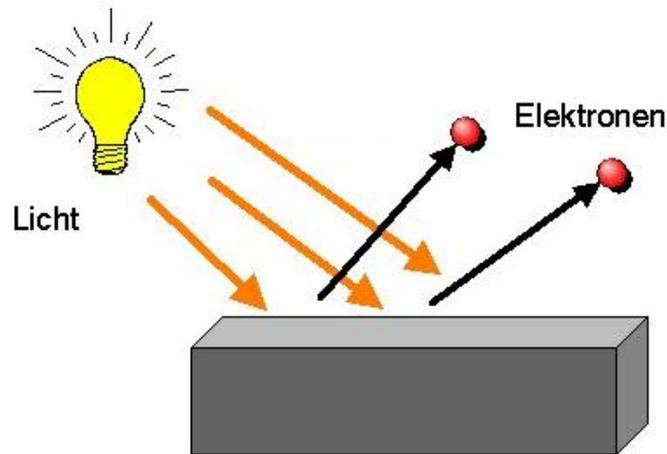


Die Deutung des Fotoeffektes



... neue Modellbeschreibung des Lichtes

Ergebnisse der Untersuchungen beim Fotoeffekt:

- (1) Der Fotoeffekt tritt in Abhängigkeit vom Metall erst ab einer ganz bestimmten Grenzfrequenz f_G auf.

Für kleinere Frequenzen ($f < f_G$) können unter keinen Umständen Photoelektronen herausgelöst werden.

- (2) Die von einer bestimmten Frequenz f erzeugten Photoelektronen besitzen einen bestimmten maximalen Energiebetrag $E_{\text{kin(max)}}$.

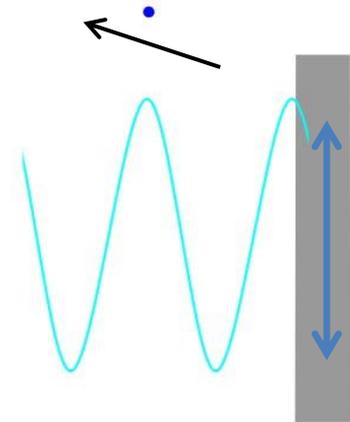
Die Maximalenergie der erzeugten Photoelektronen wird ausschließlich durch die Frequenz f des Lichtes bestimmt.

- (3) Der maximale Energiebetrag der Photoelektronen ist nicht von der Intensität des Lichtes abhängig.

Auch intensiveres (helleres) Licht erzeugt keine energiereicheren (schnelleren) Photoelektronen.

Deutung mit dem Wellenmodell:

- (1) - Lichtwellen regen Elektronen zu erzwungenen Schwingungen an
 - ist die Amplitude (Energie) groß genug, werden sie herausgelöst
 - Erhöhung der Intensität (größere Amplitude) führt zu mehr Energieübertragung



→ Elektronen können bei genügender Intensität mit beliebigen Frequenzen herausgelöst werden

→ **Widerspruch** zum Experiment 🙄

- (2) - Energie der Fotoelektronen werden von den Lichtwellen in Abhängigkeit der Amplitude übertragen
 - vergrößert man die Intensität (Amplitude), so wird mehr Energie auf die Fotoelektronen übertragen

→ Elektronen können beliebig große Energiewerte annehmen

→ **Widerspruch** zum Experiment 🙄

► **Der Photoeffekt kann nicht mit dem Wellenmodell erklärt werden.**

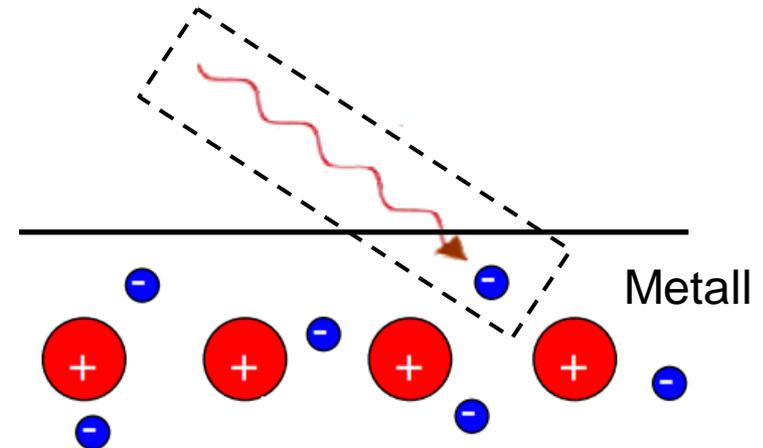
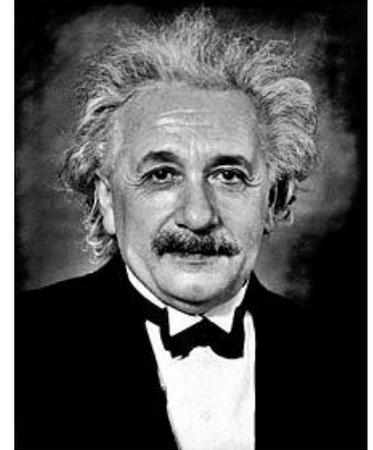
Albert Einstein (1905)

- Die Energie des Lichtes ist nicht von der Amplitude, sondern von der Frequenz abhängig.
- Jeweils nur eine „Lichtwelle“ tritt in Wechselwirkung mit genau einem Elektron des Metalls.
- Bei dieser Wechselwirkung wird die gesamte Energie der Lichtwelle auf das Elektron übertragen.

Die Lichtwelle verschwindet dabei !

- Licht gibt seine Energie nur in festen Beträgen ab.
- *Der Energieaustausch kann ähnlich einem **Stoßprozess** betrachtet werden.*

► **Teilchencharakter des Lichtes**



Theorie von Albert Einstein :

► Lichtquantenhypothese

- (1) Licht einer bestimmten Frequenz f besitzt auch einen bestimmten festen Energiebetrag
- (2) Träger der Lichtenergie ist ein Lichtteilchen, das **Photon**.
- (3) Ein Photon tritt beim lichtelektrischen Effekt mit genau einem Elektron des Metalls in Wechselwirkung und gibt dabei seine Energie vollständig ab und verschwindet.

► Die Energie eines solchen Photons beträgt:

$$E_{Ph} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

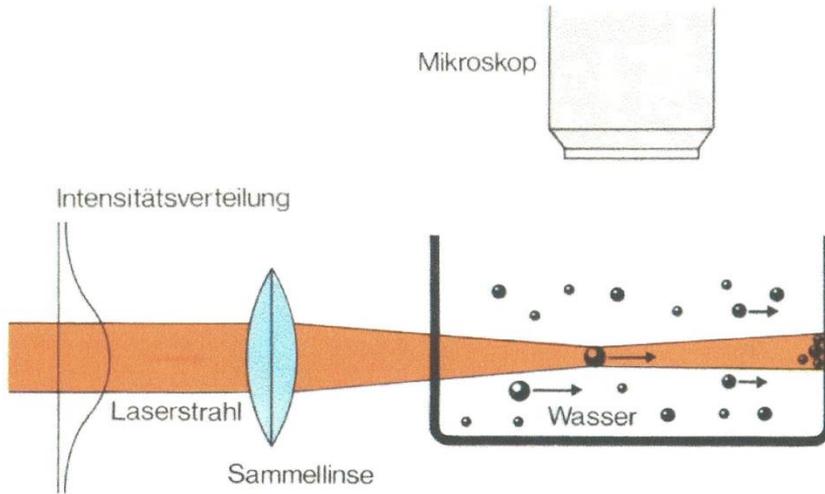


Wow

Nachweis des Teilchencharakters des Lichtes:

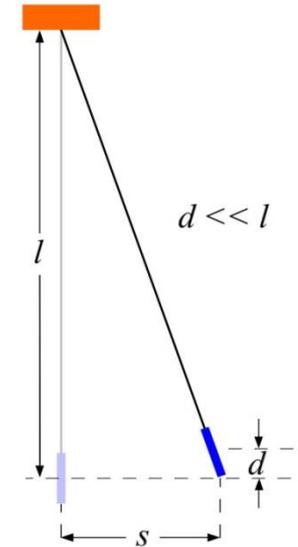
1972 – Versuch von Ashkin

Photonenpendel



Laser

Photon



Das Licht eines Lasers erzeugt auf kleine Kügelchen in einer Flüssigkeit einen **Lichtdruck** (Strahlungsdruck).

Die Lichtteilchen erzeugen einen Kraftstoß (Impuls) auf den Pendelkörper.

Die Entstehung eines Lichtdruckes widerspricht nicht der Theorie der elektromagnetischen Wellen !

Modellbeschreibung des Lichtes: Welches Modell trifft zu?

	Wellenmodell	Teilchenmodell
Grundaussage	Licht ist eine elektromagnetische Welle	Licht besteht aus Teilchen, den Photonen
Ausbreitung	Lichtwellen breiten sich räumlich als Kugelwellen aus	jedes Lichtteilchen bewegt sich auf bestimmten geradlinigen Bahnen
Abhängigkeit der Energie	Energie wird durch die Amplitude bestimmt	Energie wird durch Masse und Geschwindigkeit bestimmt
Energieübertragung	Übertragung durch erzwungene Schwingungen	Übertragung durch Stoßprozesse

Erklärbarkeit optischer Erscheinungen

Welle	Erscheinung	Teilchen
	Ausbreitung mit $c=300000\text{km/s}$	
	Beugung und Interferenz	
	Energie der Fotoelektronen ist unabhängig von der Intensität des Lichtes	
	Erhöhung der Lichtintensität erzeugt mehr Fotoelektronen	
	Energie des Lichtes steigt mit der Frequenz	
	Es existiert eine Grenzfrequenz	

Was ist nun eigentlich Licht ?

Licht besitzt eine Doppelnatur, es ist **Welle** und **Teilchen** zugleich.

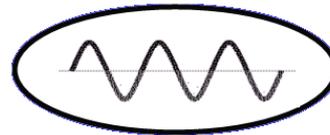
... Licht ist eine elektromagnetische Welle mit Teilchencharakter

oder: ... Licht besteht aus Teilchen mit Welleneigenschaften

▶ **Welle – Teilchen - Dualismus**

Mikroobjekte, die sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften besitzen nennt man **Quanten.**

▶ **Quantenphysik**



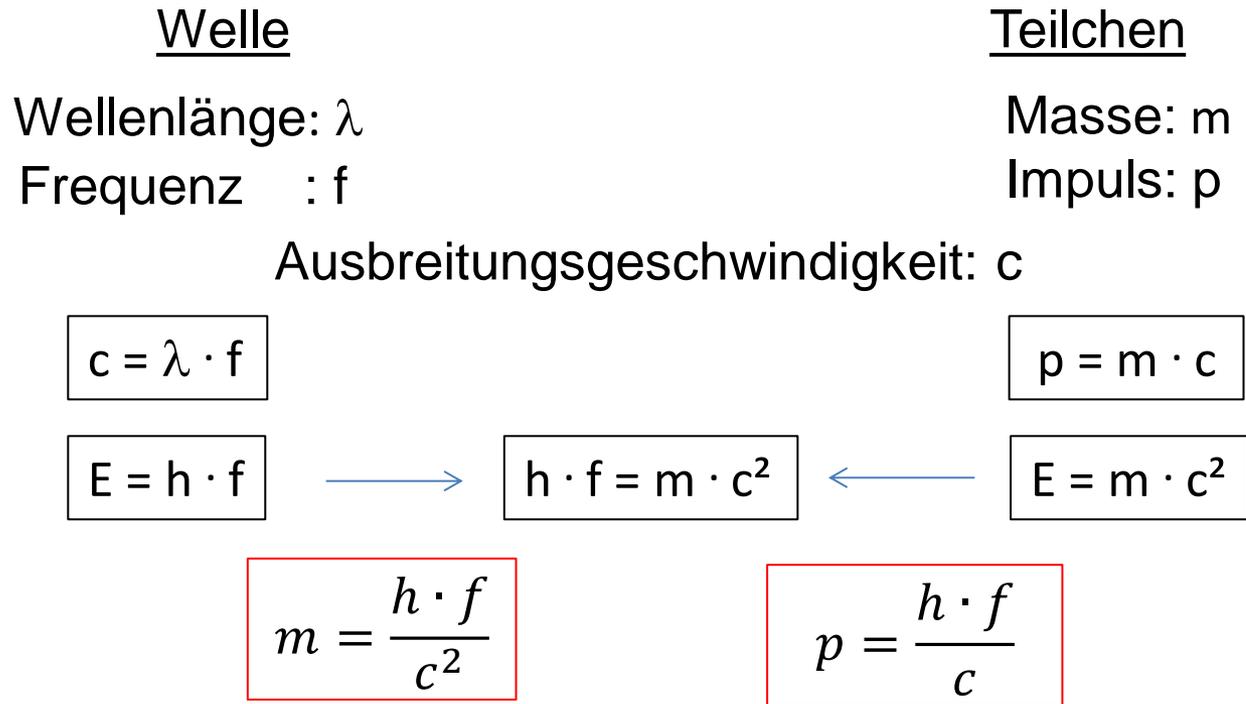
Modell
eines Quants

Quanten besitzen sowohl typische Eigenschaften von Wellen wie auch Eigenschaften von Teilchen.

Quanten sind kleine „Energiekügelchen“

***Photonen** sind (spezielle) Quanten, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen.*

► **Licht** muss auch typische Eigenschaften von Teilchen besitzen!

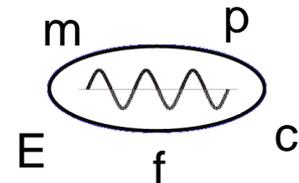


Jeder Lichtquant der Frequenz f besitzt eine bestimmte Masse m und Impuls p .

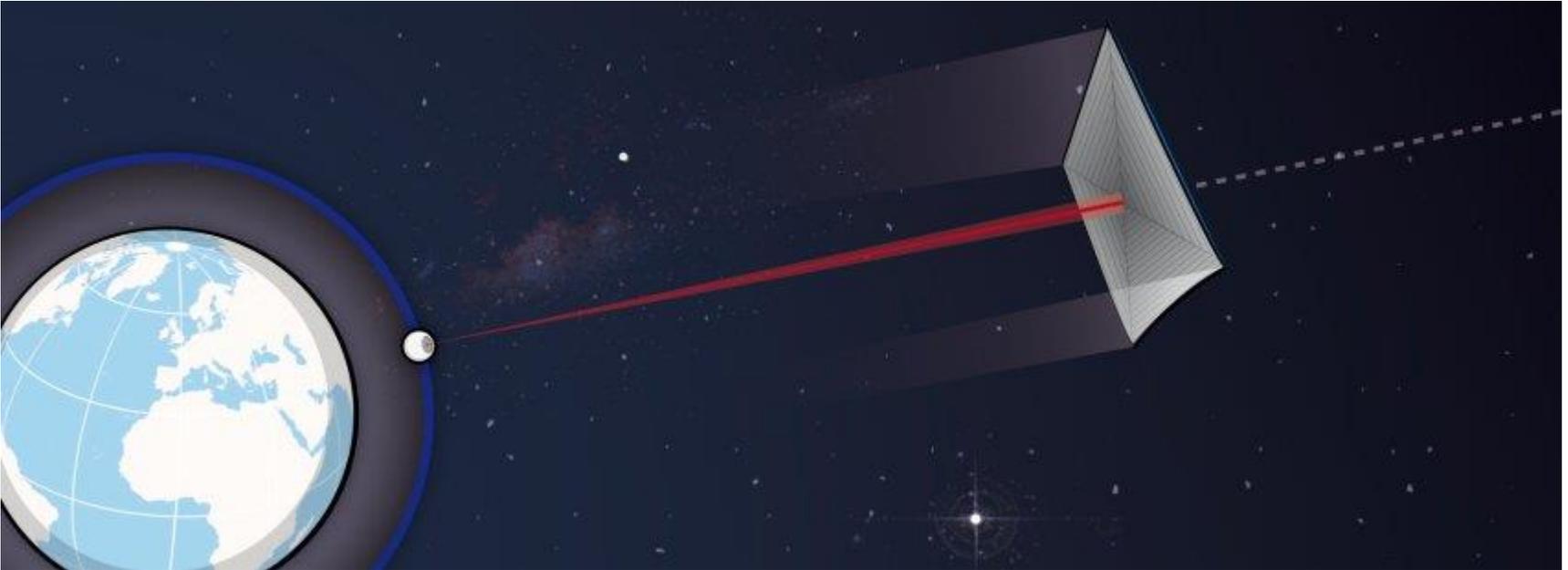
Lichtquanten bewegen sich immer mit Lichtgeschwindigkeit.

Lichtquanten besitzen keine Ruhemasse.

► Ein Lichtquant ist eine diskrete Energieportion.



Prinzip des Photonenantriebs:



Ein leistungsstarker Laserstrahl trifft auf das Segel eines Fluggeräts.

*Bei der Reflexion der Photonen wird ein Impuls auf das Segel übertragen
→ das Raumschiff wird immer schneller.*

*Mit dieser Technologie soll ein Viertel der Lichtgeschwindigkeit
erreichbar sein.*

