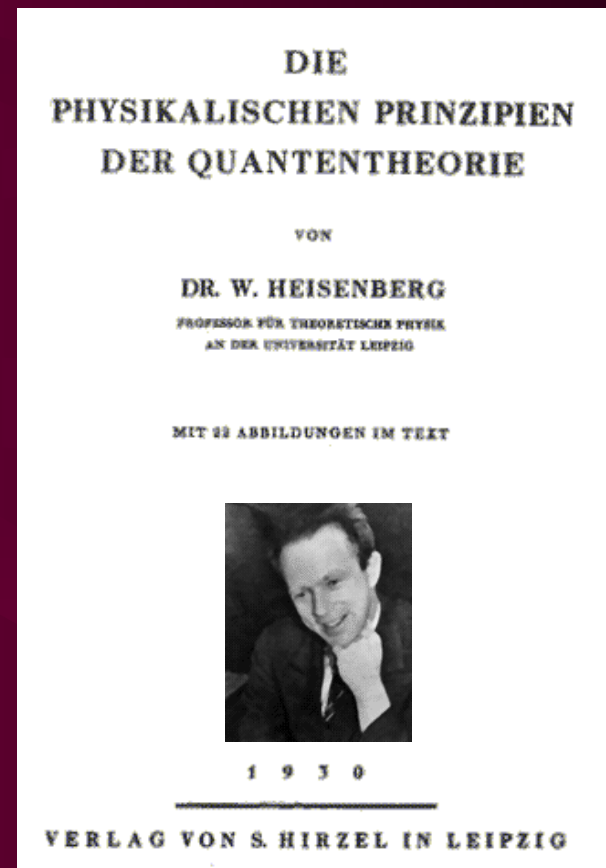
$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{1}{2m} \left\{ \left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^2 \right\} + V(\mathbf{r}, t) = \frac{p^2}{2m} + V(\mathbf{r}, t) = H(\mathbf{p}, \mathbf{r}, t)$$

Was sind Wirkungswellen?

- *Ιν δερ Δαρστελλυνγ ιστ βεσονδερερ
Ωερτ αυφ διε Γλειχηβερεχητιγυνγ δερ
Κορπυσκυλαρ– υνδ δερ
Ωελλενωορστελλυνγ γελεγτ*

- *Φερνερ ηαβε ιχη περσυχητ, δεν
Υντερσχηιεδ ζωισχηεν δεν ραυμ–
ζειτλιχηεν Ωελλεντηεοριεν
εινερσειτσ υνδ δεν
Σχηρ βινγερσχηεν Ωιρκυνγσ–ωελλεν
Ψ ιμ Κονφιγυρατιονσραυμ
ανδερερσειτσ μ ηλιχηστ κλαρ
ηεραυσζυαρβειτεν.*

(Ω.Χεισενβεργ)



Kopenhagener Deutung von Ψ

- *Μάξ Βορν, 1927*
- *θεδεσ Εξπεριμεντ μυσο ιν Βεγριφφεν δερ κλασσ. Πηψσικ βεσχηριεβεν αερδεν*
- *ΥνσχηTM ρφεπρινζιπ Δρ.Δπ $\geq \eta/4\pi$ βεγρενζτ κλασσισχη Βεγριφφε*
- *Θυαδρατ $|\Psi|^2 = \Psi\Psi^*$ δς βεσχηρειβτ διε Ωαηρσχηεινλιχηκειτ, ειν Θυαντενοβφεκτ ιν εινεμ Ραυμελεμεντ δς ζυ φινδεν*
- *Δασ θυαντενμεχηανισχη Εινζελερειγνισ ιστ ιν Ραυμ-Ζειτ υνπορηερσαγβαρ*
- *Ινδετερμινισμυσ δερ Θυαντεντηεοριε ιν δερ Ραυμ-Ζειτ*
- *θεδοχη Δετερμινισμυσ ιμ Κονφιγ-ραυμ*

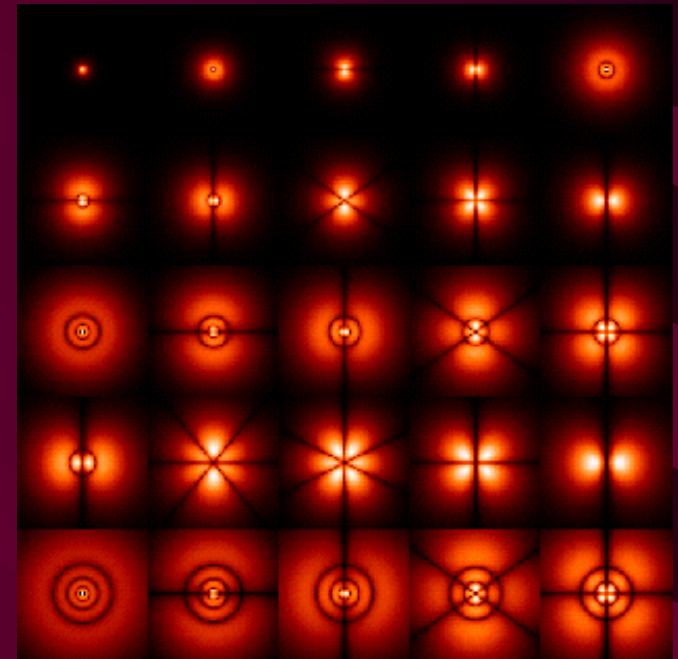


M. Born, Nobelpreis

Aufenthalt $|\Psi_{nlm}|^2$ des Elektrons im H-Atom

- 100 200 210 211 300
- 310 311 320 321 322
- 400 410 411 420 421
- 422 430 431 432 433
- 500 510 511 520 521

Quantenzahlen im H-Atom
n-l-m



$|\Psi|^2$ der Wirkungswellen im H-Atom
=: Elektronen-Orbitale

Heisenberg Unschärfeprinzip

- Ωερνερ Χεισενμπεργ, 1925
- Μιτμπεργ/νδερ δερ Θυαντεντηεοριε

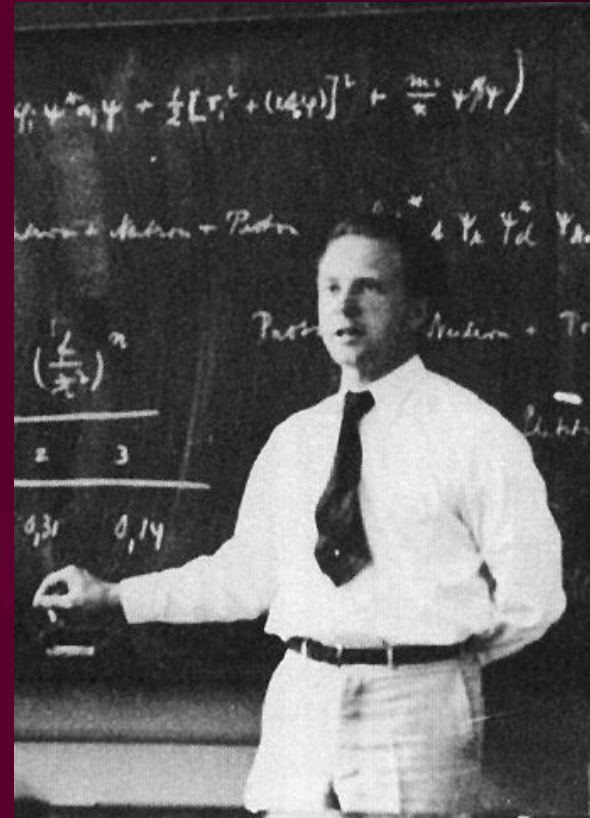
- Ματριζεννμexηανικ

- ΥνσχηTMρφεπρινζιπ

$\forall \Delta E \cdot \Delta t > \hbar/4\pi$ Ενεργιε–Ζειτ

$\forall \Delta p \cdot \Delta r > \hbar/4\pi$ Ιμπυλσ–Ορτ

$\forall \Delta \lambda \cdot \Delta \phi > \hbar/4\pi$ Δρεηιμπυλσ–
Ωινκελ



W. Heisenberg, Nobelpreis

Heisenberg-Unschärfeprinzip

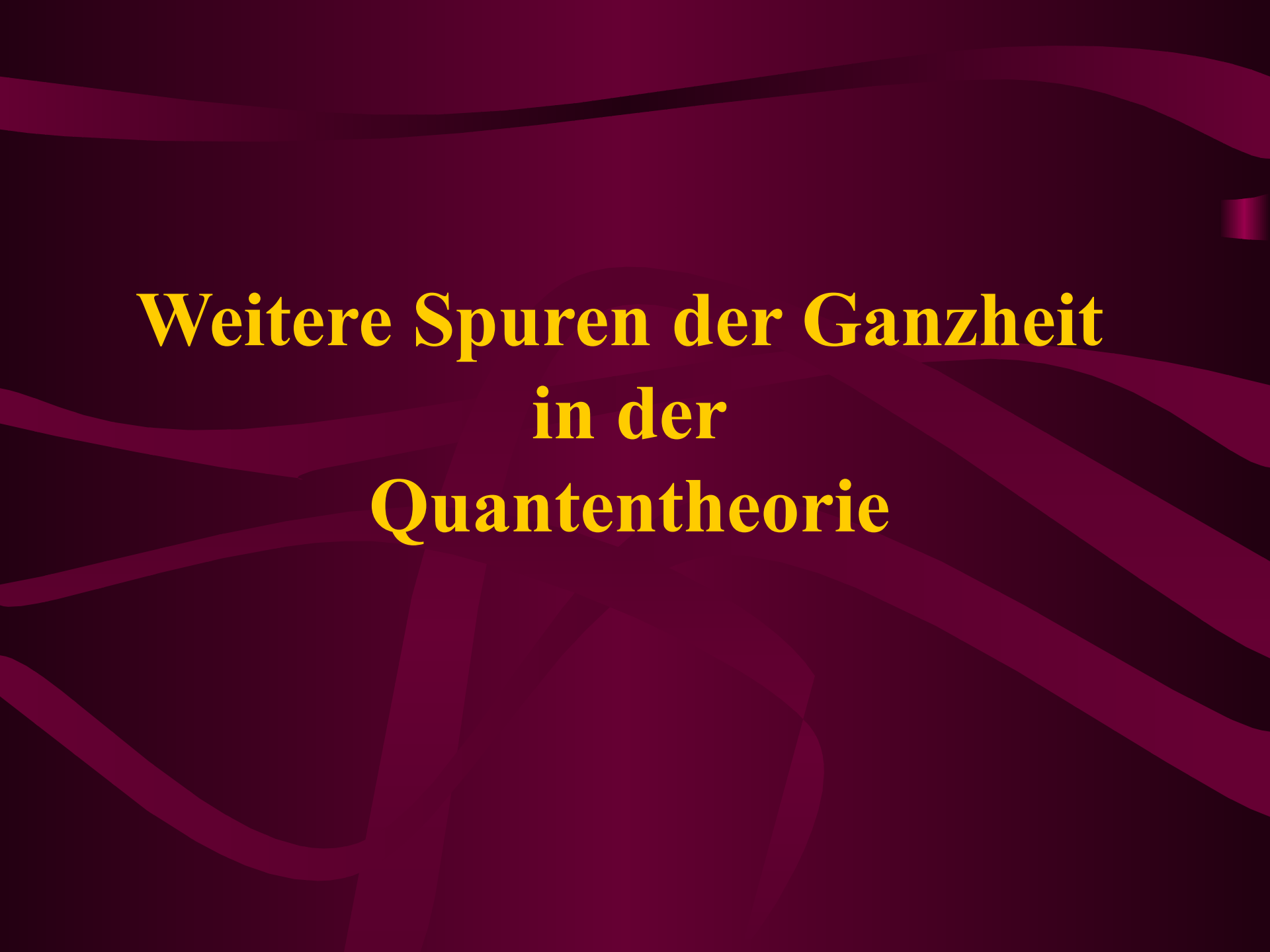
- *Ωερνερ Χεισενμπεργ φορμυλιερτε δασ ΗΥΠ ϕ/ρ Θυαντενοβφεκτε:*
- *Εσ ιστ νιχητ μ $\hbar$ λιχη, δεν Ορτ θ υνδ δεν Ιμπυλς π εινεσ Θυαντεν-οβφεκτεσ σο γεναυ ζυ μεσσεν, δασσ διε Στρευνγεν $\Delta\theta=0$ υνδ $\Delta\pi=0$ σινδ – δασ Προδυκτ ιστ ιμμερ γρ $\hbar$ οδερ γλειχη δεμ ηαλβεν Ωιρκυνγς-θυαντυμ $\hbar/2$.*
- *Ωολφγανγ Παυλι φορμυλιερτε διεσε Τατσαχηε νοχη δραστισχηερ:*
- *Μαν κανν διε Ωελτ μιτ δεμ π-Αυγε υνδ μαν κανν σιε μιτ δεμ ξ-Αυγε ανσεηεν, αβερ ωενν μαν βειδε Αυγεν ζυγλειχη αυφμαχηεν ωιλλ, δανν ωιρδ μαν ιρρε.*

Für Quantenobjekte gilt:

$$\Delta q \cdot \Delta p \geq \hbar / 2$$

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar / 2$$

$\hbar$ ist kleinste Ganzheit = Monade !!!

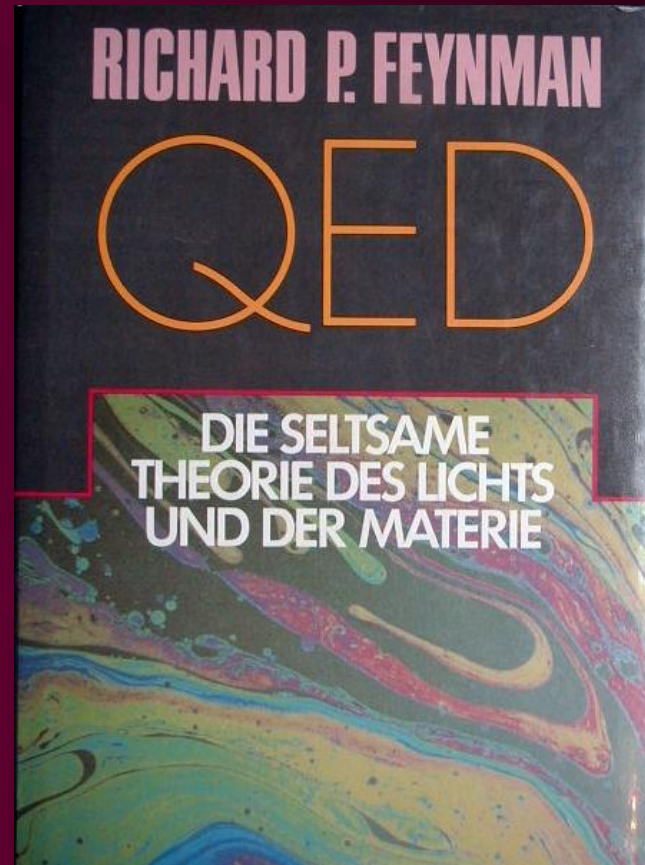


Weitere Spuren der Ganzheit in der Quantentheorie

... QED

*Ιχνη γλαυβε, μιτ
Σιχηερηειτ σαγεν ζυ
κ)ννεν, δασσ
νιεμανδ διε
Θυαντενμεχηανικ
περστεητ.*

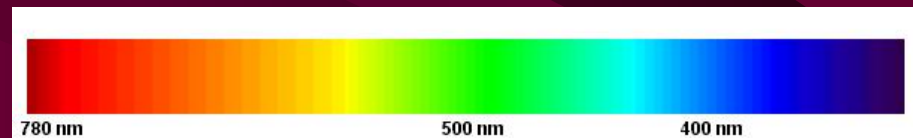
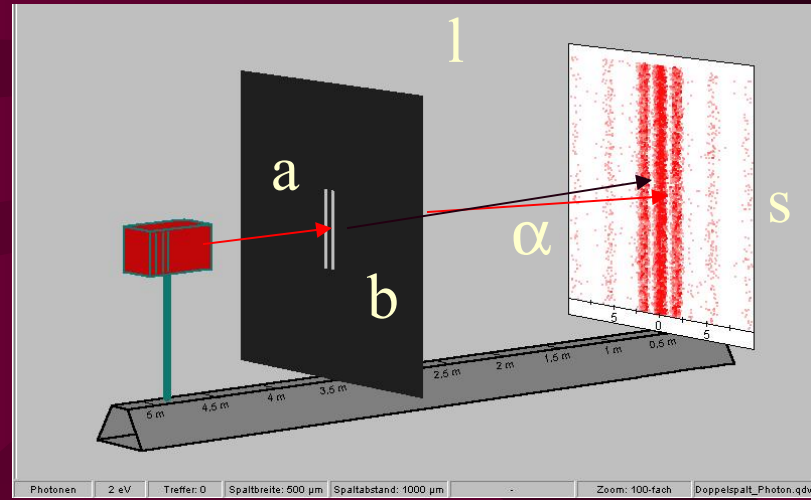
(Ρ.Π. Φεψνμαν, 1973)



... Lichtwellen

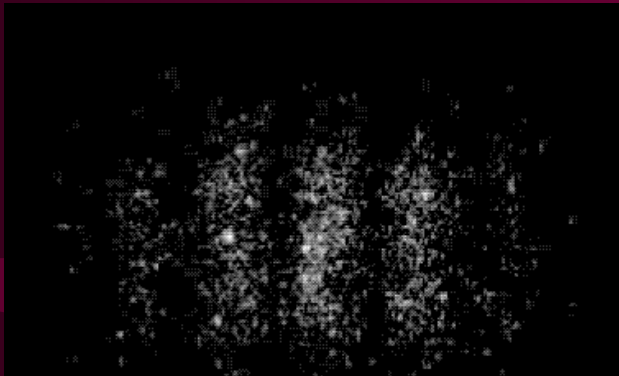
- *Τ. Ψουνγ*
Δοπελσπαλτ–Εξπριμεντ
- *Βεστιμμυγγ δερ*
ΩελλενλTMνγεν αυσ
Βευγυγγ & Ιντερφερενζ
- *Ωινκελ α = αρχταν σ/λ,*
Στρεϊφenaβστανδ σ, Σχηιρμαβστανδ λ
Σπαλταβστανδ α
Σπαλτβρειτε β

$$\lambda = (\beta + \alpha) \cdot \sin \alpha$$

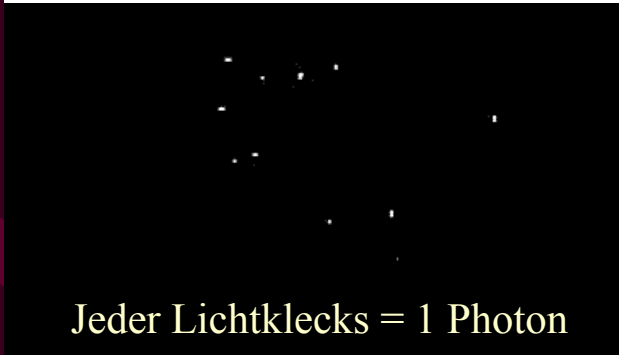


He-Ne-Laser: $a = 1 \text{ mm}$, $b = 0,5 \text{ mm}$
 $\alpha = \arctan (1,266 \text{ mm} / 3000 \text{ mm})$
 $\lambda = (1 + 0,5) \cdot \sin \alpha = 0,000633 \text{ mm} = 633 \text{ nm}$

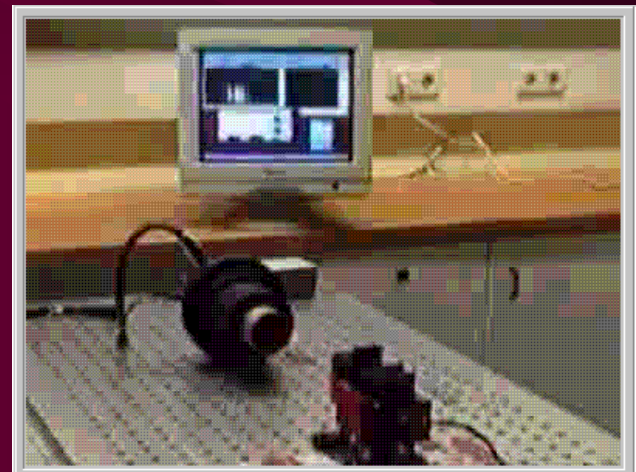
Doppelspaltversuch mit einzelnen Photonen



Das Besondere ist die Kamera, die einer gewöhnlichen Digitalkamera entspricht, aber eine viel höhere Auflösung und eine geringe Rauschrate hat. Die hohe Empfindlichkeit wird erreicht durch einen Bildverstärker, wie er auch bei Nachtsichtgeräten Verwendung findet. Der Abschwächer zwischen Laser und Spalt läßt Pro 1/50 Sekunde nur ca. 10 Photonen des Laserlichts durch.



Jeder Lichtkecks = 1 Photon



Lichtwellen und Photonen

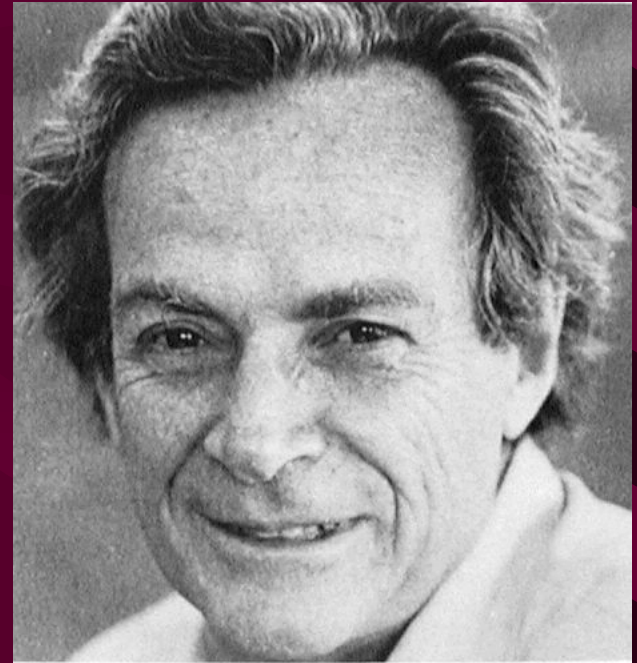
*Εξπεριμεντε μιτ εινζελνεν Πηοτονεν ζειγεν δασ γλειχηε
Ιντερφερενζμυστερ ωιε μιτ εινεμ Ενσεμβλε πον
Πηοτονεν (Λιχητωελλε)*

- *Ειν Πηοτον μυσσ δαηερ ωιε εινε Ωελλε γλειχηζειτιγ
δυρχη βειδε Σπαλτε ηινδυρχη, δαμιτ εσ ζυρ Ιντερφερενζ
κομυτ !!!*
- *Ειν σχηον περσχηουνδενεσ Πηοτον – Μεσσυνγμιτ
εινεμ Πηοτομυλτιπλιερ – υνδ ειν νοχη νιχητ ερζευγτεσ
Πηοτον σινδ μιτεινανδερ κορρελιερτ, δ.η. σιε σινδ
γανζηειτλιχη „περσχηρTMνκτ“ !!!*

Quantentheorie?

Niemand versteht sie !

- „No, ψουερε νοτ γοινγ το βε αβλε το υνδερστανδ ιτ.
Ψου σεε, μψ πηψσιχσ στυδεντς δονετ υνδερστανδ ιτ ειτηερ.
Τηατ ισ βεχαυσε Ι δονετ υνδερστανδ ιτ.
Νοβοδψ δοεσ.“
- **Ριχηαρδ Π. Φεψνμαν**
ζυμ ξερστ[™]νδνις δερ Θυαντεντηεοριε



R. Feynman, Nobelpreis für QED

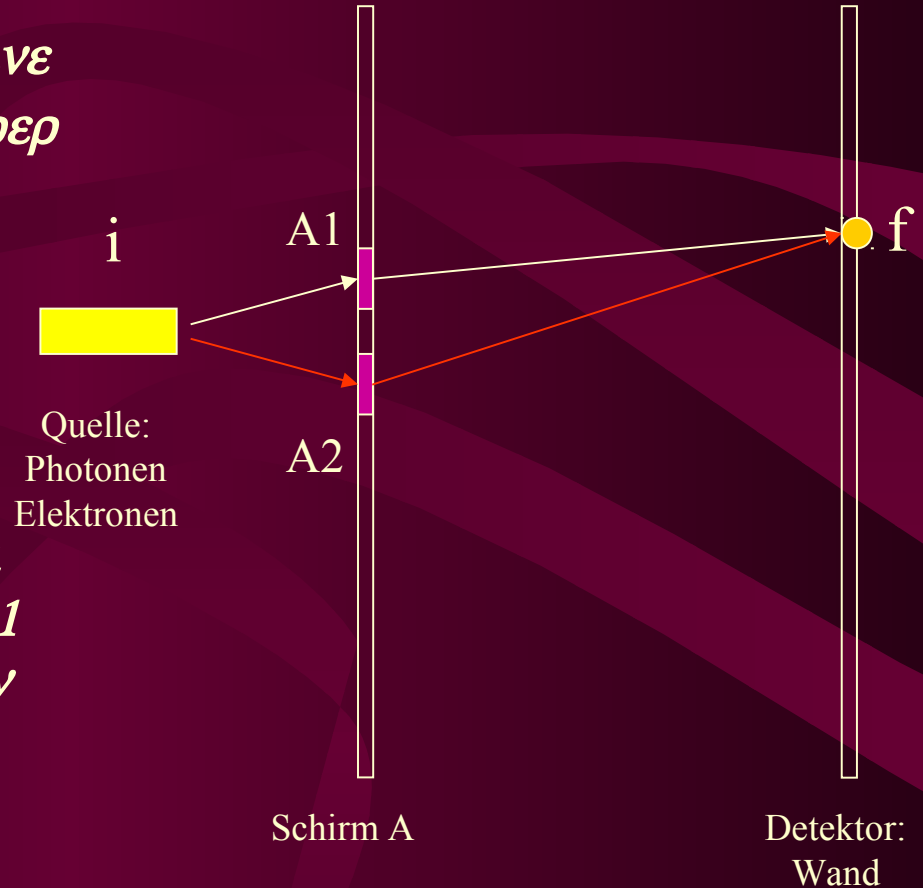
Wirkungswelle Ψ am Doppelspalt

Ωιρκυγγσσελλε $\Psi = \varepsilon^{i\Omega/\hbar}$ ιστ εινε
 ⇐ βερλαγερυγγ < | > ελεμενταρερ
 Ωιρκυγγσσελλεν (Ηψγευσ)

$$\Psi = \langle i | \phi \rangle =$$

$$\langle i | A1 \rangle \cdot \langle A1 | \phi \rangle + \langle i | A2 \rangle \cdot \langle A2 | \phi \rangle$$

$|\Psi|^2 = \Omega$ αηρσχηεινλιχηκειτ, ιμ
 Δοπελσπαλτ–Εξπεριμεντ μιτ 1
 Σχηιρμ υνδ 2 Σπαλτεν βει φ ειν
 Πηοτον ζυ μεσσεν



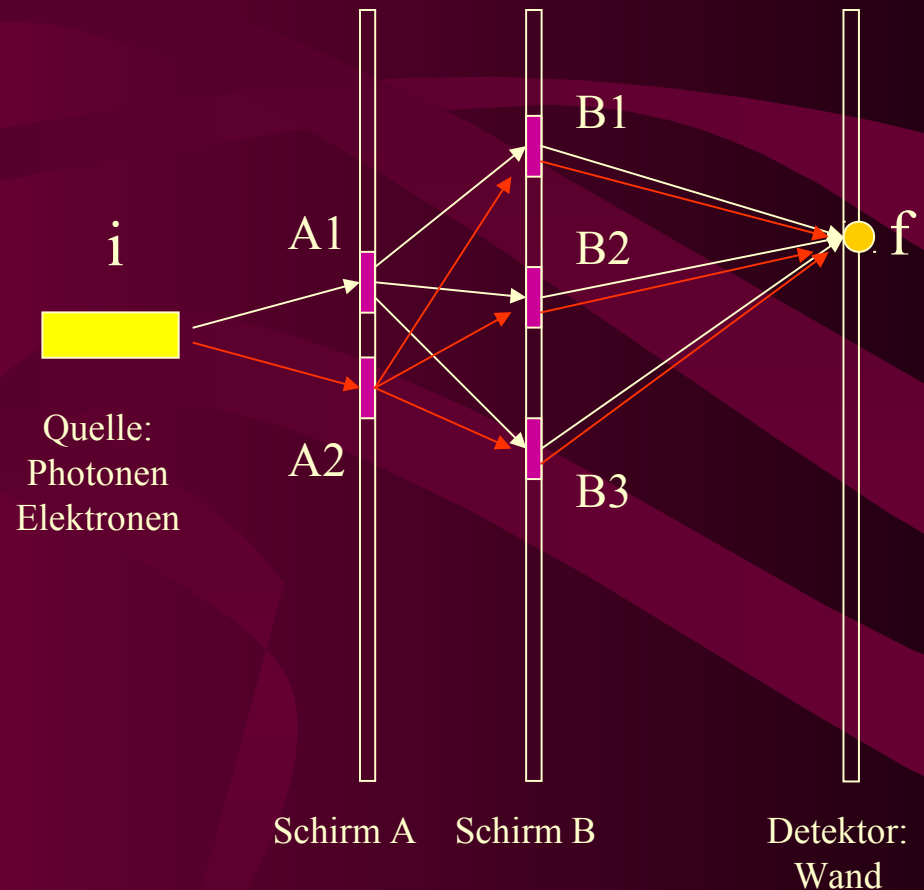
Wirkungswelle an Schirmen + Spalten

- *Ωιρκυβγσσελλε Ψ ιστ διε Συμμε
αλλερ μ ηλιχηεν Πφαιδε Ψ_i = ε^{ιων/η} δερ
ελεμενταρεν Ωιρκυβγσσελλεν*

$$\Psi = \langle i/\phi \rangle =$$

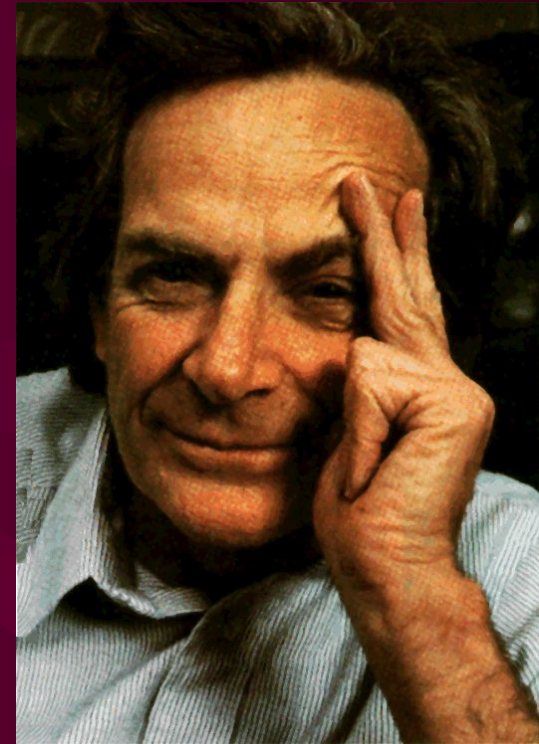
$$\begin{aligned} &\langle i/A1 \rangle \cdot \langle A1/B1 \rangle \cdot \langle B1/\phi \rangle + \\ &\langle i/A1 \rangle \cdot \langle A1/B2 \rangle \cdot \langle B2/\phi \rangle + \\ &\langle i/A1 \rangle \cdot \langle A1/B3 \rangle \cdot \langle B3/\phi \rangle + \\ &\langle i/A2 \rangle \cdot \langle A2/B1 \rangle \cdot \langle B1/\phi \rangle + \\ &\langle i/A2 \rangle \cdot \langle A2/B2 \rangle \cdot \langle B2/\phi \rangle + \\ &\langle i/A2 \rangle \cdot \langle A2/B3 \rangle \cdot \langle B3/\phi \rangle \end{aligned}$$

*Ψ_ρ = Ωαηρσχηενλιχηκειτ, ιμ Δοππελσπαλτ-
Εξπεριμεντ μιτ 2 Σχηιρμεν υνδ 2 βζω 3
Σπαλτεν βει φ ειν Πηοτον ζυ μεσσην*



Wirkungswelle & Pfadintegral

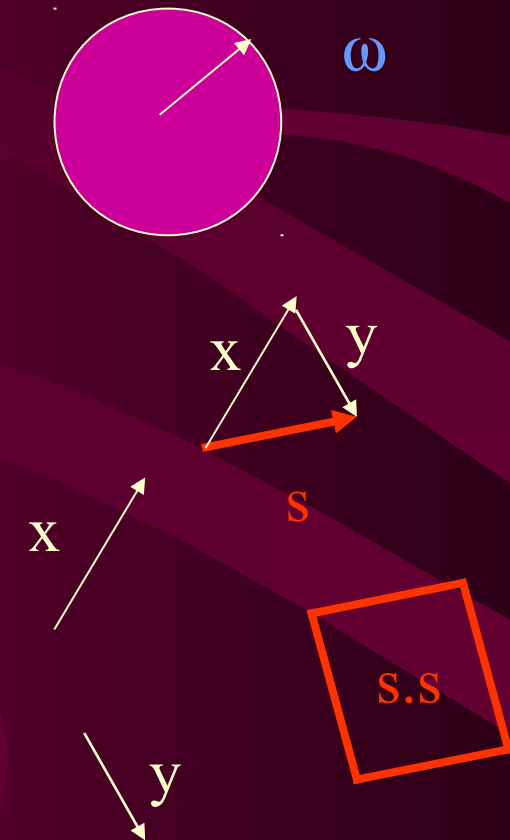
- *P. Φεψνμαν (1918 – 1988)*
- *Μιτοχη ήφερ δερ Θυαντεντηεοριε υνδ
Θυαντενελεκτροδψναμικ ΘΕΔ*
- *Ωιρκυνγσσελλε Ψ (Αμπλιτυδε) ιστ
Πφαιδιντεγραλ ήβερ αλλε Μ ήλιχηκειτεν
 $\Psi = \langle i|\phi \rangle = \int \text{εξπ}(i\Omega/\eta) \delta\Gamma$
(Ζαηλ δερ Σχηιριμε υνδ Ζαηλ δερ Σπαλτεν => οο)*
- *Βερ ήημτε Λεηρβ ήχηερ Φεψνμανσ:
Φεψνμαν Λεχτυρεσ ον Πηψσιχσ
Θυαντυμ Μεχηανιχσ ανδ Πατη Ιντεγραλσ
Θυαντυμελεχτροδψναμιχσ*



R. Feynman, Nobelpreis

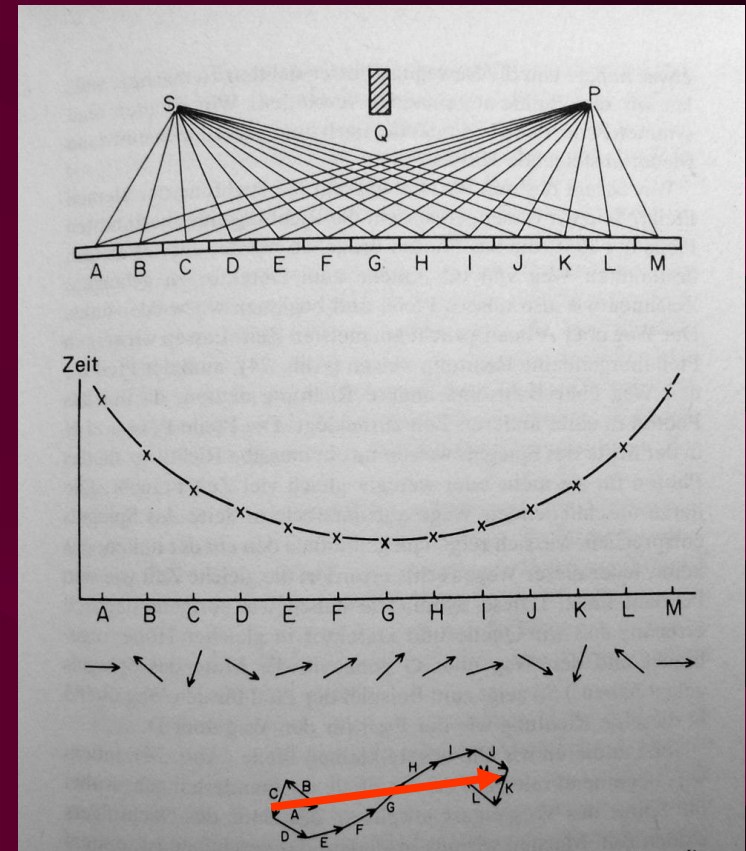
Summe von Wirkungswellen

- Ελεμενταρε **Ω**ρκυνγσσελλεν λασσεν σιχη αλσ κομπλεξε Ζαηλεν βζω. ζεκτορεν ιν δερ Γαυλσχηεν Ζαηλενεβενε δαρστελλεν
- Φεψνμιαν περωενδετ δαζυ **Π**φειλε υνδ δευτετ διεσε αλσ Ζειγερ ειφερ αναλογεν **Σ**τοππυηρ, διε ναχη ειφερ βεστιμμετεν Ζειτ στοππυ υνδ ιν ειφε βεστιμμετε Ριχητυνγ ζειγτ.
- Διε Ωινκελγεσχηωινδιγκειτ **ω**, μιτ δερ σιχη δερ Ζειγερ δρεητ, ιστ ειν Μαλλ φ|ρ διε Ενεργιε **E** βζω. Φαρβε εινεσ Πηοτονοσ.
- Βλαυε Πηοτονεν ηαβεν ειφε γρ μπερε Ενεργιε υνδ δρεηεν σχηνελλερ αλσ ροτε Πηοτονεν, δερην Ζειγερ σιχη δαηερ λαηγσαμερ δρεητ
- Διε **Συμμε** δερ **Π**φειλε ερφολγτ ναχη δεν Ρεγελν δερ ζεκτοραδδιον: $\xi + \psi = \sigma$
- Δασ **Θυαδρατ** **σ.σ** γιβτ ειν Μαλλ φ|ρ διε Ωαηρσχηεινλιχηκειτ δεσ Ερειγνισσεσ



Wirkungswellen & Lichtreflexion

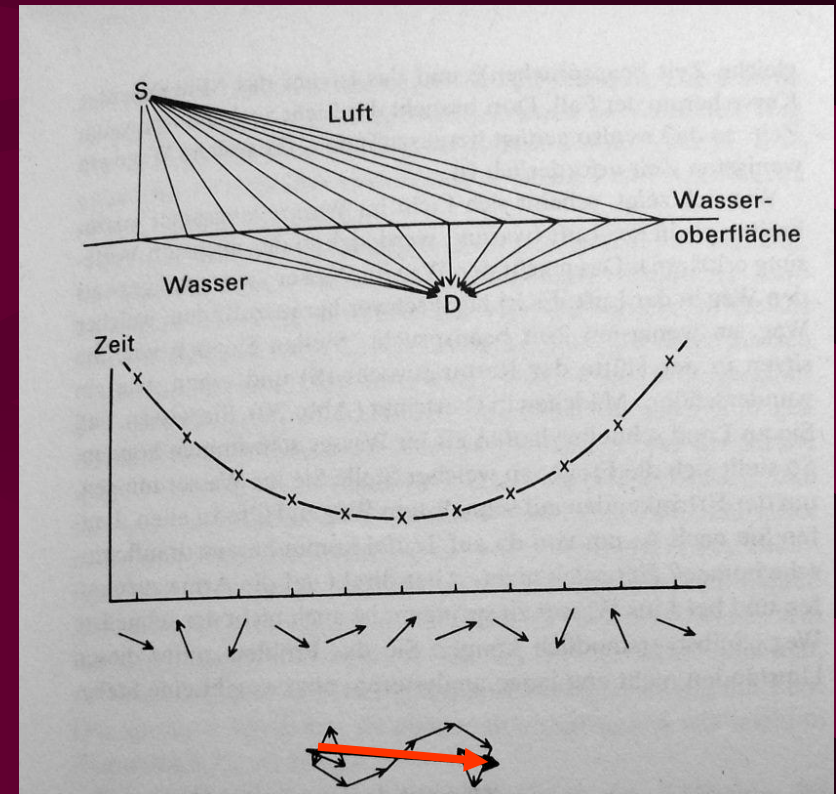
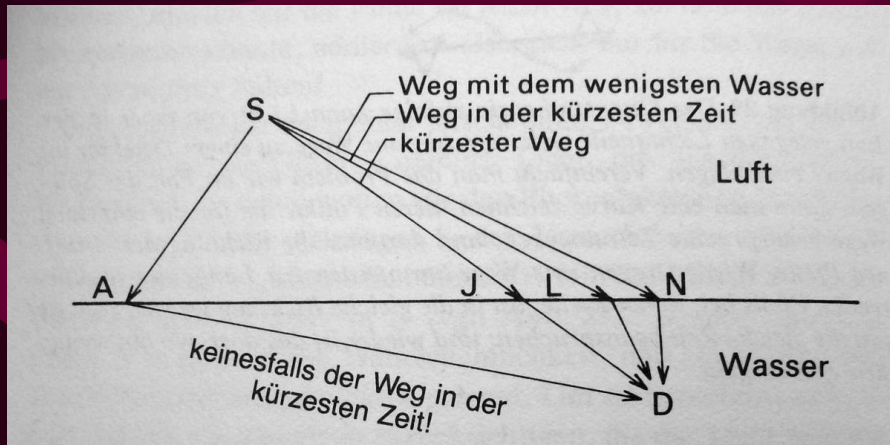
- Σπινελ μετ Τειλεν A – M
- Λιχητθυελλε Σ σενδετ Πηοτονεν
- Δετεκτορ ιν Π μισστ Πηοτονεν
- Γραφικ ζειγτ Πφειλσ τελλυνγ ναχη δεμ
Στοππεν δερ Υηρ υνδ διε δαφ/ρ βεν ιτιγτ
Ζειτ
- Ναχη δερ Αδδιτιον αλλερ Πφειλε
(ζεκτορ) ερηTMλτ μαν δεν Συμμενπφειλ
φ/ρ αλλε ελεμενταρεν Ωιρκυνγσβελλεν
- Θυαδρατ δεσ Συμμενπφειλσ ηβτ διε
Ωαηρσχηινλιχηκειτ φ/ρ δεν ζοργανγ
- Δεν μειστεν Βειτραγ λιεφερν ναηεζυ
γλειχηγερικητετε Πφειλε ιν δερ
Υμγεβυνγ δεσ Μινιμυμ αν Ζειτ:



=> Prinzip der kleinsten Wirkung

Wirkungswellen & Lichtbrechung

- *Ηιερ σεηεν ωιρ, ωιε κλυγ βζω. περ-
ν/νφτιγ δασ Λιχητ σεινε μ ηλιχηεν
Ωεγε ζυμ Ζιελ (Φιναλπρινζιπ) τεστετ
– ωιε ειν Βαδεω™ρτερ, δερ εινεν
Ερτρινκενδεν ζυ ρεττεν περσυχητ*



=> Prinzip der kleinsten Wirkung

EPR - Gedankenexperiment

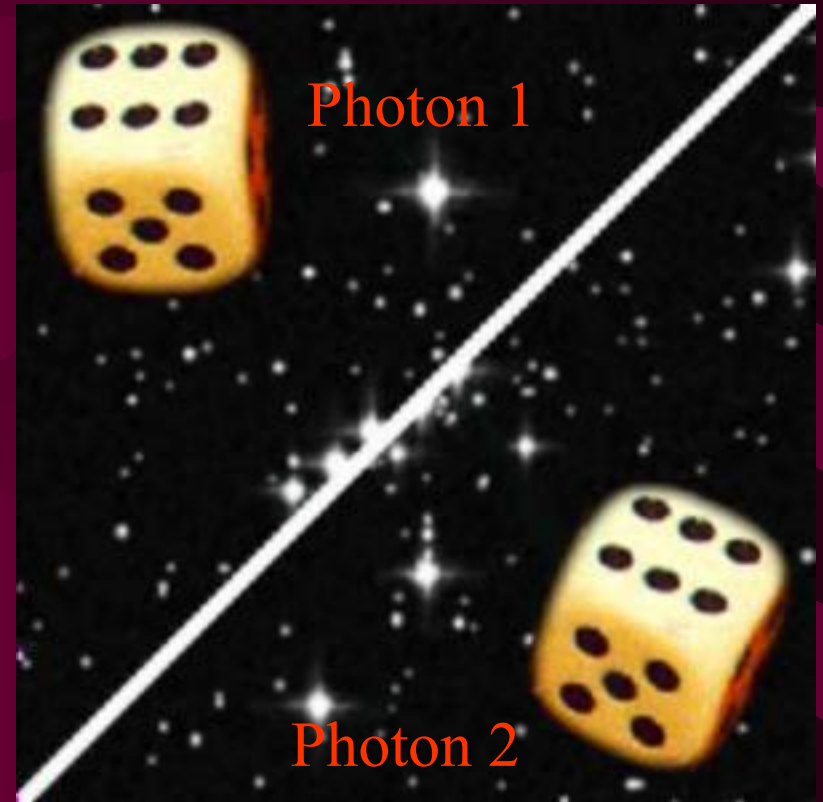
Albert **E**instein, Boris **P**odolsky und Nathan **R**osen (EPR) betrachten das Verhalten zweier Quantenteilchen, etwa Photonen bzw. Lichtquanten und zeigten 1935, dass solche Quantensysteme vollkommen skurrile spukhafte Eigenschaften besitzen können.

Wir illustrieren dies an zwei Würfeln, von denen der eine in Wien, der andere in Budapest ist. Beide Würfel werden gleichzeitig gewürfelt. Unser gewöhnlicher Verstand (common sense) erwartet nun, dass die Resultate vollkommen unabhängig voneinander sein müssen. Das heißt also, wenn der Würfel in Budapest "6" zeigt, so kann bei dem Würfel in Wien jede beliebige Zahl auftreten.

Das Verblüffende ist nun, daß Quantenwürfel immer genau die gleichen Augenzahlen (z.B. „6“) zeigen werden. Das Resultat für jeden der beiden Würfel ist zwar vollkommen ungewiß, es herrscht der objektive Zufall, sie „wissen“ aber, daß sie beide immer genau das gleiche Resultat zeigen müssen.

EPR-Experimente

- *A. Εινστειν, B. Ποδολσκιψ, N. Ροσεν; 1935*
- *Ζωει γλειχηζειτιγερζευγτε
Πηοτονεν φλιεγεν βελιεβιγ
αιτ αυσεινανδερ υνδ
βλειβεν δοχη μιτεινανδερ
περβυνδεν (σπινκορρελιερτ)*
- *Ζωει Θυαντενω|ρφελ, διε
βελιεβιγ αιτ πονεινανδερ
εντφερντ σινδ, ζειγεν βειμ
γλειχηζειτιγεν Ω|ρφελν
ιμμερ διε γλειχηεν
Αυγενζαηλεν*



Praxis der Verschränkung



Institut für Experimentalphysik Uni Wien

EPR-Argumentation

“ Wir sehen daher, daß als Folge zweier verschiedener Messungen, die an dem Quantensystem (aus zwei Photonen) ausgeführt werden, das zweite System in Zuständen mit zwei verschiedenen Wellenfunktionen vorliegt ” (EPR 1935)

These: Für ein Zweiphotonensystem kann es nur eine Wellenfunktion geben, die daher auch das zweite Photon beschreibt. **Antithese:** Nun wird an beiden Photonen der Spin gemessen. Da aber die beiden Quantensysteme (Photonen) zum Zeitpunkt der Messung nicht mehr miteinander in physischer Wechselwirkung stehen, kann nicht wirklich eine Messung am ersten Photon eine Änderung am zweiten Photon bewirken. Daher muss das zweite Photon eine eigene Wellenfunktion besitzen.

Fazit: Es ist daher möglich, zwei verschiedene Wellenfunktionen der gleichen Wirklichkeit zuzuordnen. Daher kann die Quantentheorie nicht als eine vollständige Beschreibung der Wirklichkeit gelten.

Bell'sche Ungleichung

- *ϑ. Βελλ (1928 – 1990)*
- *Ηερλειτουργινερ λογισχη εξακτεν
Υνγλειχηυνγ φ/ρ καυσάλ-λοκαλε
Τηοριεν
ζ.Β. : Πολαρισατιον won Πηοτονεν
(ΡιχητυνγσαβηTMνγκειτ won Σπινσ)*
- *Υνγλειχηυνγ ωιρδ δυρχη διε
νιχητλοκαλε-ακαυσάλε
Θυαντεντηοριε περλετζτ*
- *Ωελτ ιστ γανζηειτλιχη – σψνχηρον*
- *Εξπεριμεντε δυρχη Α. Ασπεχτ,
Α.Ζειλινγερ ετ αλ. περλετζεν
Βελλσ Υνγλειχηυνγ υνδ
βεστTMτιγεν Βελλσ Τηορεμ
ζυρ Θυαντεντηοριε*

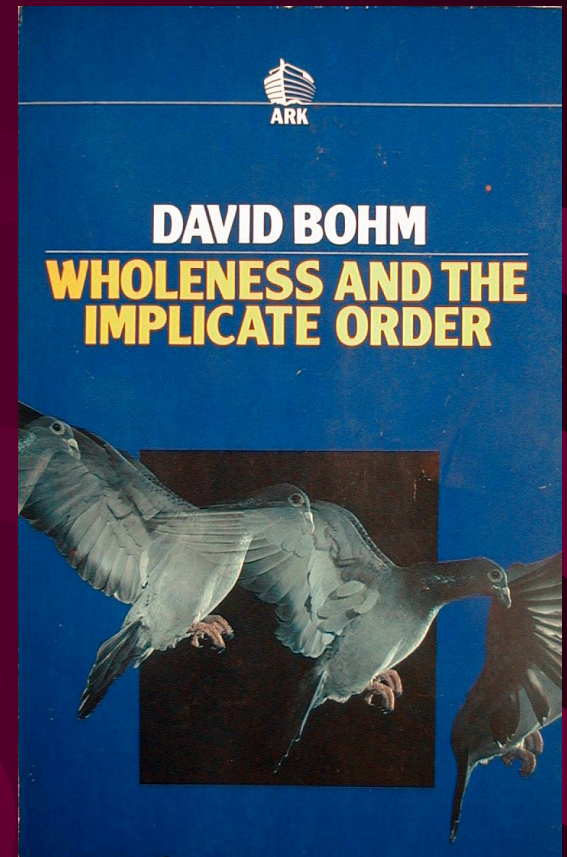


John Bell, Nobelpreis

Ganzheit & implizite Ordnung

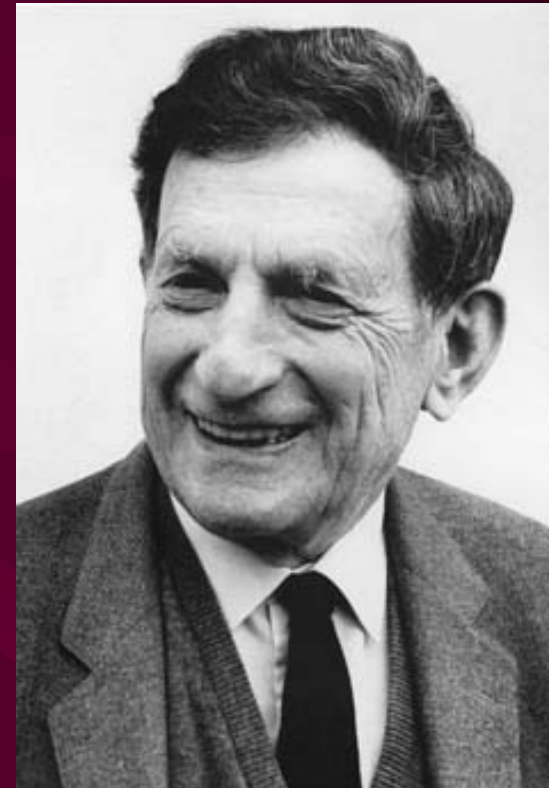
**D. Bohm: „Die implizite Ordnung –
Grundlagen eines dynamischen Holismus“
Dianus-Trikont-Verlag, München 1985**

Grenzen der Descartes-Kantschen-Vernunft
Relativitätstheorie und Quantentheorie
weisen auf neue Ordnung hin:
indeterministisch, nichtlokal, irreversibel
Neue Ordnung: Hologramme, Fraktale
Takens-Rekonstruktion nichtlin. Dynamik
Ordnung ist eingefaltet (rotierender Tinten-
tropfen in viskoser Flüssigkeit, Musik, etc
Theorie des Ganzen, nicht Theorie von Allem
Einheit von Beobachter und Universum
Beispiel: Traumzeit der Aborigines



Nichtlokales Quantenpotential

- Ωιρκυνγσωελλε Ψ υνδ
Τειλχηενδιχητε ρ
 $\Psi = P \exp(i\Omega/\eta)$ μιτ $P = \rho^{1/2}$
- ιν Σχηρ)δινγεργλειχηυνγ
 $-i\eta(\partial/\partial\tau)\Psi = [(i\eta\partial/\partial\theta)^2 + E_{\text{ποτ}}]\Psi$
- $\Rightarrow$ Βοημοσχη Γλειχηυνγ
- $\partial\Omega/\partial\tau = (\partial\Omega/\partial\theta)^2/2\mu + E_{\text{ποτ}} + \Theta$
μιτ νιχητλοκαλεμ Θυαντενποτεντιαλ
 $\Theta = (i\eta\partial P/\partial\theta)^2/2\mu P$
αβηTMνγιγων αλλεν Τειλχηεν $N=\rho\varsigma$ ιμ
βετραχητετεν ζολυμεν ς



David Bohm (1917-1992)

Relativierung der Vielheit: Verschränkung zu Ganzheiten

Die von Albert Einstein "spukhafte Fernwirkung" genannte Verschränkung ist eine der bizarrsten Eigenschaften der Quantenmechanik.

Sie verbindet zwei weit voneinander entfernte physikalische Objekte auf fast telepathische Weise zu merkwürdigen Ganzheiten.

R. Gingrich, Ch. Adami
Phys. Rev. Letters



Vier Wahrheiten

im polaren Denken:

„contraria sunt compementa“

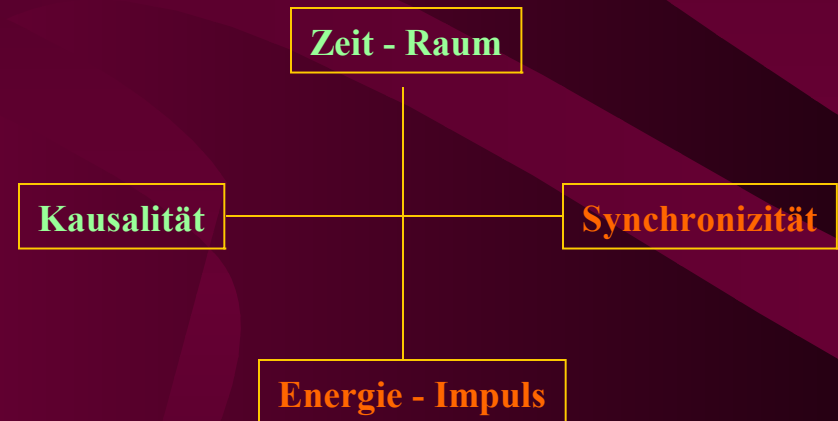
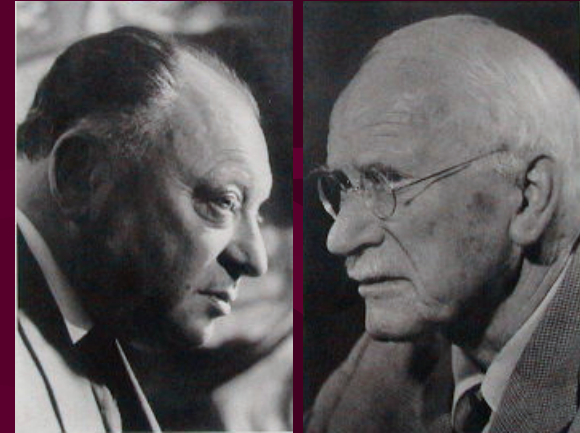
Pauli-Jung-Quarternio

- Ω. Παυλι & Χ.Γ. θυνγ

Ειν Βριεφωεχησελ, Σπρινγκερ ζερλαγ 1992
(Ω.Παυλι, Νοβελπρεισ)

- Θυαρτερνιο = Συμβολ
φ|ρ 4 υναβηTMνγιγε,
εινανδερ εργTMνζενδε Βεγριφφε
ζυρ Εινηειτ

- ζωισχηεν
ζερTMνδερυγγεν (Ραυμ – Ζειτ)
& Ερηαλτυγγεν (Ενεργιε –
Ιμπυλς) υνδ ζωισχηεν
ζιεληειτ (ΚαυσαλιτTMτ) &
Γανζηειτ (ΣψνχηρονιζιτTMτ)

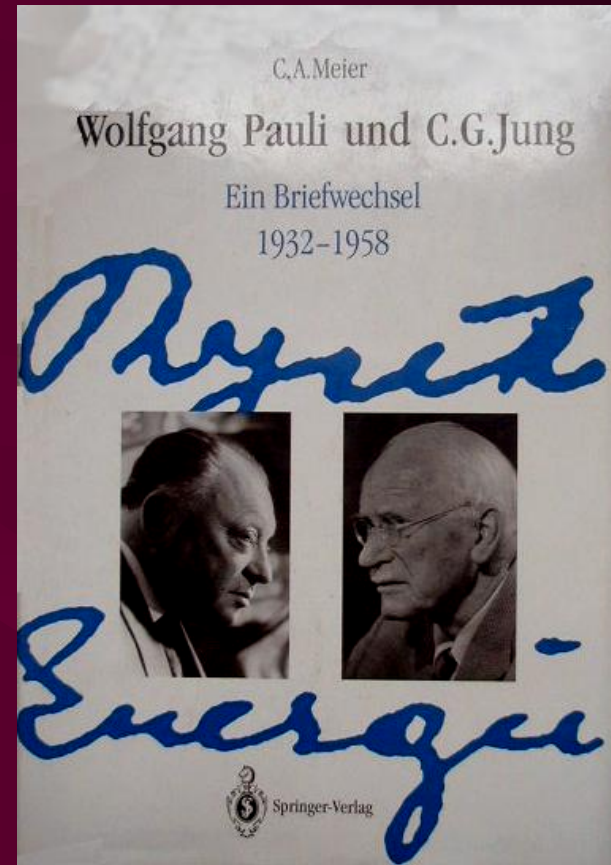


... psycho-physische Einheit

Μετρητὰ μετρητὰ σέθεν ἰχθὺς ψυχρο-
πηψισοχην Προβλεμὸν Σχηλ/σσελ
ζυρ γειστικὸν Γεσαμτσιτυατικὸν
υνσερερ Ζεϊτ.

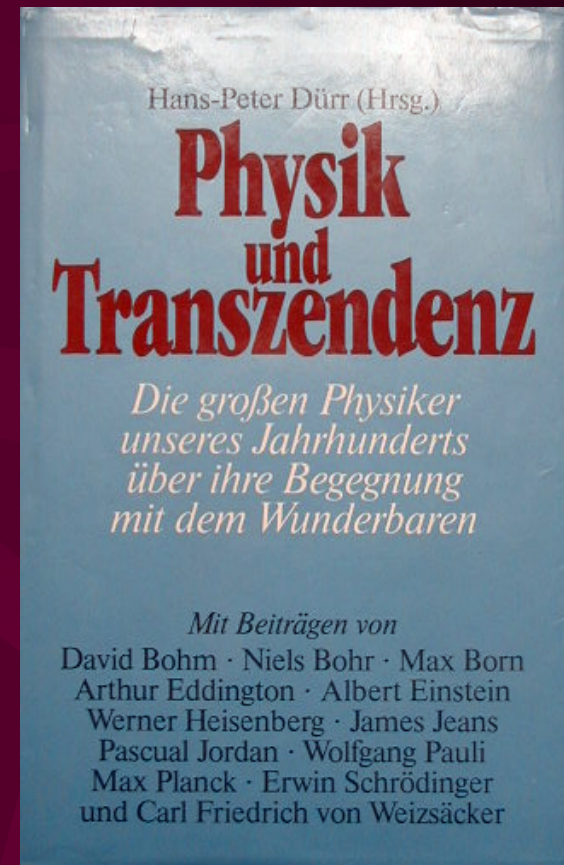
Διε ἀλλμTMηλιχη Αὐφφινδυνγ εἰνερ
νευεν (Ἄνευτραλεν^V) **ψυχρο-
πηψισοχην** **Εἰνηειτσοπραχη,**
διε συμβολισχη εἶνε υνσιχητβαρε,
ποτεντιελλε, νυρ ἰνδιρεκτ δυρχη ἱηρε
Ωιρκυνγεν ερσχηλιε^Vβαρε ΡεαλιτTM ζυ
βεσχηρειβεν ηατ, ερσχηειντ μιρ αυχη
αλσ εἶνε υνερλTMηλιχη
ζοραυσσετζυνγ φ|ρ δασ Εἰντρετεν δερ
νευεν **"ἡιερος γαμος"** (ἀλχηεμ.
Βεγριφφ φ|ρ **"Ἡείλιγε Ηοχηζειτ"**.

Ωολφγανγ Παυλι



... am Beginn des 21. Jahrhunderts

- *Μ. Πλανκ: Ρελιγιον υνδ Νατυρωισσενσχηαφτ*
- *Α. Εινστειν: Ρελιγιον υνδ Ωισσενσχηαφτ*
- *Ε. Σχηρ δινγερ: ρεδαντισχηε Γρυνδανσιχητ*
- *Χ.Φ. ω. ΩειζσTMχηκερ: Νατυργεσετζ υνδ Τηεοδιζεε*
- *Ω. Παυλι: Διε Ωισσενσχηαφτ υνδ δασ αβενδλTMνδισχηε Δενκεν*
- *Α. Εδδινγτον: Ωισσενσχηαφτ υνδ Μυστιζισμυς*



Finale

- *Διε ειγεντλιχηε Τυγενδ υνδ Σιννηαφτιγκειτ υνσερεσ Δασεινσ βεστεητ δαριν, Καυσαλιτ™τ υνδ Ακαυσαλιτ™τ, Τειλε υνδ Γανζηειτεν, ζεργ™νγλιχηκειτ υνδ Εωιγκειτ αλσ Υνβεγρειφλιχηεσ ζυ βεγρειφεν υνδ αλσ γλειχηωερτιγ βεστεηεν ζυ λασσεν.*
- *Δασ Ζυσαμμενφαλλεν πον Γεγενσ™τζεν, διε „χοινχιδεντια οπποσιτορυμ“, ιστ φενερ Ζυστανδ υνσερεσ Βεαυσστσεινσ, ιν μαν διεσ ερκενντ υνδ λεβτ: δεν μαν Ταο, Σειν οδερ Νιρῶανα–Σατορι νενντ.*

Mein Credo

- Γανζηιτλιχη Ερκενντις ιστ
υνπεργTMνγλιχη, σιε Ιβερωινδετ
ναχη Πλατον σογαρ δεν Τοδ.
- Ωιρ σινδ αυφ διε Ωελτ γεκομμεν,
υμ διεσε Γανζηιτ ιν Σχη Ινηιτ,
Ωαηρηιτ υνδ Γ|τε (ιμ Ανδερεν)
ζυ ερφαηρεν υνδ ζυ λεβεν.

