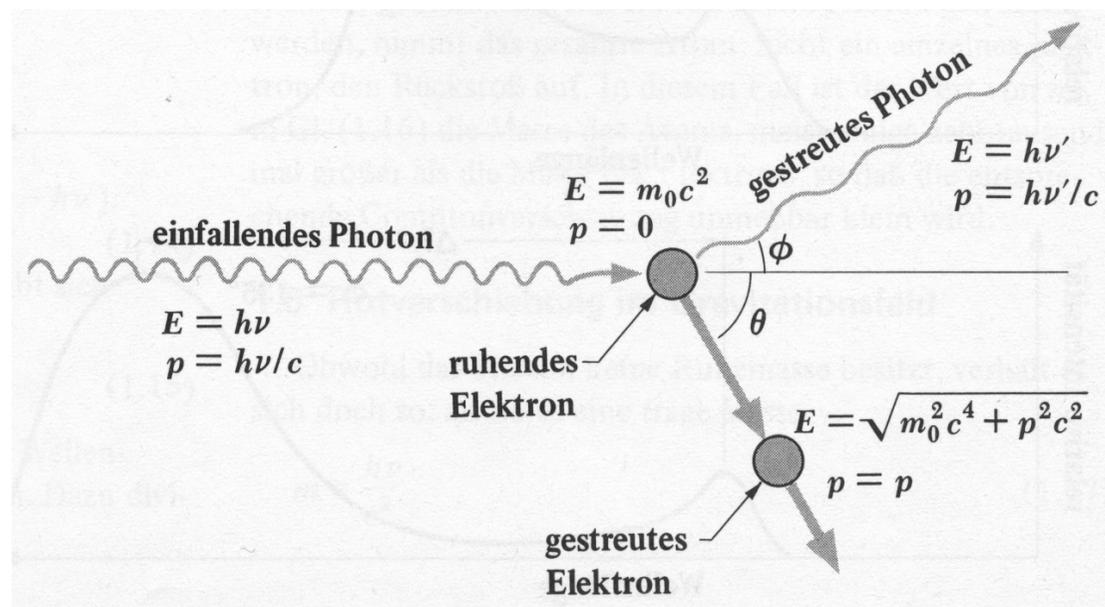


3.4.2 Erklärung des Compton-Effekts:

Energie- und Impulserhaltung beim elastischen Stoss zwischen Photon und quasi-freiem Elektron (Bindungsenergie vernachlässigbar)



Impuls eines Photons: Im Vakuum breiten sich Photonen mit der Lichtgeschwindigkeit $c \sim 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ aus. Sie verhalten sich wie relativistische Teilchen mit verschwindender Ruhemasse $m_0 = 0$.

relativistische Energie eines Teilchens:

$$E_0 = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$$

Ruhemasse des Photons:

$$m_0 = 0 \quad \Rightarrow \quad E_0 = pc$$

Energie des Photons:

$$E_0 = h\nu$$

Impuls des Photons:

$$p = \frac{h\nu}{c}$$

Wellenlängendifferenz $\lambda' - \lambda$ zwischen einfallendem und gestreutem Photon

vorher nachher nachher

Energieerhaltung:

$$\underbrace{h\nu - h\nu'}_{\text{Photon}} = E_{\text{kin}} \quad \text{Elektron} \quad (0)$$

Impulserhaltung:

- entlang der Einfallsrichtung

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos \phi + p \cos \theta \quad (1)$$

- senkrecht dazu

$$0 = \frac{h\nu'}{c} \sin \phi - p \sin \theta \quad (2)$$

löse nach Elektronimpuls p :

$$E_{q.(1)}^2 + E_{q.(2)}^2$$

$$p^2 = \frac{1}{c^2} \left((h\nu)^2 + (h\nu')^2 - 2h\nu h\nu' \cos \phi \right) \quad (3)$$

Gesamtenergie des Elektrons
nach Stoss:

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} \stackrel{!}{=} E_{\text{kin}} + m_0 c^2 \quad (4)$$

kinetische Energie Ruheenergie

Gl. (4) und (0):

$$p^2 = \frac{1}{c^2} \left((h\nu)^2 + (h\nu')^2 - 2h\nu h\nu' + 2(h\nu - h\nu') m_0 c^2 \right) \quad (5)$$

(3) = (5) ergibt:

$$2h\nu h\nu' (1 - \cos \phi) = 2(h\nu - h\nu') m_0 c^2 \quad (6)$$

mit $c = \lambda \nu$:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi)$$

Compton-Wellenlänge λ_c

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 2.4 \times 10^{-12} \text{ nm}$$

unabhängig von Material
oder λ des Lichts

Verhältnis der gestreuten und einfallenden Photonenergie, berechne $h\nu'$ aus (6) :

$$\frac{h\nu'}{h\nu} = \left(1 + \frac{h\nu}{m_0 c^2} (1 - \cos \phi) \right)^{-1}$$

Compton-Effekt ist beobachtbar für:
- Photonen ausreichend hoher Energie (ansonsten nur kleiner relativer Wellenlängenunterschied)
- kleine e^- Bindungsenergie



Nobelpreis in Physik (1927)

"for his discovery of the effect named after him"

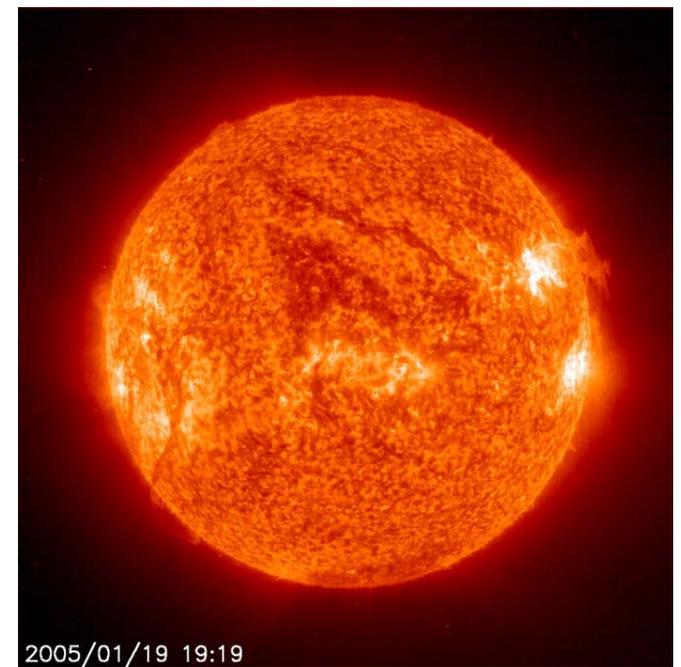
Die Beobachtung des Compton-Effekts weist deutlich nach, dass Photonen einen Impuls besitzen, und bestätigt so ebenfalls, dass Licht Teilchencharakter hat.

3.5 Schwarze Strahler, Temperaturstrahlung

- Alle Körper bei endlicher Temperatur erzeugen elektromagnetische Strahlung (Temperaturstrahlung)
- Frequenzverteilung (Spektrum) des Lichts ist abhängig von der Temperatur T
 - sichtbares Licht bei hohen Temperaturen ($T > 1000\text{ K}$)
 - infrarotes Licht bei $T < 1000\text{ K}$
 - Mikro- und Radiowellen bei $T < 10\text{ K}$
- Das Spektrum ist kontinuierlich und lässt sich nicht mit Mitteln der klassischen Physik erklären.
- Die Quantisierung der elektromagnetischen Strahlung in Form von Photonen der Energie $h\nu$ ist nötig zur Erklärung (Planck, 1900)

Die Sonne: ein schwarzer Strahler

- Temperatur $T \sim 6000\text{ Kelvin}$
- Strahlungsleistung $\sim 100 \cdot 10^9\text{ GW}$
- Intensität auf der Erdoberfläche 1 kW/m^2
- Kernfusion ($\text{H}_2 \rightarrow \text{He}$)

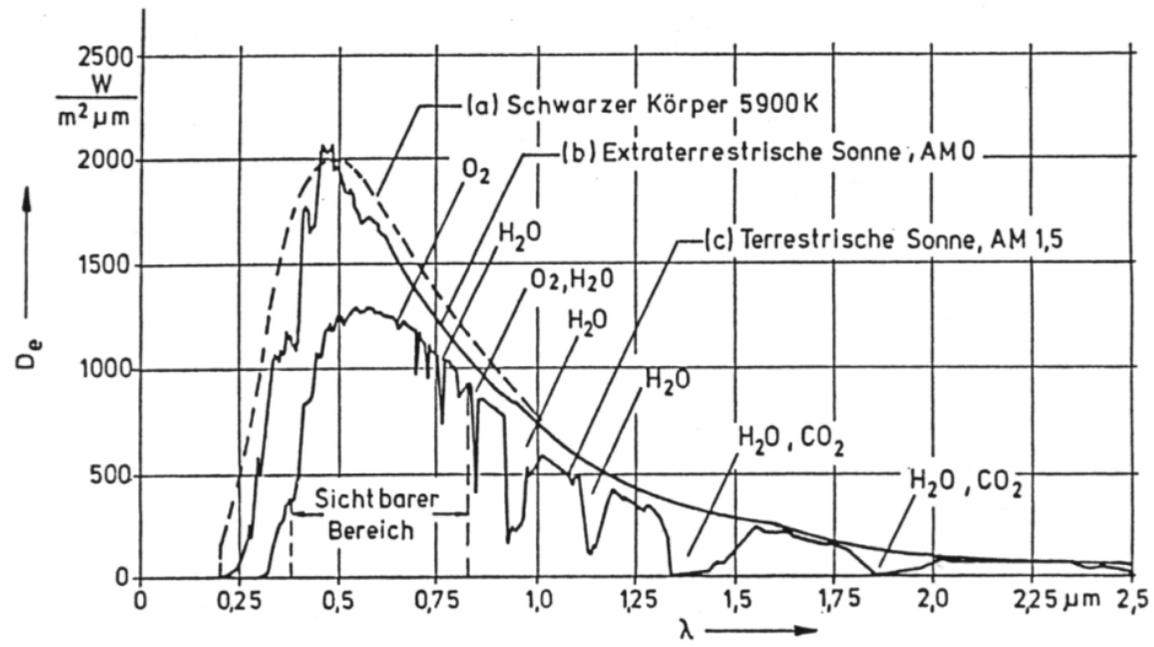


Die Sonne



Untergang eines schwarzen Strahlers in Zürich

- Spektrum der Sonne:
 - kontinuierlich
 - grösste Intensität im sichtbaren Wellenlängenbereich
- Vorlesungsexperiment: Messung des Spektrums einer Bogenlampe



Berechnung des Spektrums eines schwarzen Strahlers

- Betrachte eine Quelle thermischer Strahlung als einen mit Photonen gefüllten Hohlraum mit der Kantenlänge L und dem Volumen $V = L^3$ bei der Temperatur T .
- Die Wände des Hohlraums emittieren und absorbieren Strahlung mit gleicher Rate und sind im thermischen Gleichgewicht mit der Strahlung im Inneren des Hohlraums (Vorlesungsexperiment).
- Die Energiedichte $u(\nu)$ im Inneren des Körpers kann durch eine kleine Öffnung, die das thermische Gleichgewicht nicht beeinflusst, bestimmt werden.
- Definition Energiedichte $u(\nu)$: Strahlungsenergie im Frequenzbereich $\nu \dots \nu + d\nu$ pro Volumen V

