

Lichtquanten

- Berechnen Sie die Energie, die Masse und den Impuls eines roten (750nm), gelben (620nm) und eines violetten (430nm) Lichtquants.
 - Welche Farbe hat ein Lichtquant der Masse $m=4,25 \cdot 10^{-36} \text{kg}$?
 - Welche Wellenlänge und Frequenz müsste ein Quant besitzen, um die Masse eines Elektrons zu haben?
 - Zu welchem Teil des elektromagnetischen Spektrums gehört der Quant von Aufgabe c)?
- Welche Energie hätte ein „Hertzscher Quant“ der Frequenz $f=100 \text{MHz}$ (UKW)?
 - Handyfrequenzen (5G) nutzen u.a. die Frequenzen von 700MHz und 2,6GHz
Berechnen Sie die Energie, Masse und den Impuls dieser Quanten.
 - Begründen Sie, weshalb die als Quanten betrachteten Hertzschen Wellen keinen Fotoeffekt hervorrufen können.
- Zur Wahrnehmung des Lichtes auf der Netzhaut ist eine Strahlungsleistung von $P=6 \cdot 10^{-18} \text{W}$ notwendig. Berechnen Sie wie viele Photonen mit $\lambda=520 \text{nm}$ (grün) je Sekunde mindestens auf die Netzhaut auftreffen müssen um das Licht wahrzunehmen.
- Eine Laserpistole (Phaser) der Leistung 10W strahlt ein kreisförmiges Lichtbündel mit dem Durchmesser von 2mm und der Wellenlänge 633nm ab.
 
 - Berechnen Sie Masse und Impuls eines abgefeuerten Photons.
 - Wie viele Photonen werden je Sekunde abgestrahlt?
 - Welche Kraft übt ein solcher Laserstrahl auf eine senkrecht reflektierende Fläche aus?
 - Welcher Strahlungsdruck wird durch die berechnete Kraft hervorgerufen?
 - Wie verändert sich das Ergebnis von c), wenn die Auftrefffläche die Strahlung vollständig absorbiert.

Lösungen:

$$1. \quad a) \quad E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad m = \frac{h}{c \cdot \lambda} \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

Farbe	Energie	Masse	Impuls
rot	$2,65 \cdot 10^{-19} \text{J} = 1,65 \text{eV}$	$2,94 \cdot 10^{-36} \text{kg}$	$8,83 \cdot 10^{-28} \text{Ns}$
gelb	$3,21 \cdot 10^{-19} \text{J} = 2,0 \text{eV}$	$3,56 \cdot 10^{-36} \text{kg}$	$1,07 \cdot 10^{-27} \text{Ns}$
violett	$4,62 \cdot 10^{-19} \text{J} = 2,89 \text{eV}$	$5,14 \cdot 10^{-36} \text{kg}$	$1,54 \cdot 10^{-27} \text{Ns}$

$$b) \quad f = \frac{m \cdot c^2}{h} = 5,77 \cdot 10^{14} \text{Hz} \quad \lambda = 520 \text{nm} \quad (\text{grün})$$

$$c) \quad m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg} \quad f = 1,24 \cdot 10^{20} \text{Hz} \quad \lambda = 2,42 \cdot 10^{-12} \text{m}$$

$$d) \quad (\text{Röntgenstrahlung})$$

- $f=100 \text{MHz} \quad E = h \cdot f = 6,63 \cdot 10^{-28} \text{J} = 4,14 \cdot 10^{-7} \text{eV}$
 - $f=700 \text{MHz} \quad E = 4,64 \cdot 10^{-25} \text{J} \quad m = \frac{h \cdot f}{c^2} = 5,15 \cdot 10^{-42} \text{kg} \quad p = \frac{h \cdot f}{c} = 1,55 \cdot 10^{-33} \text{Ns}$
 $f=2,6 \text{GHz} \quad E = 1,72 \cdot 10^{-24} \text{J} \quad m = 1,91 \cdot 10^{-41} \text{kg} \quad p = 5,74 \cdot 10^{-33} \text{Ns}$
 - Die Energie „Hertzscher Quanten“ liegt weit unter der Ablösearbeit von Metallen.

$$3. \quad P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta E}{t} = \frac{N \cdot E_{ph}}{t} = \frac{N \cdot h \cdot f}{t} = \frac{N \cdot h \cdot c}{t \cdot \lambda} \quad N = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c} \approx 17$$

- $m = 3,5 \cdot 10^{-36} \text{kg} \quad p = 1,05 \cdot 10^{-27} \text{Ns}$
 - Energie eines Photons: $E_{ph} = 3,14 \cdot 10^{-19} \text{J} \quad N = \frac{P \cdot t}{E_{ph}} = 3,2 \cdot 10^{19} \text{Photonen}$
 - bei Reflexion des Lichtes erfolgt ein elastischer Stoß und eine Impulsänderung um $\Delta p = 2p$
 Impulsänderung für ein Photon: $\Delta p = 2,1 \cdot 10^{-27} \text{Ns}$
 Impulsänderung für N Photonen: $\Delta p_{ges} = N \cdot \Delta p = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{Ns}$
 aus dem Kraftstoß $\Delta p_{ges} = F \cdot t$ ergibt sich: $F = \frac{\Delta p_{ges}}{t} = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{N}$
 - $A = \frac{\pi}{4} d^2 = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 \quad \text{Druck: } p = \frac{F}{A} = 0,02 \text{Pa} \quad (p \text{ nicht mit Impuls verwechseln!})$
 - Bei der Absorption des Lichtes findet ein unelastischer Stoß statt und die Impulsänderung beträgt $\Delta p = p$ (ist also halb so groß). Damit ist auch die wirkende Kraft nur halb so groß.