

“QED – Materie, Licht und das Nichts”

1

Wissenschaftliches Gebiet und Thema:

Physikalische Eigenschaften von Licht

Titel/Jahr:

“QED – Materie, Licht und das Nichts” (2005)

Filmstudio:

Sciencemotion

Regisseur:

Stefan Heusler

Webseite des Films:

<http://www.sciencemotion.de/>

Beschreibung des Films:

Die DVD hat zwei Teile. Im künstlerischen Teil (30 Min.) besucht das Puppens Duo Nick & Prof. Schwerelos auf ebenso charmante wie eigenwillige Weise das Gedankengebäude, das Einstein & Co. uns hinterlassen haben. Die beiden etwas verschrobeneren Wissenschaftler experimentieren, entwickeln Modelle, simulieren am Computer und haben jede Menge Spaß dabei, ohne dass zwangsläufig jede Idee gut oder jede Aussage vollkommen wasserdicht wäre. In rasantem Tempo werden so Modellvorstellungen zum Thema *Licht* aus den verschiedenen Physikepochen spielerisch präsentiert. Den roten Faden spinnen dabei zwei Naturkonstanten: Die Lichtgeschwindigkeit c und das Planck'sche Wirkungsquantum h .



Der technische Teil der DVD (120 Min.) beschreibt in einer Kombination aus Bildern und Formeln einzelne Bausteine zur Entwicklung der modernen Theorie der Wechselwirkung von Licht mit Materie, der Quantenelektrodynamik (QED). Die Modelle und Experimente des künstlerischen Teils werden in ca. 30 einzelnen Sequenzen weiter vertieft. Für etwa die Hälfte der technischen Sequenzen reicht Schulmathematik aus.

Link zur Trailer Webseite

<http://www.sciencemotion.de/>

DVD kaufen:

Die DVD kann für EUR 20,00 zzgl. Versandkosten per E-Mail bestellt werden über <http://www.sciencemotion.de/>

Technischer Teil, Kapitel 1c:

2

Titel der Szene:

Polarisation des Lichts

Videoclip oder Foto:

Kapitel 1c, Technischer Teil

Zeitintervall:

Autor:

Stefan Heusler, Annette Lorke

Editor:

Stefan Heusler

Wissenschaftliche Schlagwörter:

Zirkular und linear polarisiertes Licht, 3D-Kino

Beschreibung der Szene:



Was geschieht mit einem Lichtstrahl, der auf zwei Polarisationsfilter gerichtet wird? Jeder Filter lässt nur Licht, das in einer bestimmten Richtung linear polarisiert ist, passieren. Wenn die beiden Polarisationsrichtungen parallel zueinander ausgerichtet sind ($\alpha = 0^\circ$), ist die Lichtintensität maximal, da der zweite Filter keinen Effekt auf den Lichtstrahl hat. Wenn die Polarisationsrichtungen orthogonal sind ($\alpha = 90^\circ$), lassen beide Filter jeweils nur entgegengesetzte Polarisationsrichtungen passieren. Die Lichtintensität, die durch beide Filter gelangt, ist daher gleich null. Für einen

beliebigen Winkel α zwischen den beiden Polarisationsrichtungen ist die Lichtintensität, die durch die beiden Filter kommt, proportional zu $(\cos[\alpha])^2$.

Autor: Stefan Heusler, Annette Lorke
E-Mail: sciencemotion@web.de

3

Film: QED – Materie, Licht und das Nichts
Filmszene: Kapitel 1c, Technischer Teil
Regisseur: Stefan Heusler
Film Studio: Sciencemotion, www.sciencemotion.de

Einfaches Niveau

Licht kann *polarisiert* werden. Was bedeutet das?

Stell Dir vor, Du möchtest eine Münze in einen Schlitz werfen. Die Münze kann den Schlitz nur passieren, wenn sie *parallel* zum Schlitz gehalten wird. Stelle Dir für einen Moment vor, dass Licht aus Millionen von Münzen bestünde, die alle versuchten, durch den Schlitz zu kommen. Die Münzen können in jeder beliebigen Richtung ausgerichtet sein. Alle Münzen, die durch den Schlitz kommen, sind parallel zum Schlitz ausgerichtet. Die Münzen, die nicht parallel sind, können den Schlitz nicht passieren. Der Strahl von Münzen, der durch den Schlitz hindurch kommt, heißt *polarisiert*. Die Polarisationsrichtung wird durch die Ausrichtung des Schlitzes bestimmt.

Was passiert, wenn der polarisierte Lichtstrahl auf einen zweiten Schlitz trifft? Wieder werden nur diejenigen Münzen durchkommen können, die parallel zu diesem Schlitz ausgerichtet sind. Wenn der zweite Schlitz parallel zum ersten ist, wird der bereits polarisierte Strahl ohne Verluste passieren. Wenn der zweite Schlitz rechtwinklig zum ersten ist, kommt überhaupt kein Licht durch den zweiten Filter.

Vielleicht fragst Du Dich, weshalb wir Münzen und einen Schlitz für unser Modell zur Polarisation gewählt haben. Die Münzen spielen die Rolle der *Photonen* (der Lichtenergie) und die Ausrichtung des Schlitzes spielt die Rolle der *Polarisationsrichtung* des Filters. Die Richtung, in der eine Münze versucht, durch den Schlitz zu kommen, entspricht der *Polarisationsrichtung des Photons*.

Autor: Stefan Heusler, Annette Lorke
E-Mail: sciencemotion@web.de

4

Film: QED – Materie, Licht und das Nichts
Filmszene: Kapitel 1c, Technischer Teil
Regisseur: Stefan Heusler
Film Studio: Sciencemotion, www.sciencemotion.de

Fortgeschrittenes Niveau

In einer zweidimensionalen Ebene orthogonal zur Ausbreitungsrichtung des Photons (der elektromagnetischen Lichtwelle) hat der elektrische Feldvektor eine bestimmte Richtung. Bei den Abermillionen Photonen in unpolarisiertem Licht sind die Richtungen der elektrischen Feldvektoren zufällig verteilt.

Ein Polarisationsfilter selektiert nur solche Photonen, dessen elektrische Feldvektoren eine bestimmte, durch den Filter vorgegebene Polarisationsrichtung haben. Nicht nur sichtbares Licht, sondern jede Art elektromagnetischer Strahlung kann polarisiert werden. Natürlich hängt das technische Prinzip eines Polarisationsfilters von der Wellenlänge ab. Für sichtbares Licht können z.B. Polaroidfilter verwendet werden. Sie bestehen aus einem speziellen Plastik, das fast alle Photonen absorbiert, die nicht in einer bestimmten Richtung polarisiert sind (<http://de.wikipedia.org/wiki/Polaroid>)

Bei linear polarisiertem Licht schwingt der elektrische Feldvektor in einer festen Richtung. Wenn linear polarisiertes Licht ein zweites Mal gefiltert wird, ist die verbleibende Lichtintensität

$$I(\alpha) = I_0 \cos^2[\alpha]$$

Der Winkel α beschreibt die Differenz zwischen den Polarisationsrichtungen der beiden Filter. Wenn die Durchlassrichtung für beide Filter dieselbe ist ($\alpha=0^\circ$), ergibt sich die maximale Intensität. Für $\alpha = 90^\circ$ ist die Intensität null, da beide Polarisationsrichtungen orthogonal zueinander sind.

Im Film steht die falsche Formel. $\sin^2[\alpha]$ muss durch $\cos^2[\alpha]$ ersetzt werden. Dass die Formel $I \sim \sin^2[\alpha]$ falsch ist, lässt sich bei $\alpha = 0^\circ$ leicht erkennen. Die Formel würde eine verschwindende Lichtintensität bei parallelen Filtern vorhersagen, was offensichtlicher Unsinn ist. Es ist immer wichtig, Formeln mit einfachen Beispielen zu testen, anstatt einfach nur zu glauben, was in Büchern oder in Filmen behauptet wird.

Moderne 3D-Kinos benutzen polarisiertes Licht, um einen dreidimensionalen Eindruck einer Filmszene zu erzeugen. Hierzu werden zwei Bilder gleichzeitig von der Leinwand ausgestrahlt, die orthogonal zueinander polarisiert sind. Die Zuschauer müssen daher Polarisationsbrillen tragen, die eine der Polarisationsrichtungen nur zum rechten Auge und die andere Polarisationsrichtung nur zum linken Auge durchlässt (http://en.wikipedia.org/wiki/Polarized_glasses). Das rechte Auge sieht daher nur das eine, das linke Auge nur das andere Bild. Im Gehirn werden beide Bilder wieder zusammengesetzt.

Autor: Stefan Heusler, Annette Lorke
E-Mail: sciencemotion@web.de

5

Film: QED – Materie, Licht und das Nichts
Filmszene: Kapitel 1c, Technischer Teil
Regisseur: Stefan Heusler
Film Studio: Sciencemotion, www.sciencemotion.de

Weiterführende Informationen

Der elektrische Feldvektor von Licht, das in der 1-Richtung *linear polarisiert* ist, kann beschrieben werden durch:

$$\vec{E}_1(z, t) = E \cos[kz - \omega t] \vec{e}_1$$
 E ist die Amplitude des elektrischen Feldes. Die Koordinate z beschreibt die Ausbreitungsrichtung des Lichtes, die orthogonal zur (1, 2)-Ebene ist. Der Wellenvektor k ist gegeben durch $k = (2\pi/\lambda)$ mit der Wellenlänge λ .

Bei *zirkular polarisiertem* Licht dreht sich die Polarisationsrichtung entweder im oder gegen den Uhrzeigersinn in der (1, 2)-Ebene. Der elektrische Feldvektor ist in diesen Fällen:

$$\vec{E}_+(z, t) = E \cos[kz - \omega t] \vec{e}_1 - E \sin[kz - \omega t] \vec{e}_2$$

$$\vec{E}_-(z, t) = E \cos[kz - \omega t] \vec{e}_1 + E \sin[kz - \omega t] \vec{e}_2$$

Das zirkular polarisierte Licht hat entweder positive (+) oder negative (-) Helizität. Für $z = 0$ ist es unmittelbar einsichtig, dass der elektrische Feldvektor entweder im Uhrzeigersinn (+) oder gegen den Uhrzeigersinn (-) rotiert.

Die lineare Superposition von zirkular polarisiertem Licht mit positiver und negativer Helizität führt zu:

$$\vec{E}_+(z, t) + \vec{E}_-(z, t) = 2 E \cos[kz - \omega t] \vec{e}_1$$

Das Resultat ist linear polarisiertes Licht. Der elektrische Feldvektor rotiert nicht, sondern bleibt fest in der 1-Richtung. Die Amplitude der Superposition ist gegeben durch $2 E$.

Ein bekanntes Beispiel für die experimentelle Herstellung von zirkular polarisiertem Licht ist der Fresnel Rhombus (<http://de.wikipedia.org/wiki/Fresnel>).

Ein einfaches Laborexperiment zur Erzeugung von zirkular polarisiertem Licht benutzt die Superposition von linear polarisiertem Licht in 1-Richtung mit linear polarisiertem Licht in 2-Richtung. Der Phasenunterschied zwischen beiden Lichtstrahlen beträgt dabei $+\lambda/4$.

$$\vec{E}_1(z, t) = E \cos[kz - \omega t] \vec{e}_1$$

$$\vec{E}_2(z, t) = E \cos[k(z - \lambda/4) - \omega t] \vec{e}_2 = E \sin[kz - \omega t] \vec{e}_2$$

Die Superposition ist eine zirkular polarisierte Welle mit positiver Helizität.

$$\vec{E}_{+/-}(z, t) = \vec{E}_1(z, t) + \vec{E}_2(z, t)$$

Negative Helizität entsteht bei der Phasenverschiebung $-\lambda/4$. Superposition elektrischer Feldvektoren ähneln ganz allgemein Lissajous-Figuren.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Lissajous-Figur>)

Internetseiten über Polarisation:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polarizer> (in Englisch)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polarization> (in Englisch)