

Albert Einstein, 1905: Ein 3-Gänge Menü

In Zusammenarbeit mit dem
Deutschen Museum Bonn
6. März, 2006

Herbi Dreiner

Theoretische Physik
Physikalisches Institut
Universität Bonn



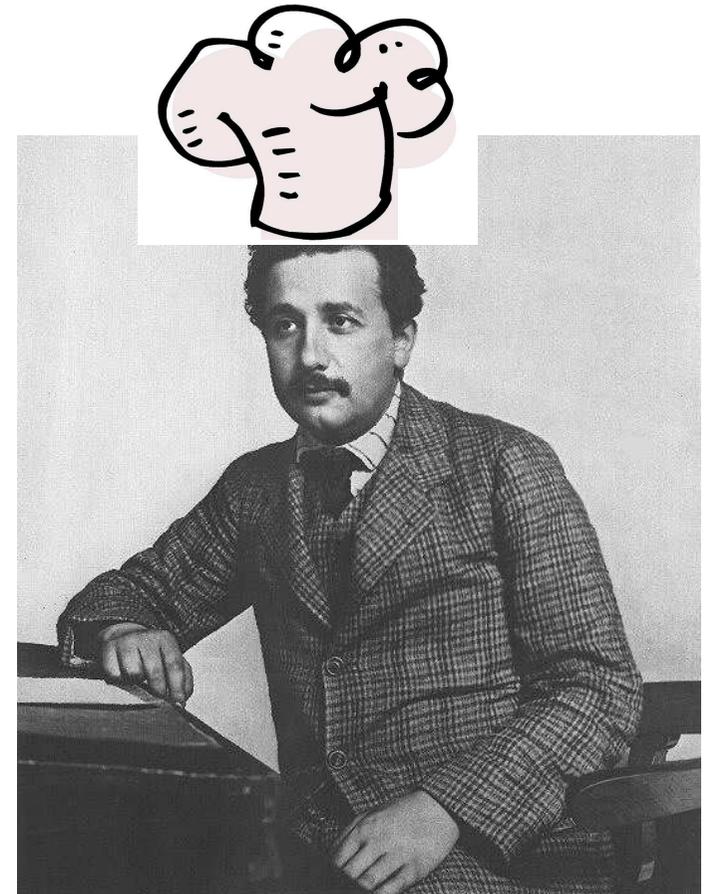
Unterstützung von: Michael Kortmann, Markus Bernhardt

Albert Einstein, 1905: Ein 3-Gänge Physik-Menü

In Zusammenarbeit mit dem
Deutschen Museum Bonn
6. März, 2006

Herbi Dreiner

Theoretische Physik
Physikalisches Institut
Universität Bonn



Unterstützung von: Michael Kortmann, Markus Bernhardt

Speiseplan

En Jross us de KÜch

En Fetttröpfchen an Atomarer Zitterbewegung

En Photon, eenjeschlagen op en Metallplaat

Wat relativ janz spezielles, äver flott

Jez sen Sie draan

Speiseplan

Einstein 1905: Biografisches

Brownsche Molekularbewegung

Photoelektrischer Effekt

Spezielle Relativitätstheorie

Fragen, und vielleicht auch Antworten

Einstein 1905 – Biographisches

- Geboren: 14. März, 1879, in Ulm, Württemberg
- Juni, 1880, Umzug nach München



Pauline Einstein, geb. Koch



Hermann Einstein

KINDHEIT in MÜNCHEN



Ältestes bekanntes Bild Einsteins



Mit Schwester Maja (Maria)

1888 → Luitpold Gymnasium, München

- Nicht glücklich in der Schule
- Schon früh Autodidakt
 - Mit 12 Jahren: Euclid
 - 12 - 16: lernt selbstständig
Differential- & Integralrechnung
- Einzigartige Eigenständigkeit
- 1894: Familie zieht ohne ihn nach Italien
- 1895: auf eigenen Entschluss verlässt er die Schule und zieht ebenso nach Italien
- Lernt dort selbstständig für die Aufnahmeprüfung an der ETH Zürich





Der Erziehungsrat des Kantons Aargau

urkundet hiemit:

Herr Albert Einstein, aus Bollm.

geboren den 14. März 1879

besuchte die aargauische Maturaschule & zwar die III. & IV. Klasse
der Gewerbeschule.

Nach abgelegter schriftl. & mündl. Abolusitätsprüfung am 18. 19. & 21.

September sowie am 30. September 1896, erhielt derselbe folgende Noten:

1. Deutsche Sprache und Literatur	5
2. Französische	3
3. Englische	—
4. Italienische	5
5. Geschichte	6
6. Geographie	4
7. Algebra	6
8. Geometrie	6
9. Darstellende Geometrie	6
10. Physik	6
11. Chemie	5
12. Naturgeschichte	5
* 13. Im Naturzeichnen	4
* 14. Im technischen Zeichnen	4

* Können die Sachverständigen

Gestützt hierauf wird demselben das Diplom der Reife erteilt:

Aarau den 3. Oktober 1896



Im Namen des Erziehungsrates,
Der Präsident:

[Signature]
Vizepräsident
[Signature]

1895 - 1896 Kantonsschule Aarau



1896 - 1900 ETH Zürich



Einstein 1900

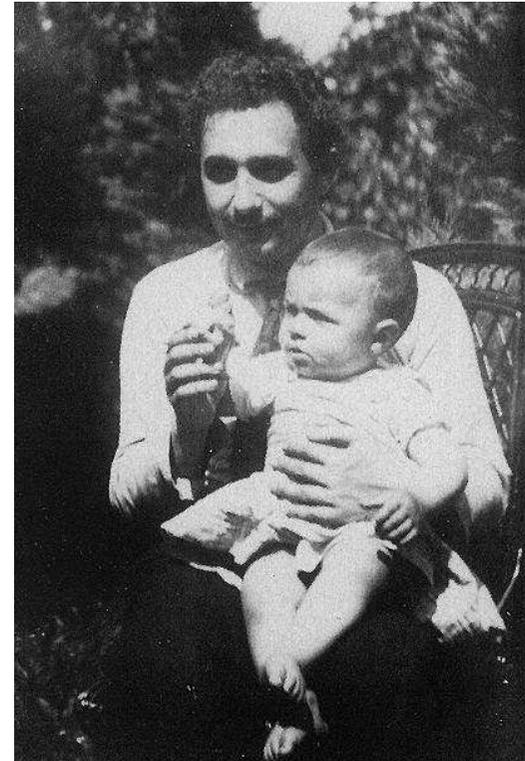


ETH Hauptgebäude

Familien Gründung



1903 Hochzeit mit Mileva Marić



Einstein mit Sohn ~1904

1902 - 1909 Bern Patentamt



Einstein - 1905



Eidgenössisches Amt für geistiges
Eigentum um 1900

**LOS GEHT'S UND GUTEN
PHYSIK-APPETIT!**

1. Gang: Brownsche Molekularbewegung

“Die Atoome san Escht”

- 1827 Entdeckung durch Botaniker Robert Brown
- Detaillierte Beobachtungen, schließt biologische Ursachen aus.
- Aber was soll man hier messen? **Einstein!**



Robert Brown

1827 - 1900: Beobachtungen

Experimentell Ausgeschlossene Ursachen:

(a) Temperatur Unterschiede

(b) mechanische Störungen

(c) Licht

(d) Konvektionsströme

·
·
·

Es ist also Physik und der Sache inhärent.

Sehr kurze Geschichte des Atombegriffs

- 19 Jh. Atom \longleftrightarrow Molekül
 Physik \longleftrightarrow Chemie
- 1808 Dalton: 18 Elemente als Bausteine der Materie



Dalton

- 1811 Avogadro: Gleiches Volumen für verschiedene Gase hat gleiche ZAHL von Atomen/Molekülen.

1 Mol \longrightarrow 12 g Kohlenstoff, etwa 22 Liter

$$N_A = \text{Zahl}(1\text{Mol}) = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ Atome}$$

- $N_A \longleftrightarrow$ Atomgröße
 - Gas \longrightarrow Flüssig, 1000x dichter, dichtgepackt
 - Atom-radius $\approx 10^{-10}$ meter
 - **Einstein**



Avogadro

Kinetische Gastheorie



Clausius (Bonn)



Maxwell



Boltzmann

- Atomeigenschaften \longrightarrow Makroskopische Größen
- Entropie \longrightarrow Zeitumkehr?
- viele neue Methoden Atomradius zu bestimmen. \longrightarrow **Experiment**

Kin. Gastheorie → Brownsche Molekular Beweg.

Osmotische Druck, van 't Hoff

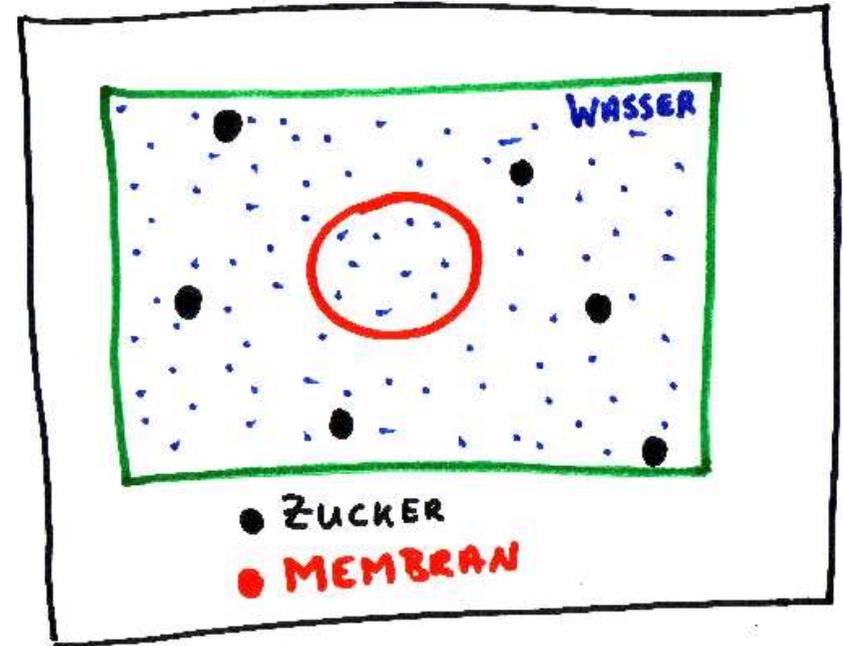
- Druck auf Membran ist so als ob Zuckermoleküle alleine da wären
- Pfeffer (Bonn): baut Membranen; vermutet Zusammenhang zwischen osm. Druck und Zahl/Größe der Zuckermoleküle → Einstein Doktor Arbeit, 1905



van 't Hoff



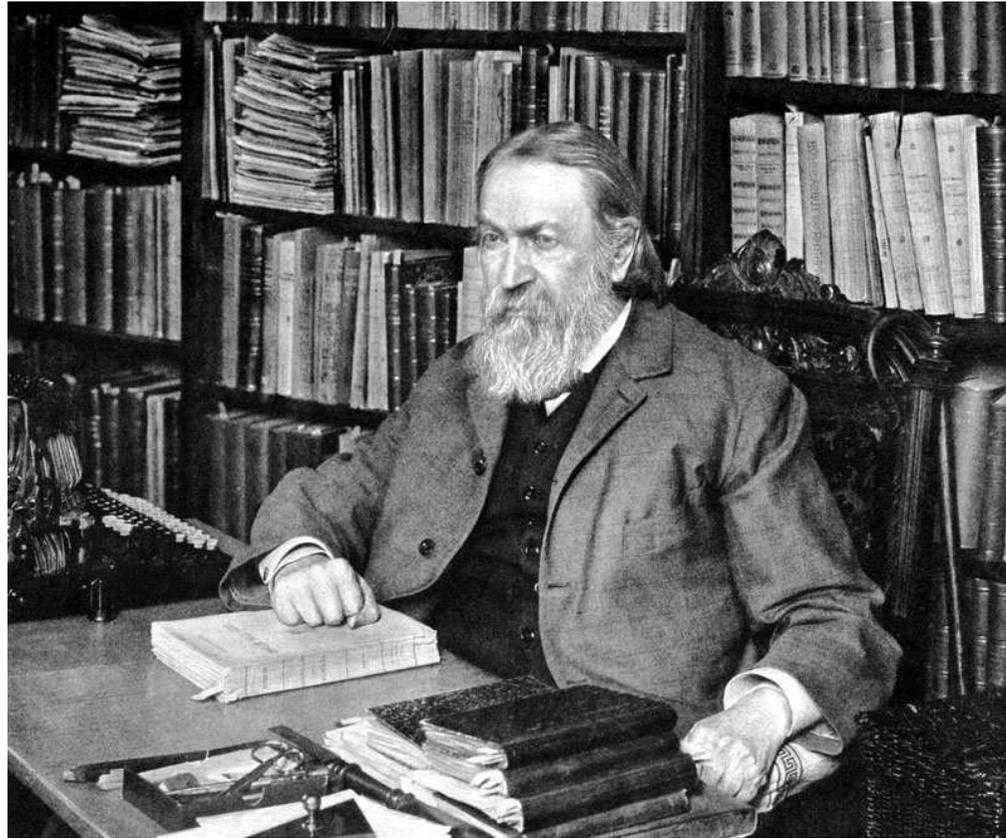
Pfeffer



1895 Anti-Atome: Energistik



Ostwald



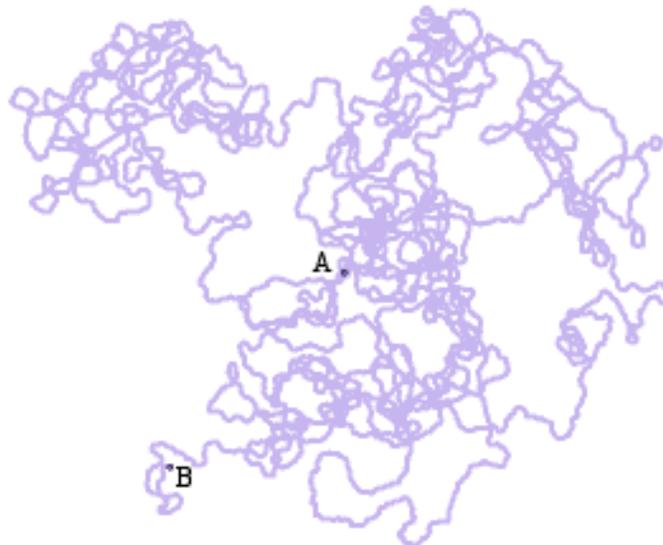
Mach

Einstein – Brownsche Molekular Bewegung

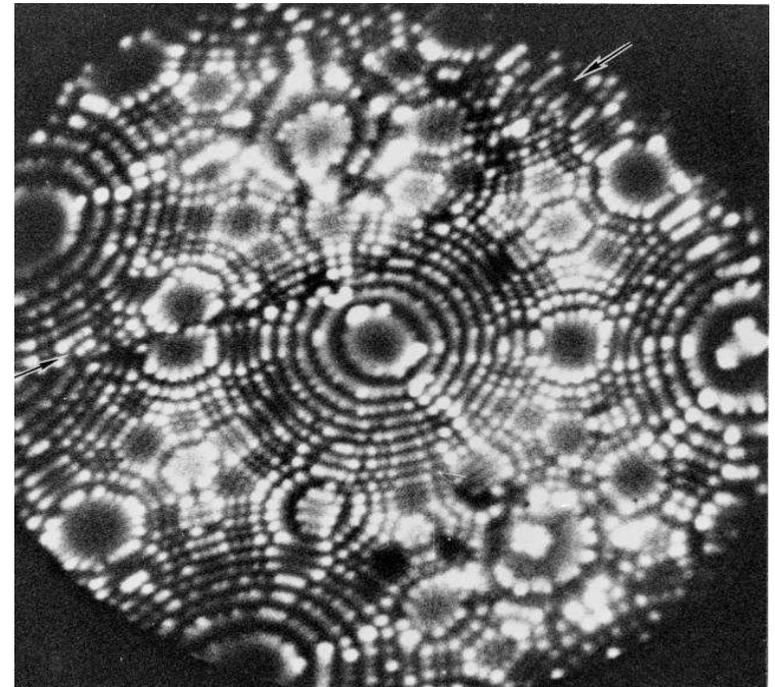
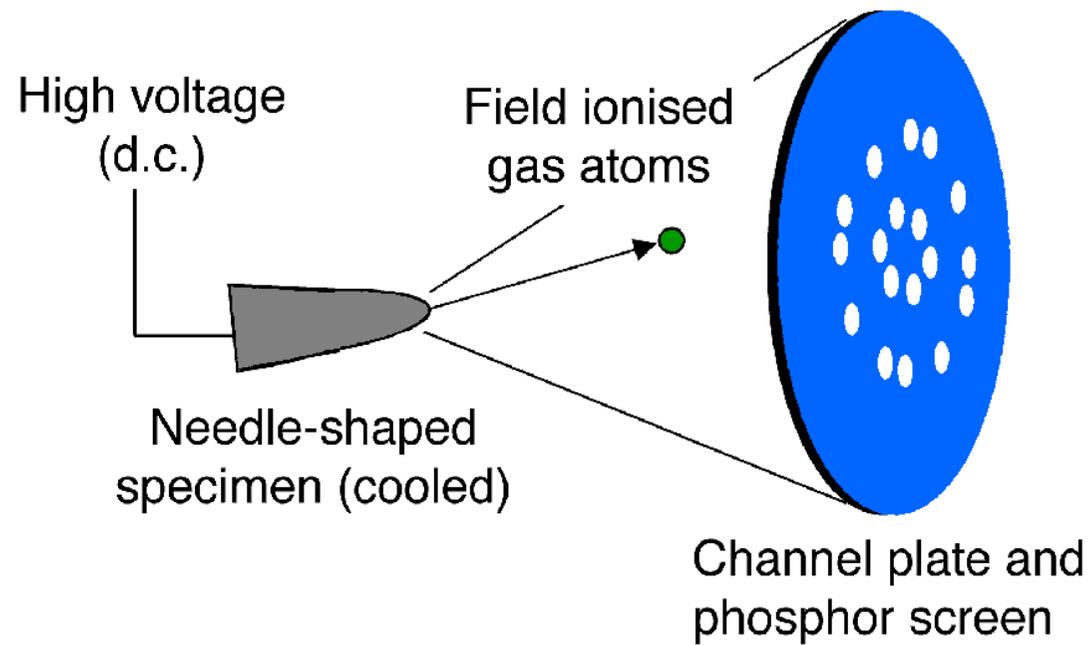
- Fetttröpfchen sind **Suspension**, nicht **Lösung**
- **Einsteins Annahmen**
 - (1) Suspension verhält sich wie eine Lösung: **unabhängig**
 - (2) Behandle Brownsche Molekular Bewegung als **DIFFUSION**
 - Fetttröpfchen **diffundieren** als unabh. Gas, mit Viskosität **ν**

Einstein – Brownsche Molekular Bewegung

- Diffusionskonstante: $D \sim \frac{1}{V \cdot (N_A \cdot R_{\text{Fett}})}$
- Diffusion ist aber eine “Zufallsbewegung” → **Betrunkener**
- Wie weit geht der Betrunkene: $|\text{Entfernung}| = \sqrt{\langle x^2 \rangle} = \sqrt{2 \cdot D \cdot (\text{Zeit})}$
- Messe **Entfernung** → messe N_A



Feldemissions Mikroskop



Ende 1. Gang

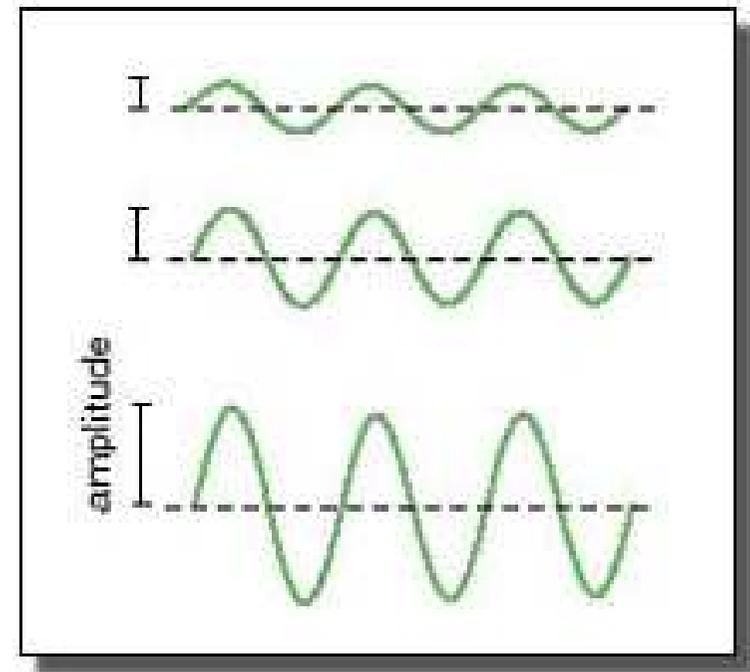
2. Gang: Photoelektrische Effekt

Photoelektrische Effekt

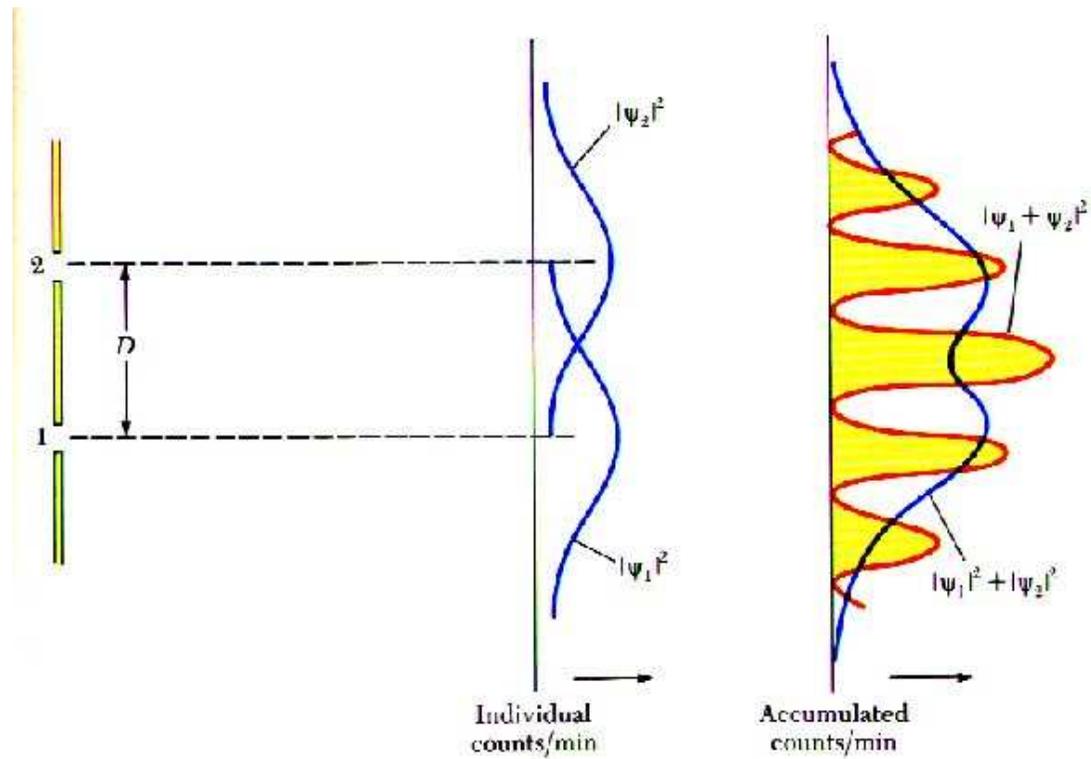
Grundfrage: Wie wechselwirkt **LICHT** mit **MATERIE**?

Licht als Welle:

- Amplitude
 - Wellenlänge λ , Frequenz f
 - Geschwindigkeit: $c = \lambda \cdot f$
 - Beugung, Interferenz
-
- **ENERGIE:** in der Amplitude



Beugung und Interferenz



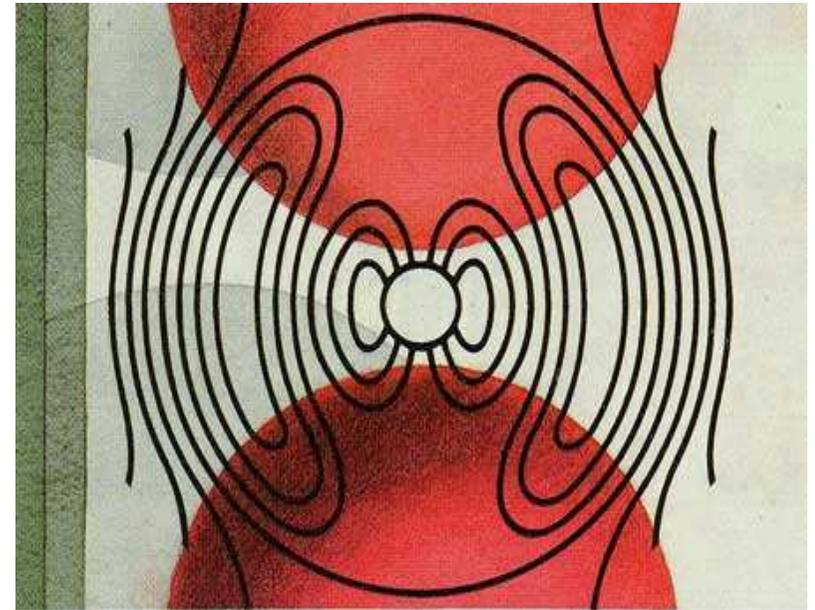
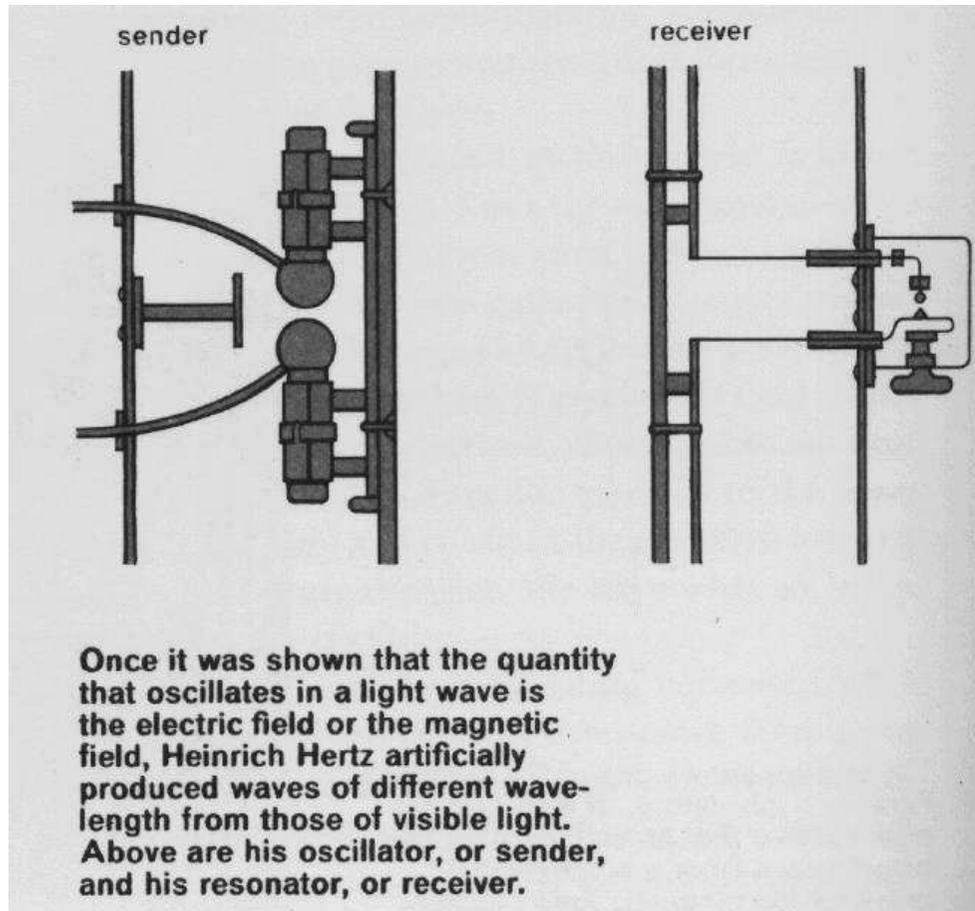
Photoelektrische Effekt



Entdecker: 1887 Heinrich Hertz (KA/Bonn)

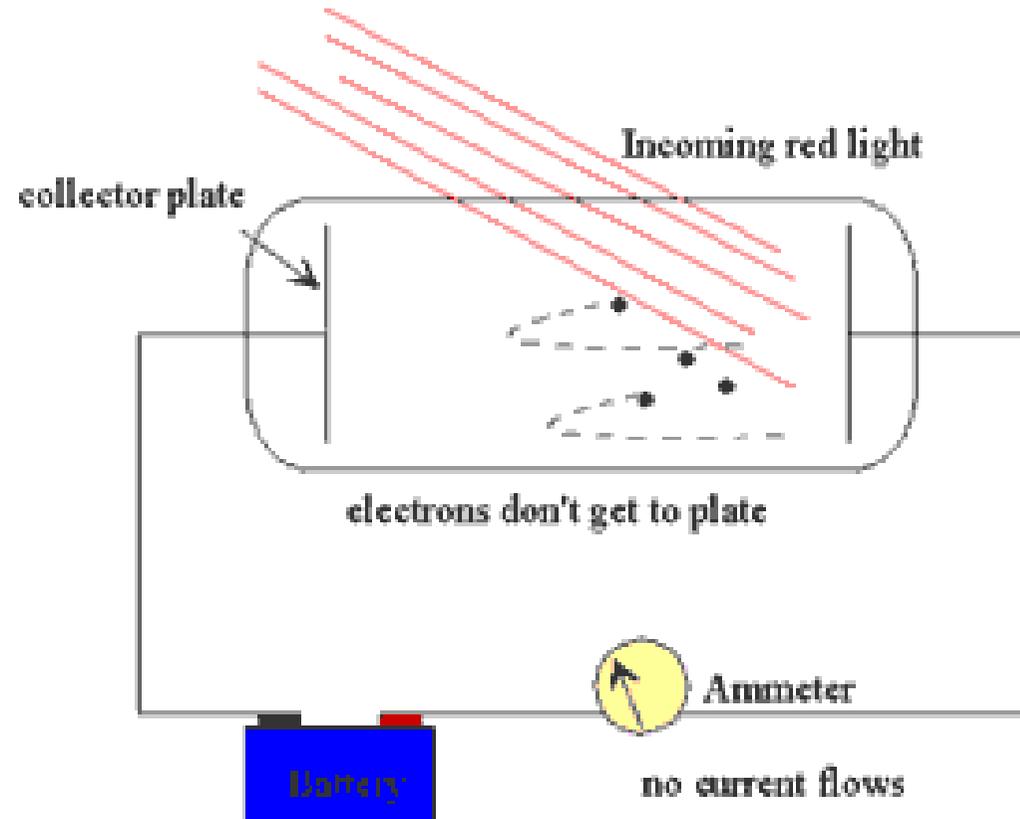
Photoelektrische Effekt

- 1887 Hertz: Entdeckung



- 1899 Thompson: Es sind Elektronen
- 1902 Lenard (Bonn): Lichtintensität um Faktor 1000 variiert.
Elektronenergie nicht im geringsten beeinflusst!

Photoelektrische Effekt



- 1905 nur bekannt, dass Elektronenergie mit Lichtfrequenz steigt

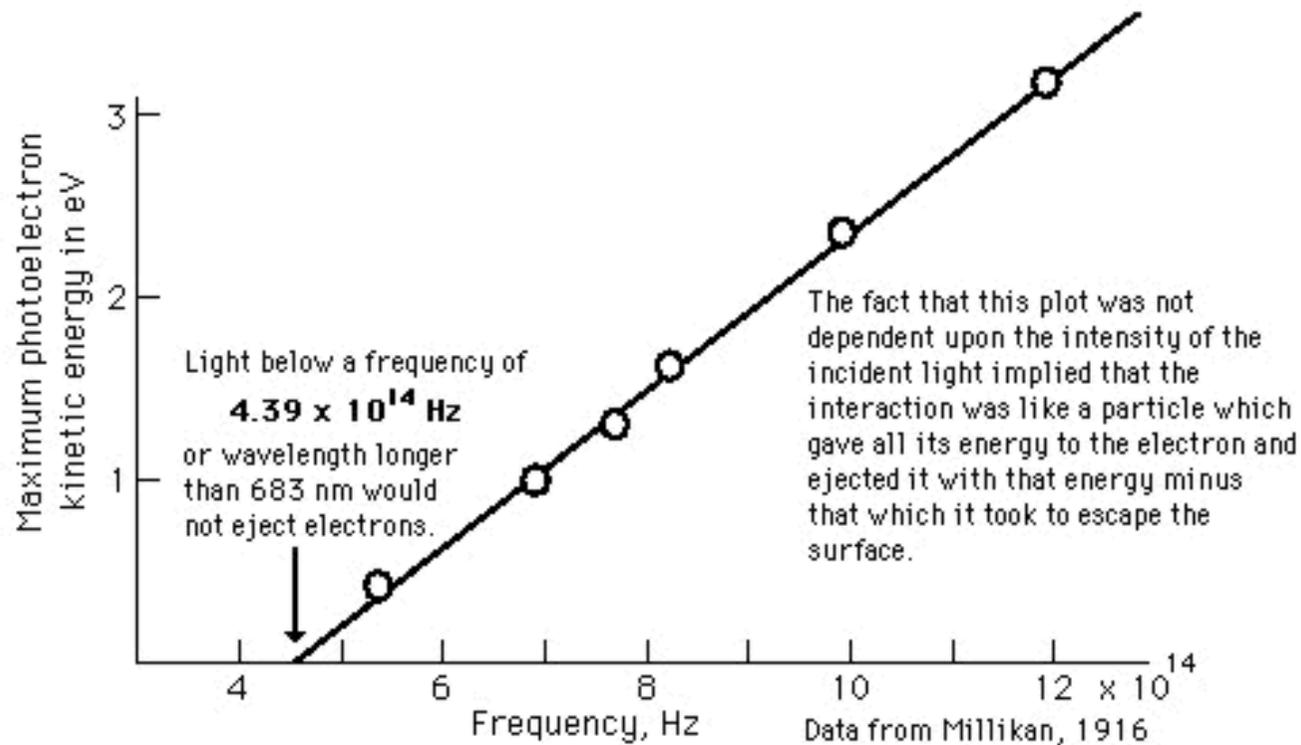
1905 Einstein

- Absolut keine Präzidenz...der Mann ist 26 J alt, alleine im Patentamt
- **Einstein:** „Licht wechselwirkt **NICHT** wie eine Welle“
- **Licht wechselwirkt wie ein Teilchen: Photon** (feste Energiepakete)

$$\text{Energie(Lichts)} = h \cdot (\text{Frequenz})$$

- h Plancksches Wirkungsquantum
- Daraus folgt: $\text{Energie(Elektrons)} = h \cdot (\text{Frequenz}) - P$
- Steigung **universell**, unabhängig von welchem Metall
- P : Energie, die man braucht um das gebundene Elektron aus dem Metall zu befreien

Photoelektrische Effekt



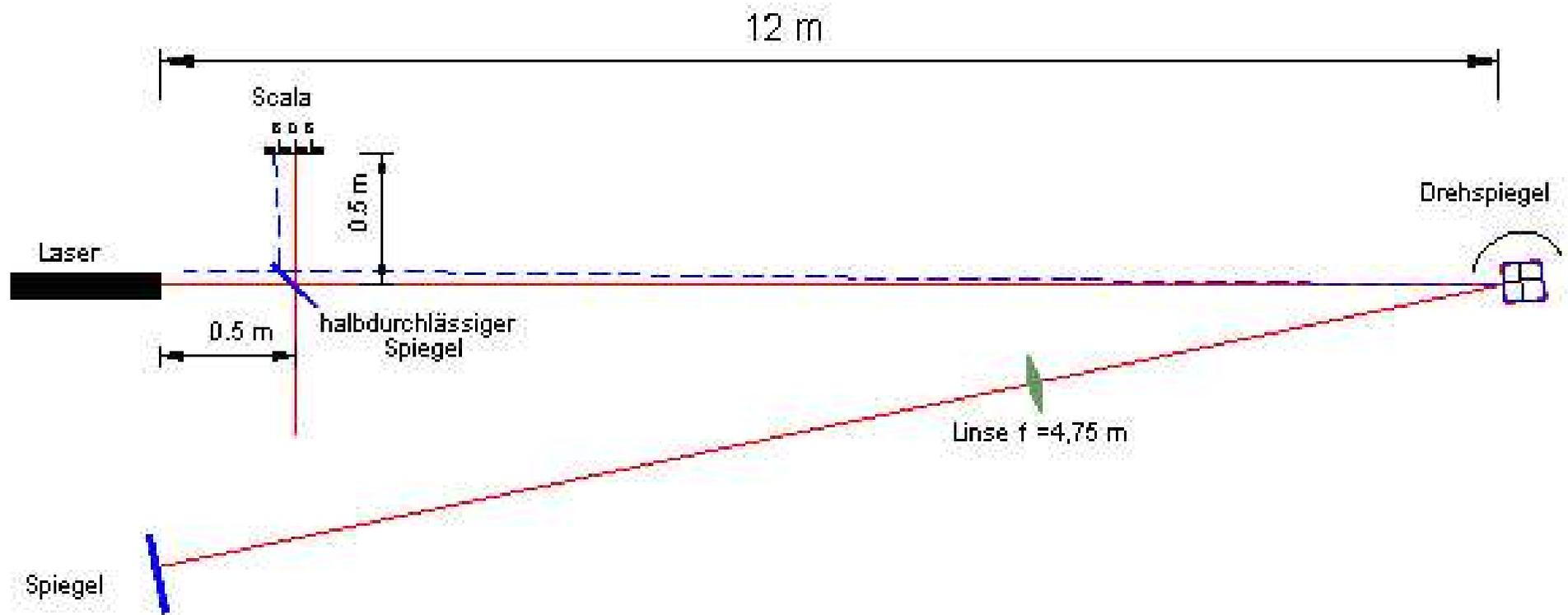
Ende 2. Gang

3. Gang: Leichter Nachtisch Spezielle Relativitäts Theorie

mit der Lichtgeschwindigkeit, und so

Äber, was kann man den da vorführen?

Messung der Lichtgeschwindigkeit



Spezielle Relativitäts Theorie

Relativität

- Wie schnell kann ein Profi einen Baseball werfen? Und ich? Schneller?
- Welche Bahnkurve beschreibt der Ball?
- Kann ich vor dem Ball weglaufen?

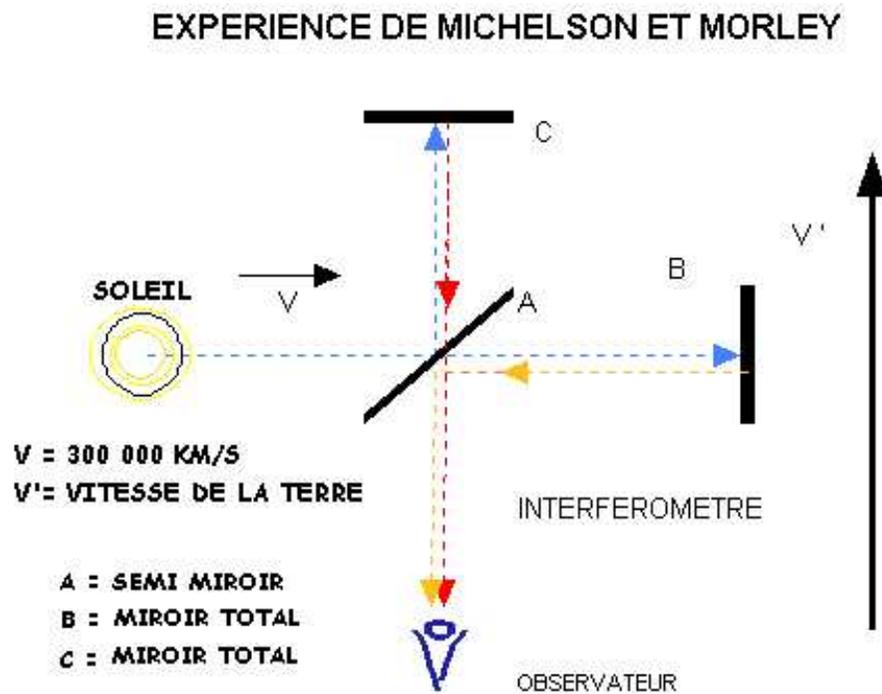
Wellen

- gekoppelte Pendel — Schwingung breitet sich aus
- Wasserwelle
- Schallwelle.....anderer Träger, andere Schallgeschwindigkeit
- Pendel, Wassermoleküle, Luftmoleküle.....definieren ein Bezugssystem
- Kann vor Tsunami — im Prinzip — weglaufen.

Licht als Welle

- Was ist der “Träger” beim Licht? — im 19 Jh Äther
- Maxwell Gleichungen der Elektrodynamik
 - H. Hertz Wellennatur hergeleitet.....und exp. nachgewiesen
 - Äther kommt nicht vor
 - anscheinend, Lichtgeschwindigkeit = konstant

1887 Michelson-Morley Experiment



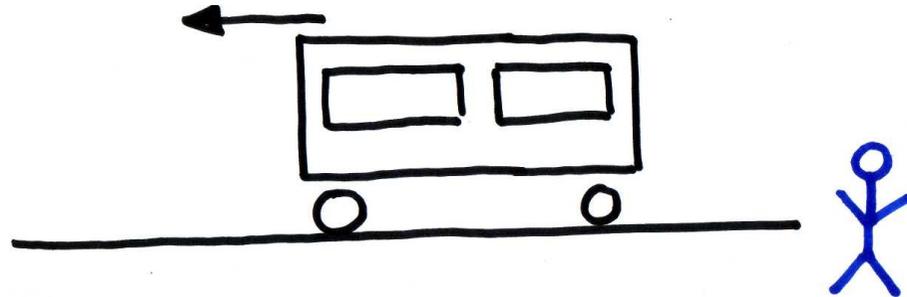
Michelson (1928)



Morley

EINSTEINS POSTULATE

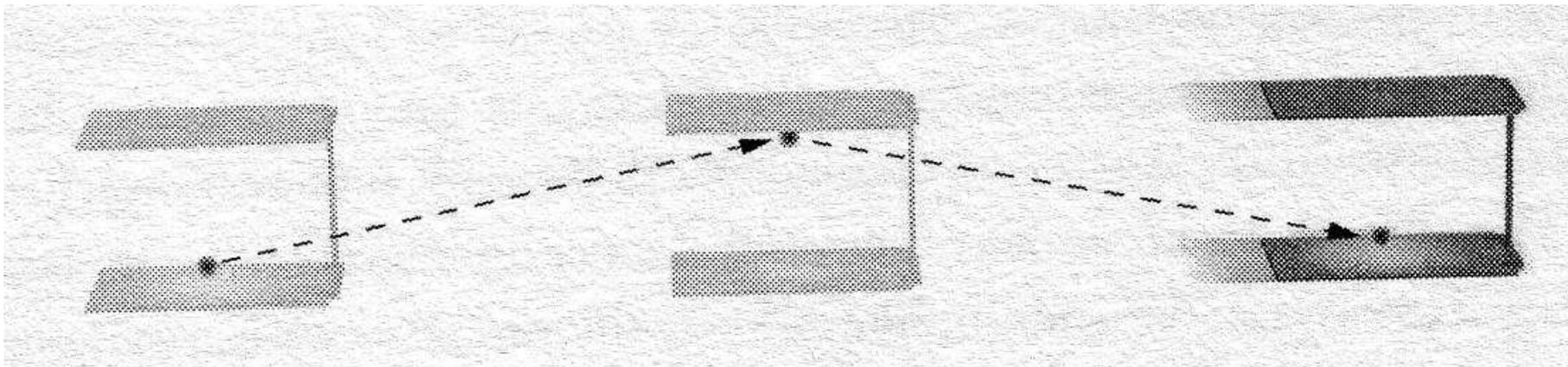
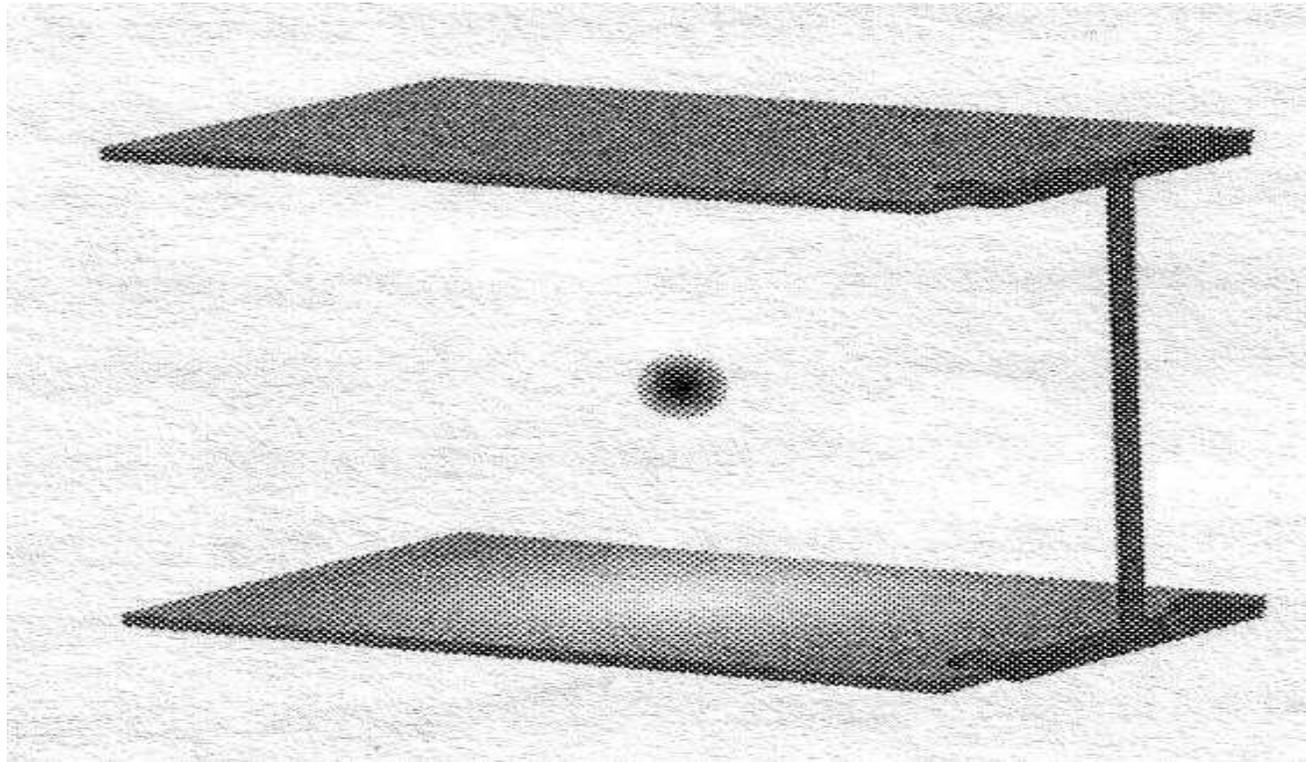
- Die physikalischen Gesetze - *egal* was sie sind - sind absolut identisch für zwei Beobachter, die sich mit konstanter Geschwindigkeit relativ zueinander bewegen.



- Die Lichtgeschwindigkeit ist
 - (a) in allen Bezugssystemen gleich
 - (b) die absolute Höchstgeschwindigkeit



Bewegte Uhren



Ende 3. Gang

Zum Schluss noch eine Tasse Tee

