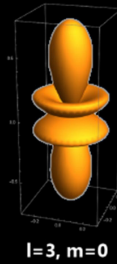
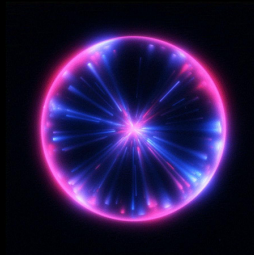
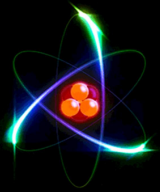


Quantenanalogie - Teil 1

PD Dr. Steffen Danzenbächer



$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left(\sin \vartheta \frac{\partial \Psi}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \varphi^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left[E + \frac{Z \cdot e^2}{4\pi \epsilon r} \right] \Psi = 0$$

001

Frage :

**Sind Materiewellen
vergleichbar mit
anderen Wellen ???**

Antwort :

Ja, sind sie ...

002

Wellenphänomene

- **Wasserwellen**



003

Wellenphänomene

004

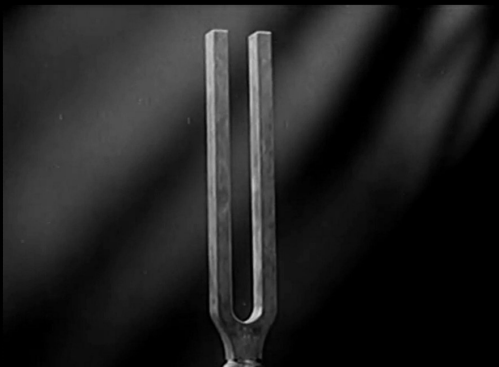
- **Wasserwellen**
- **Seilwellen**



Wellenphänomene

005

- **Wasserwellen**
- **Seilwellen**
- **Schallwellen**



<http://youtu.be/cK2-6cgqgYA>

Wellenphänomene

006

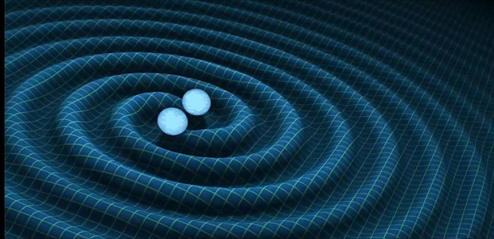
- **Wasserwellen**
- **Seilwellen**
- **Schallwellen**
- **Elektromagnetische Wellen**



Wellenphänomene

007

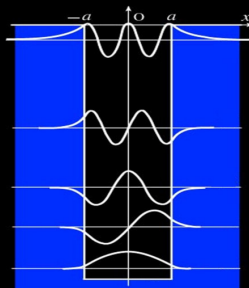
- **Wasserwellen**
- **Seilwellen**
- **Schallwellen**
- **Elektromagnetische Wellen**
- **Gravitationswelle**



Wellenphänomene

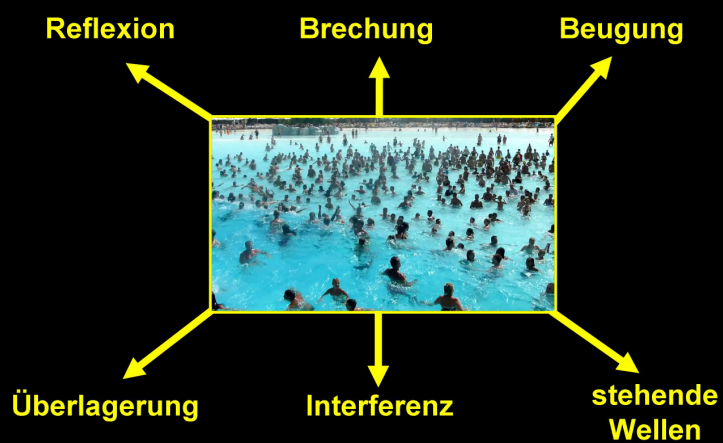
008

- **Wasserwellen**
- **Seilwellen**
- **Schallwellen**
- **Elektromagnetische Wellen**
- **Gravitationswelle**
- **Spindichtewellen**
- **Ladungsdichtewellen**
- **Materiewellen** $\psi(x, t)$



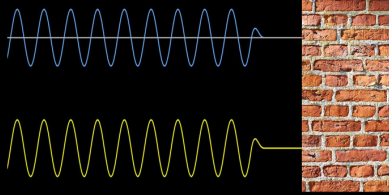
Wellenphänomene

009

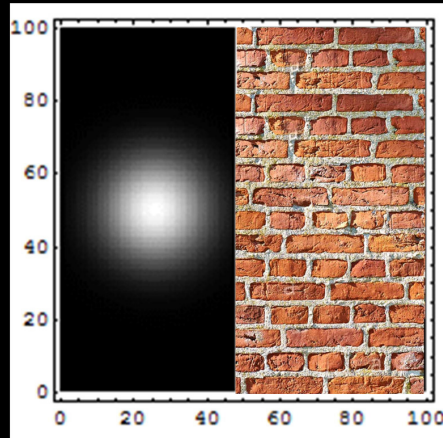


Stehende Wellen bei Reflexion :

Ebene Welle:



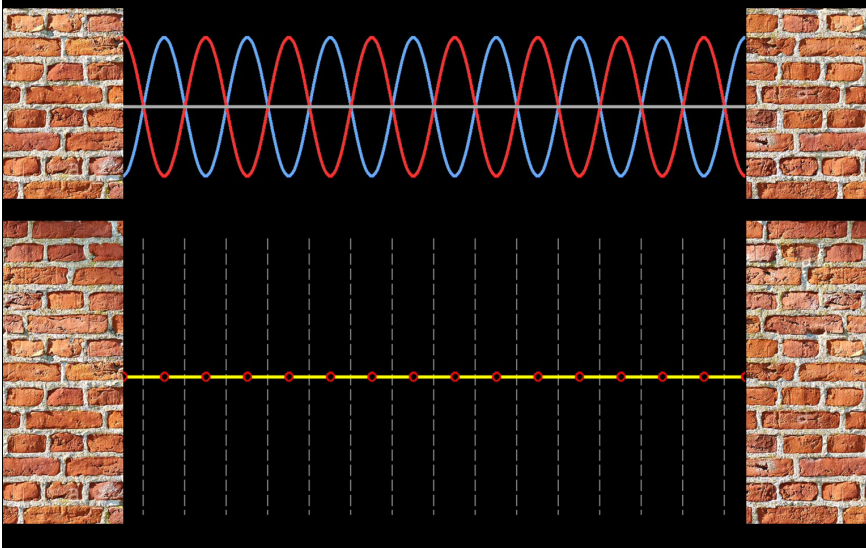
Wellenpaket: $|\psi(\vec{r}, t)|^2$



010

Stehende Wellen :

(1. dim.)



011

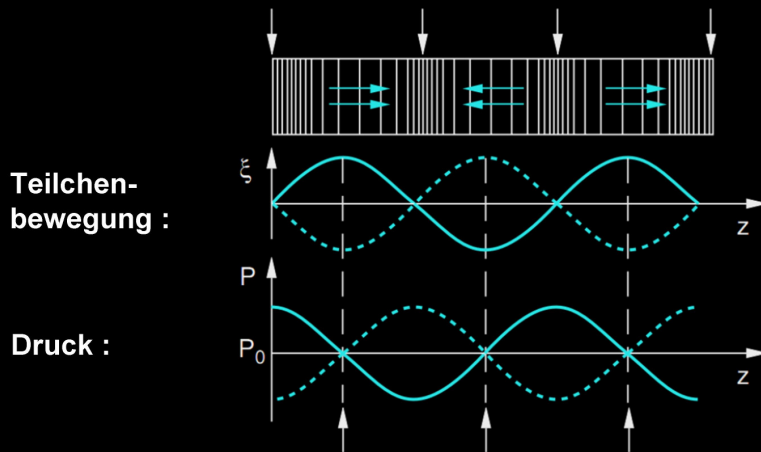
Rubenssches Flammenrohr



012

Besonderheiten bei stehenden Schallwellen

013



Punkt (1) zum Merken :

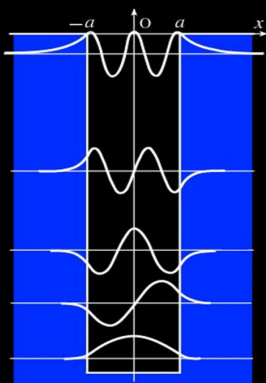
014

Wellen bilden stehende Wellen, wenn man sie einsperrt ...

Punkt (2) zum Merken :

015

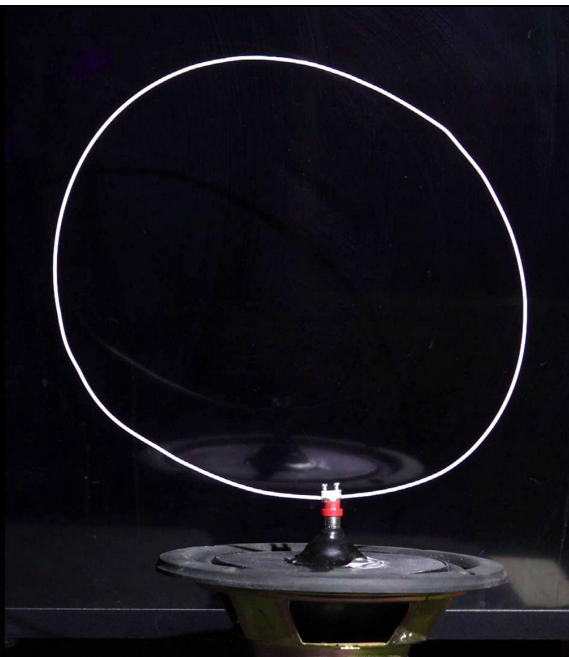
Stehende Wellen sind immer gequantelt ...



1 dim. Beispiele:

Schwingender
Ring ...

0.000
(Frequenz in Hz)



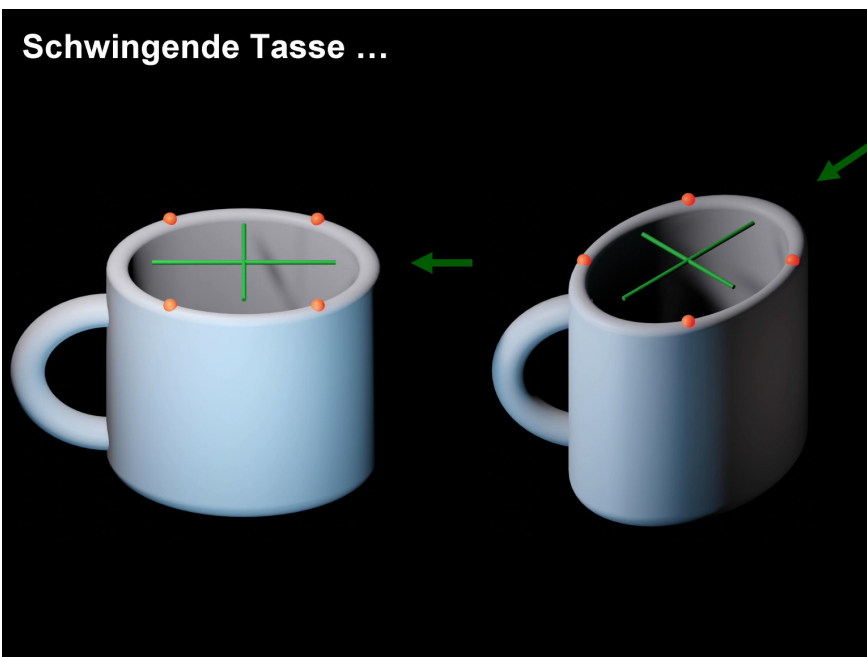
016

Schwingende Tasse ...



017

Schwingende Tasse ...



018

2 dim. Beispiele:

Chladnische Klangfiguren



https://www.youtube.com/watch?v=zr-9K_RVLBI

019

Punkt (3) zum Merken :

**Wie stehende Wellen
aussehen, hängt
hauptsächlich von
der Form und Größe
des Gefäßes ab ...**

020

Schwebender „Wassertropfen“ auf glühender Herdplatte



021

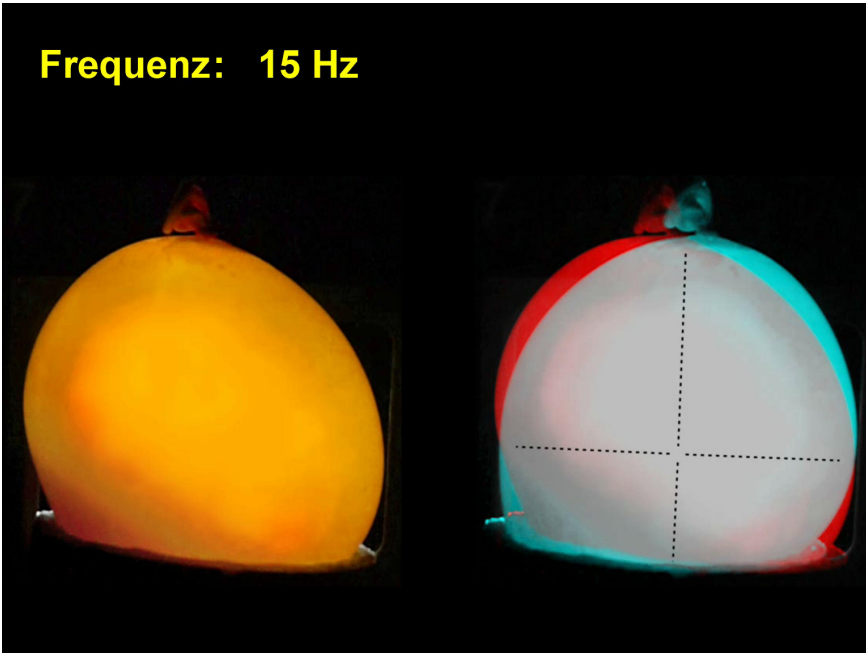
Schwingende Seifenblasen ...

022



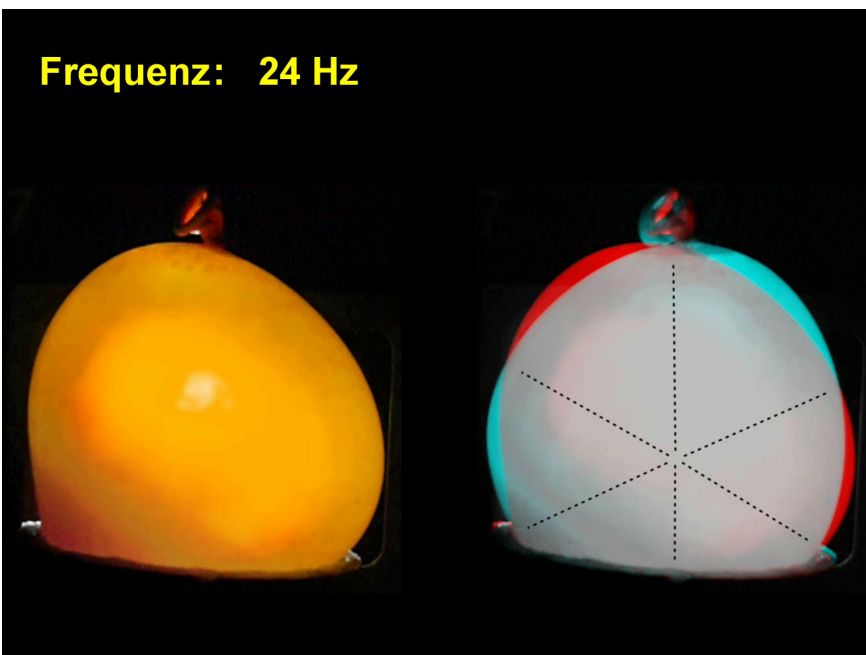
Frequenz: 15 Hz

023

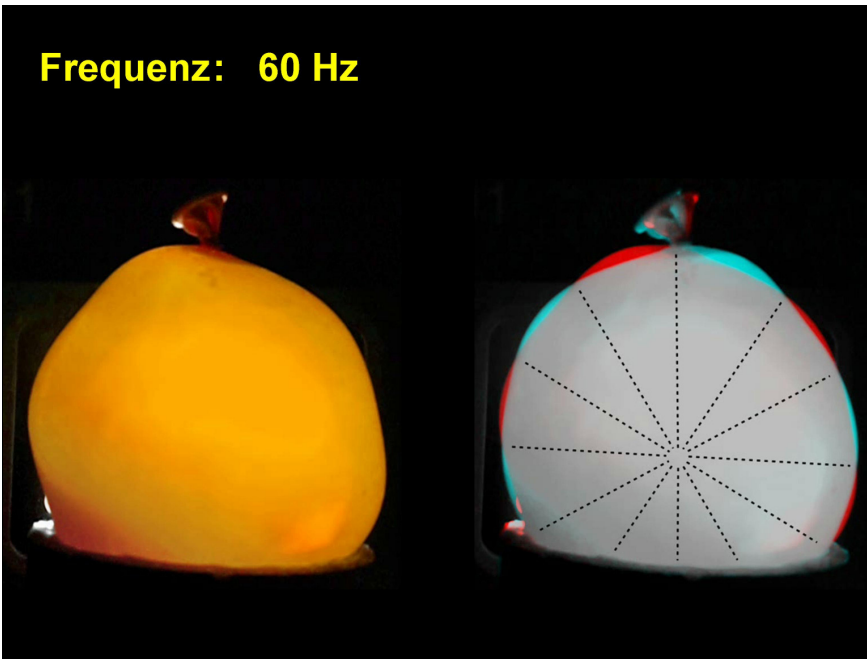


Frequenz: 24 Hz

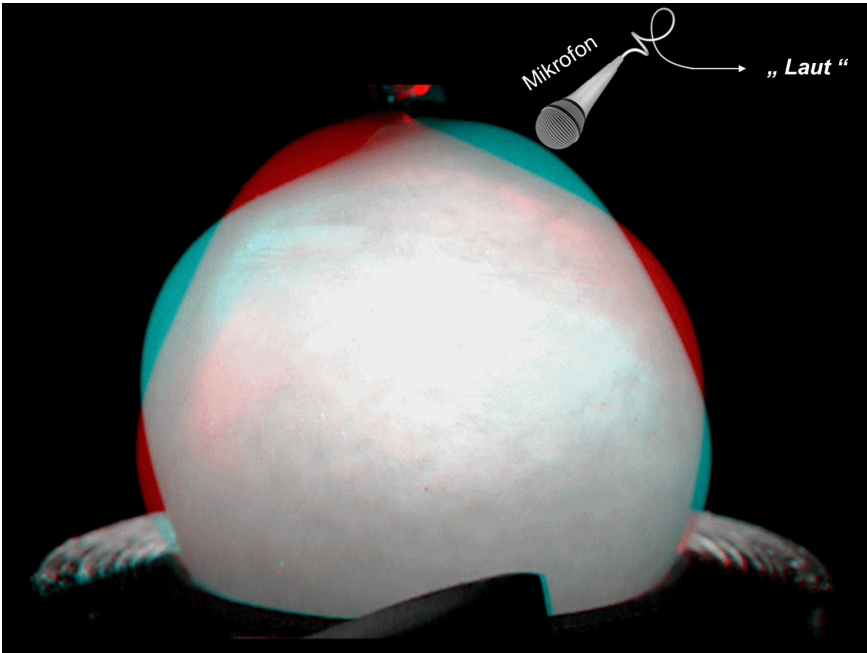
024



Frequenz: 60 Hz



025



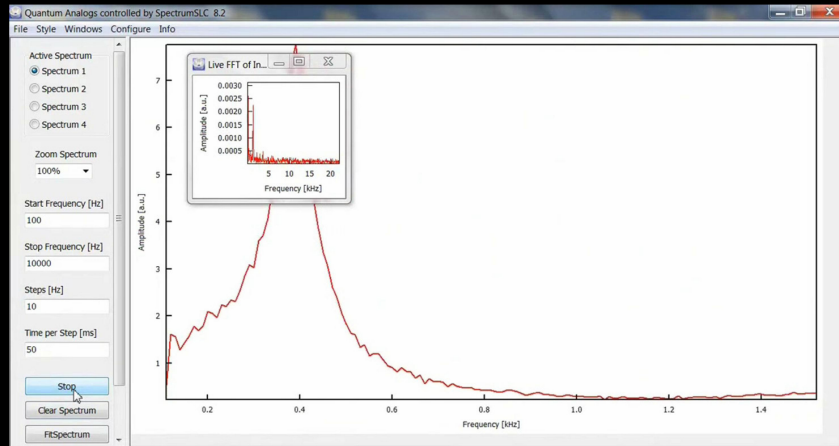
026

Physikalisches Praktikum

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

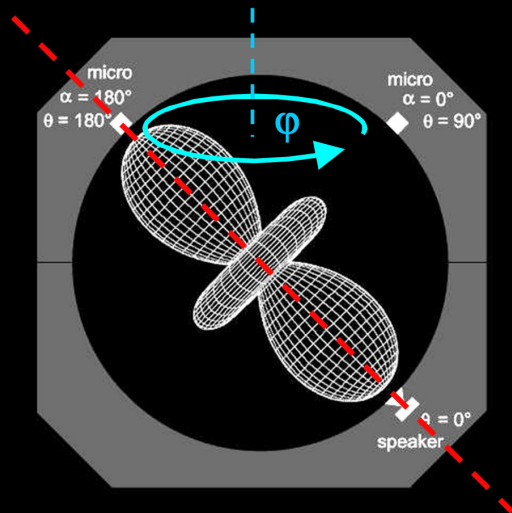


027

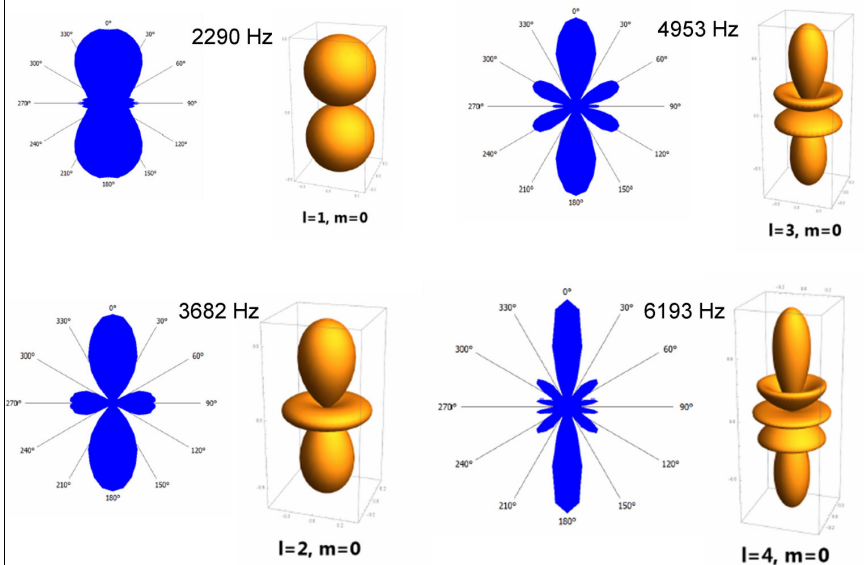


<https://www.youtube.com/watch?v=mytiwXNiBoI>

Kugelförmiger Resonator ...

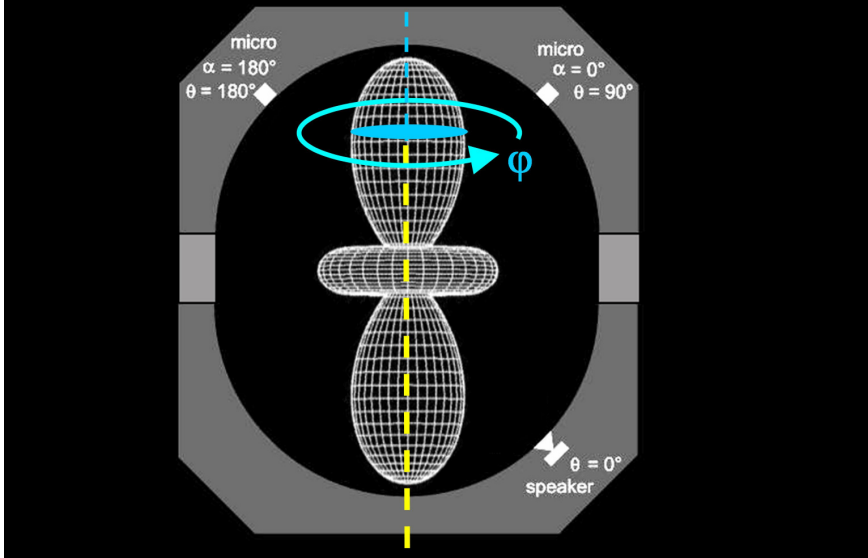


Stehende Schallwellen / Atomorbitale



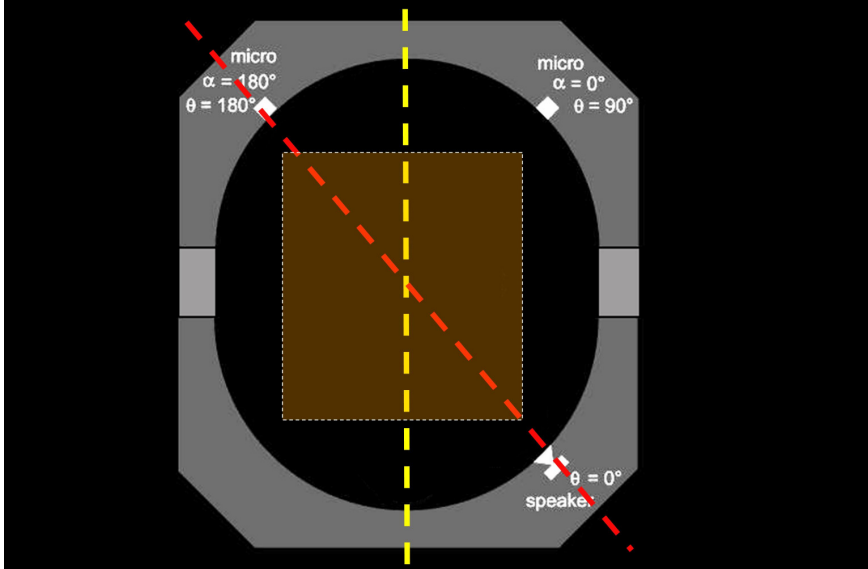
Symmetriebrechung ...

031



Symmetriebrechung ...

032



Symmetriebrechung ...

033

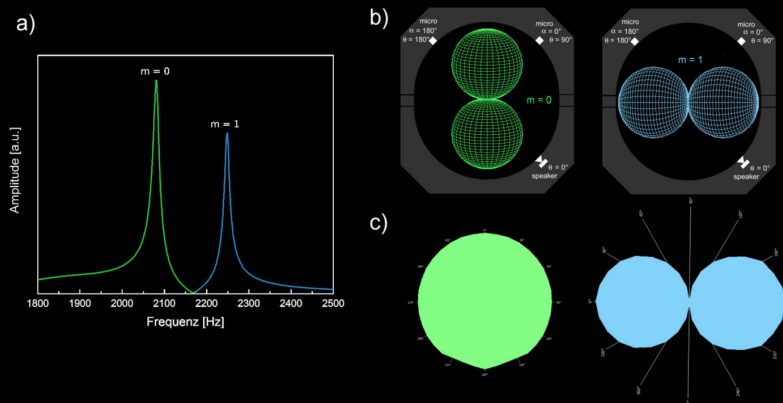


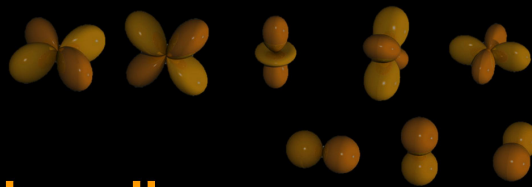
Abbildung 1: Brechung der Kugelsymmetrie des sphärischen Resonators. a) Im Resonanzspektrum ist die Entartung des $1p$ -Orbitals zwischen $m = 0$ und $m = \pm 1$ aufgehoben. b) Ausrichtung der zugehörigen Orbitale (Kugelflächenfunktion). Die Symmetrieachse ist nun die vertikale Achse c) entsprechende Polardarstellung aus Messung der Winkelabhängigkeit der Amplitude für $m = 0$ und $m = 1$.

Punkt (4) zum Merken :

034

Da die grundlegenden Effekte bei Wellen alle gleich sind, kann man auch andere Wellenarten nutzen, um zu verstehen, was eine Materiewelle so macht ...

Frage :



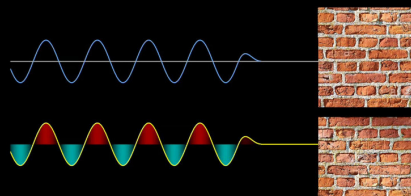
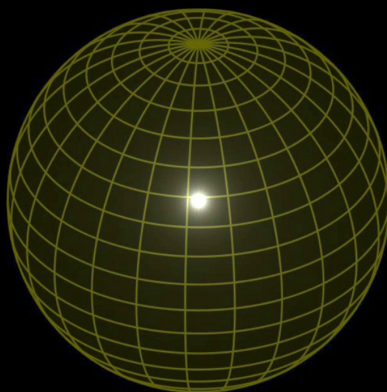
035

Warum sehen die Kugelflächenfunktionen nun gerade so und nicht anders aus?

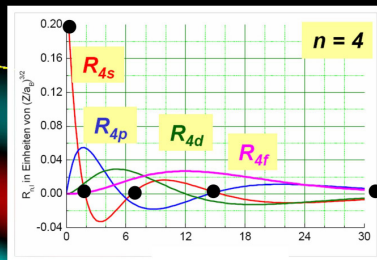
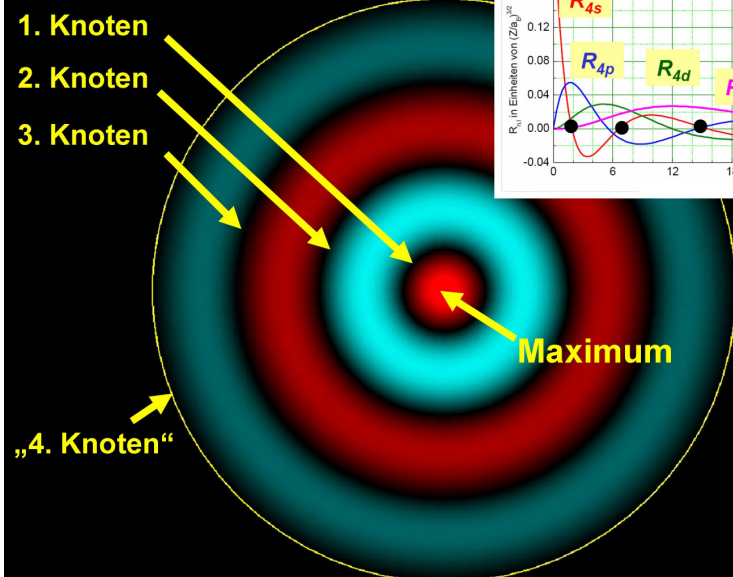
Weil das eben mathematisch so raus kommt ... das ist halt so ... ???

Kugelwelle

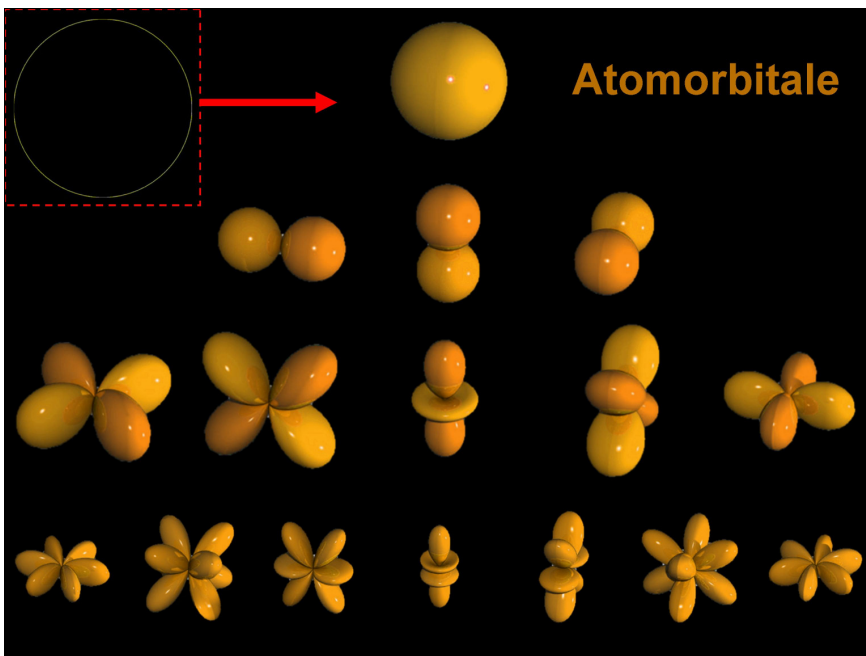
036



4s - Kugelwelle



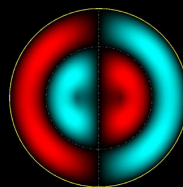
037



038

Frage :

Geht das nur in der
Simulation so schön zu
zeigen oder kann man das
auch mal live mit
Wasserwellen vorführen ?

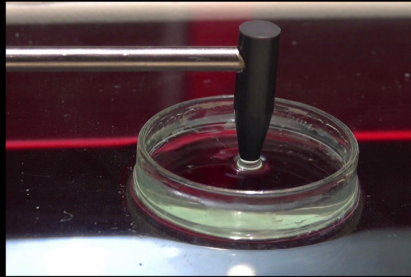
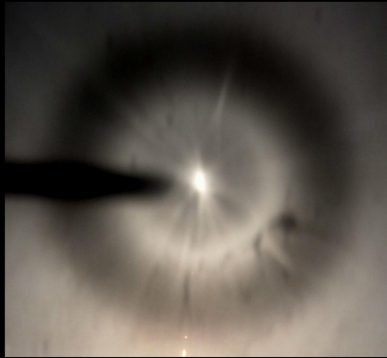


039

Atomorbitale mit Wasserwellen ...

040

nur s – Orbitale :



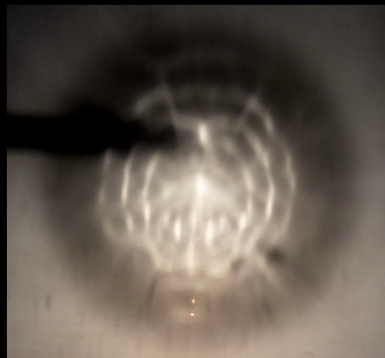
Atomorbitale mit Wasserwellen ...

041

nur s – Orbitale :

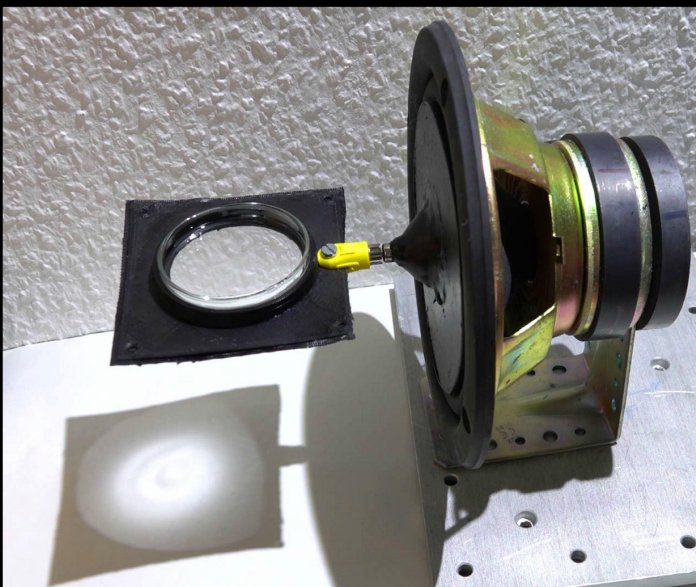


p, d, f, g, ... – Orbitale :



Atomorbitale mit Wasserwellen ...

042



Frage :

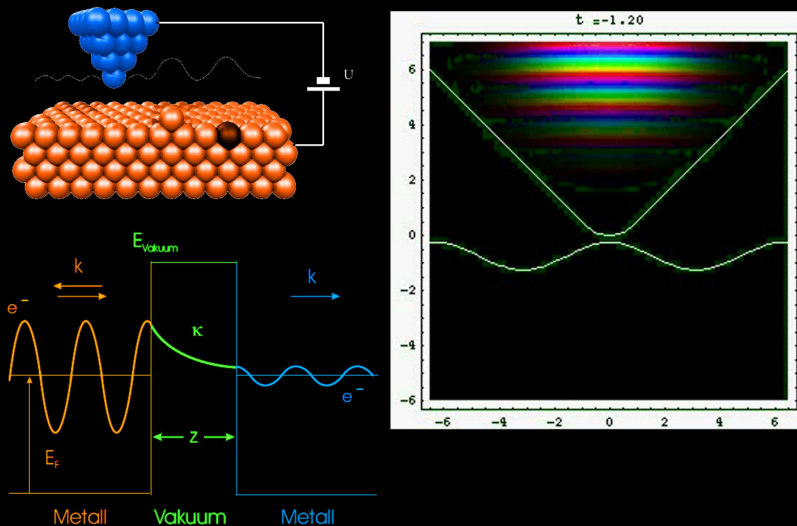
043

Geht das auch mit Materiewellen
im 2-dim. Kasten so?



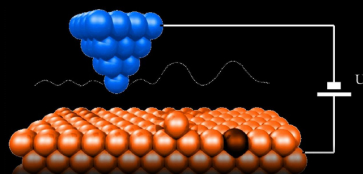
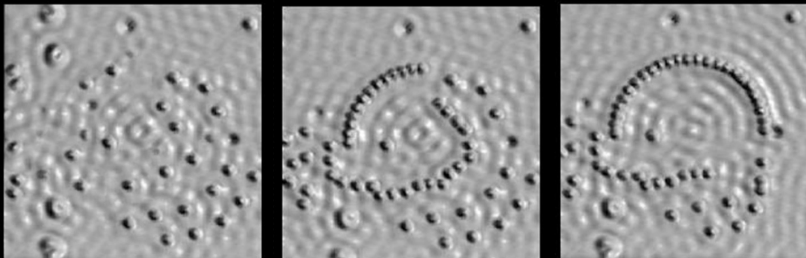
Rastertunnelmikroskop ...

044



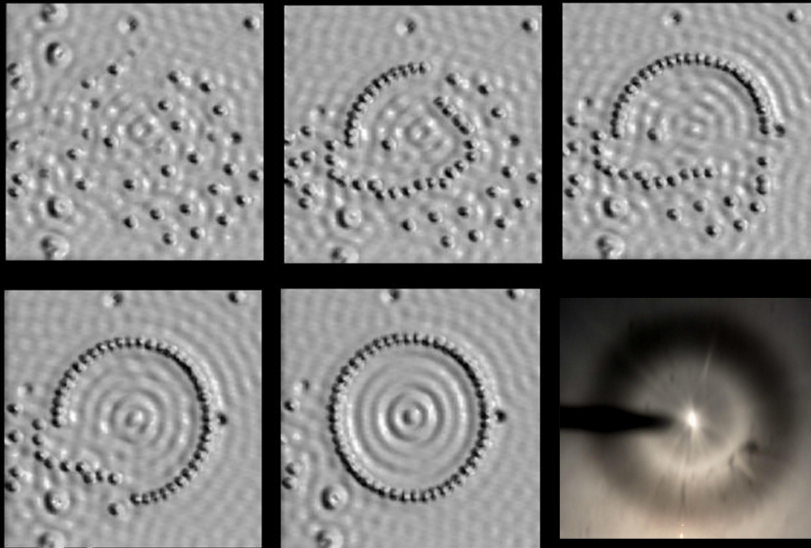
Fe-Atome auf einer Cu - Oberfläche

045



Fe-Atome auf einer Cu - Oberfläche

046



Crommie, Lutz & Eigler, IBM: Science 262, 218 (1993)

Punkt (5) zum Merken :

047

Die Formen der Kugelflächenfunktionen ergeben sich ganz natürlich durch die Reflexion und Überlagerung von Wellen in einem kugelförmigen Gefäß.

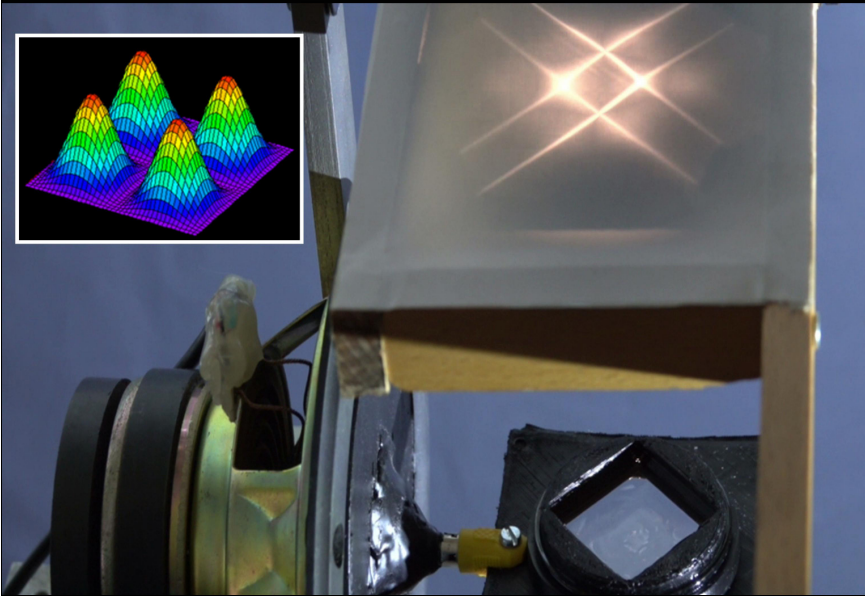
Frage :

048

Wie würden Atome eigentlich aussehen, wenn Atome quaderförmig wären?

Quadratische Atome ???

049



Eckige Atome ...

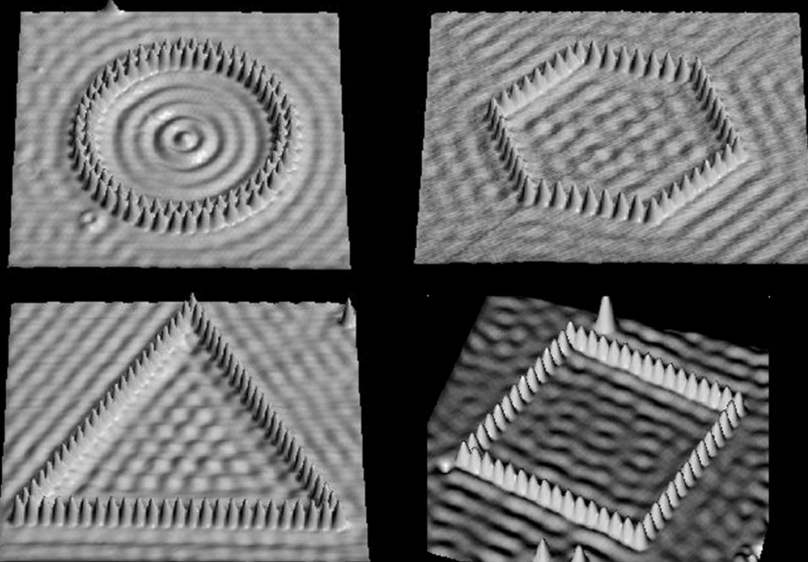
050



40 fache Zeitlupe ...

Fe-Atome auf einer Cu - Oberfläche

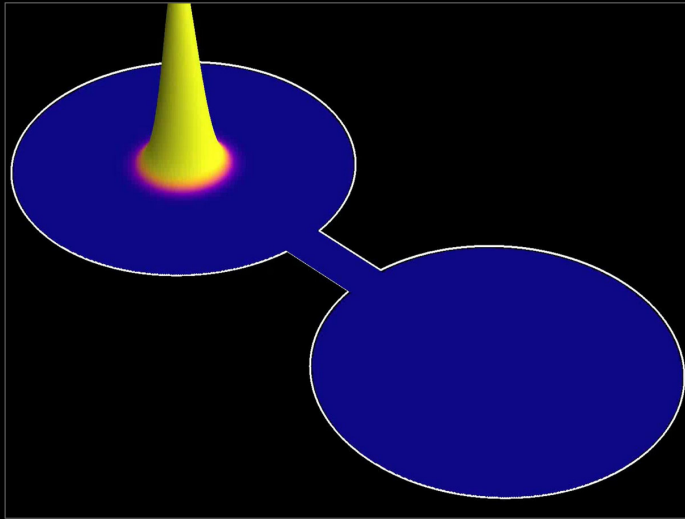
051



Crommie, Lutz & Eigler, IBM: Science 262, 218 (1993)

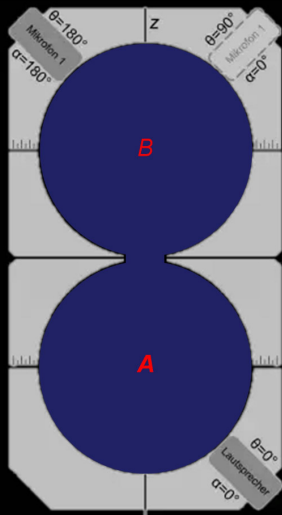
Quantenanalogie: 2-atomiges Molekül

052

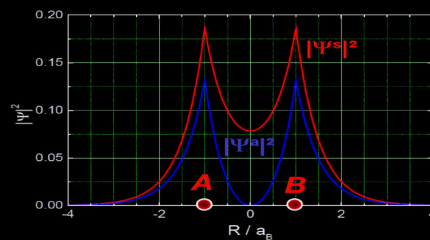
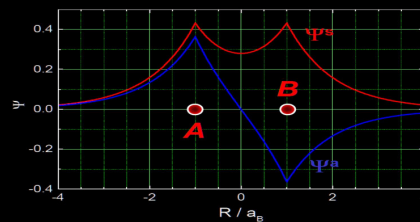


Quantenanalogie: 2-atomiges Molekül

053

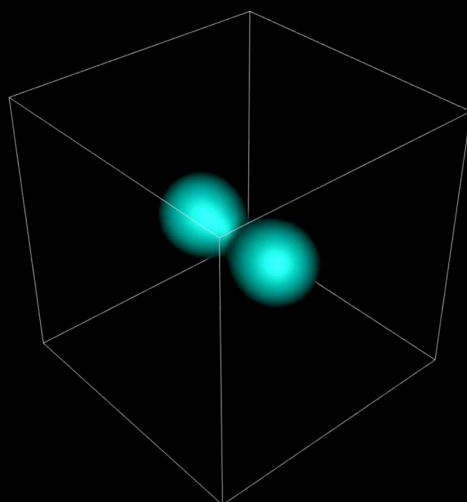


$$\Psi(\mathbf{r}, R) = c_A \phi_A(r_A) + c_B \phi_B(r_B)$$



Quantenanalogie: 2-atomiges Molekül

054



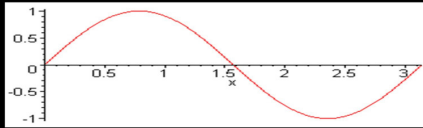
Energy Level



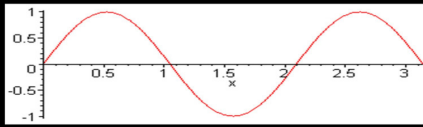
Energie

Besonderheiten bei Materiewellen ...

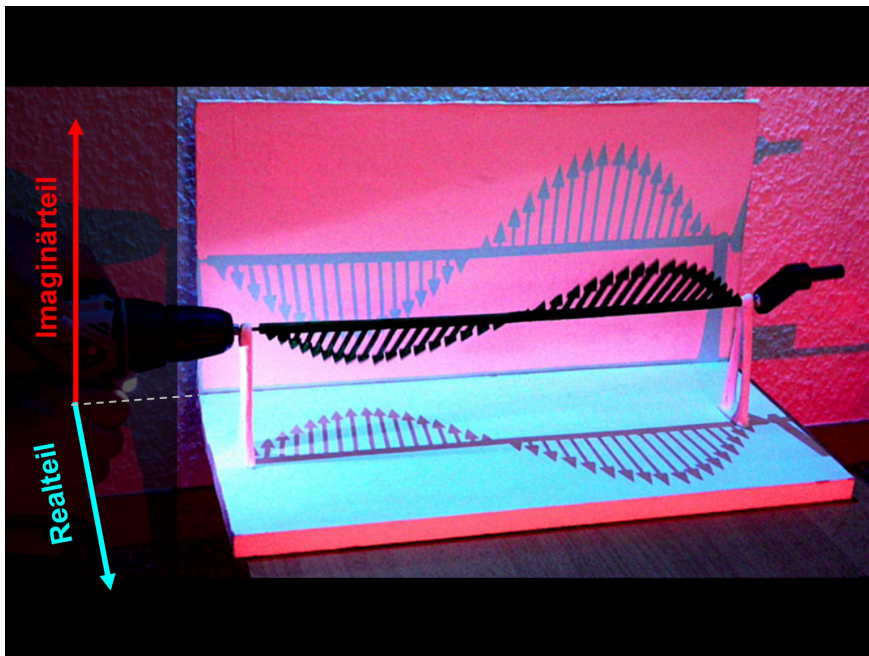
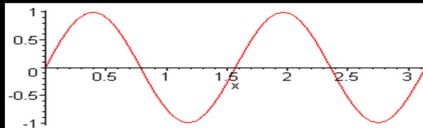
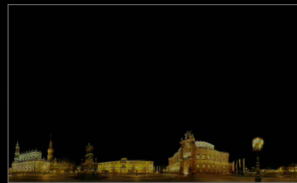
055



2p



3p



056

Stehende (rotierende) Welle :

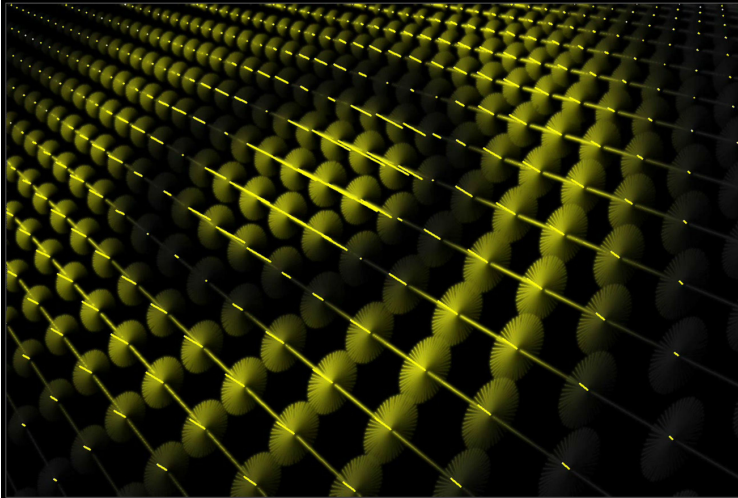
057



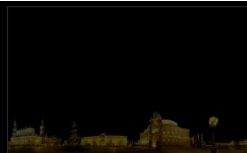
Komplexe 2s Wellenfunktion ...



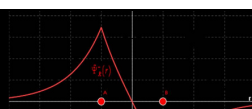
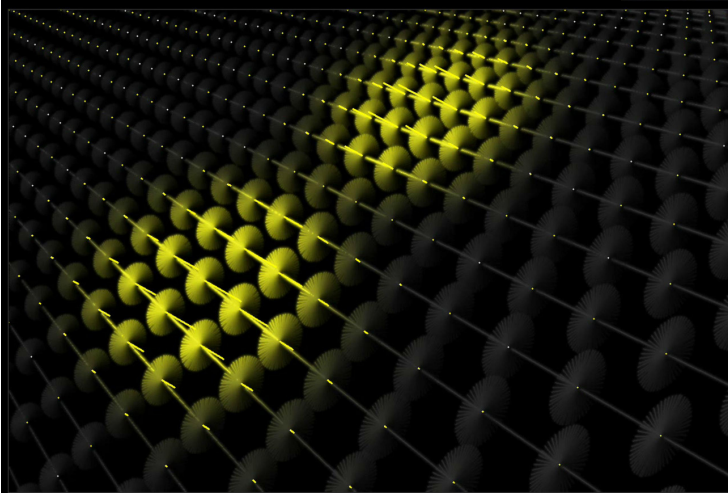
058



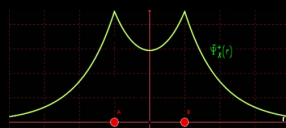
Komplexe 2p Wellenfunktion ...



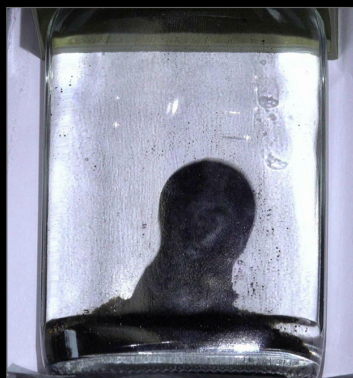
059



antibindendes
Orbital



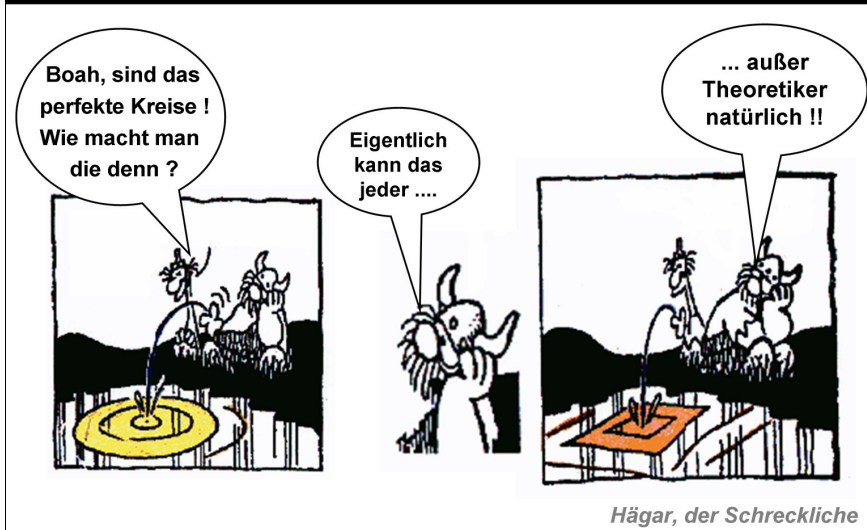
bindendes
Orbital



060

Versuch Quantenanalogie

061

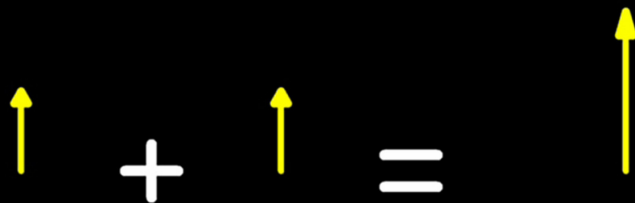


Ergänzungen ...

062

Frage :

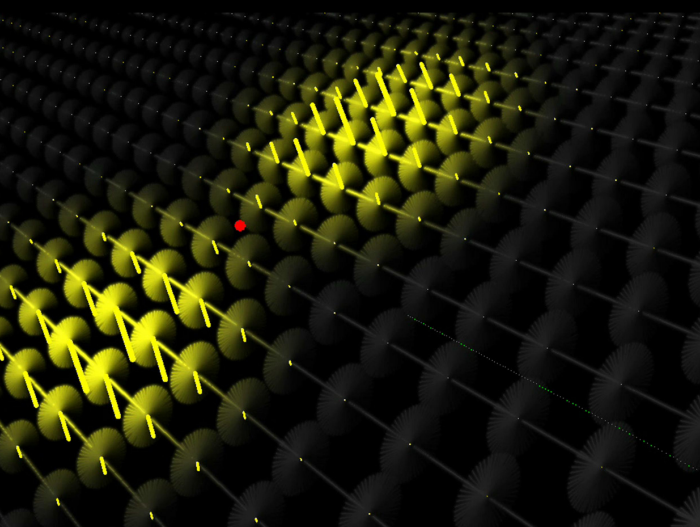
Was passiert eigentlich bei einem Übergang von einem Orbital in ein anderes Orbital bei einem Quantensprung?



063

A diagram illustrating a mathematical or physical relationship. It consists of a yellow arrow pointing upwards, followed by a white plus sign, a yellow arrow pointing downwards, a white equals sign, and a small yellow dot.

Übergang von : $2p \longrightarrow 1s$ (Emission)

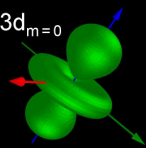


The image shows a 3D visualization of a crystal lattice with yellow spheres representing atoms. A red dot marks the initial position of an electron in a 2p orbital. A blue sphere represents the final position of the electron in a 1s orbital. A vertical scale bar on the right indicates the energy levels, with '1s' at the top and '2p' at the bottom. A small inset at the bottom right shows the 2p orbital's shape.

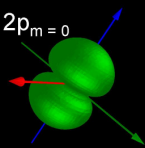
http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/software/hydrogenlab/Atomphysik/06_Stunde/210zu100mitSchnitt.mov

Übergang von :

$3d_{m=0}$



$2p_{m=0}$



067

Übergänge im Wasserstoffatom

Zustand 1:
n= 3 l= 2 m= 0
Zustand 2:
n= 2 l= 1 m= 0
Auflösung: premium
Schnittebene: keine
Anzahl der Bilder: 25
Zustand 1 Zustand 2
< 0.0 % >
☐ Auswahlregeln ignorieren
☒ schneller Übergang
Anfang
Darstellung: Fläche
Licht: alles
Hintergrund: schwarz
Transparenz: keine
Bildaktionen:
Drehen: linke Maustaste
Verschieben: rechte Maustaste
Zoomen: Taste ALT und linke Maustaste
Frequenz: 5.0 Hertz
emittierte Strahlung: Ultraviolett
Maßstab: Größe der positiven Achse: 10 Å
x-Achse y-Achse z-Achse

<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/software/hydrogenlab/Programme.htm>