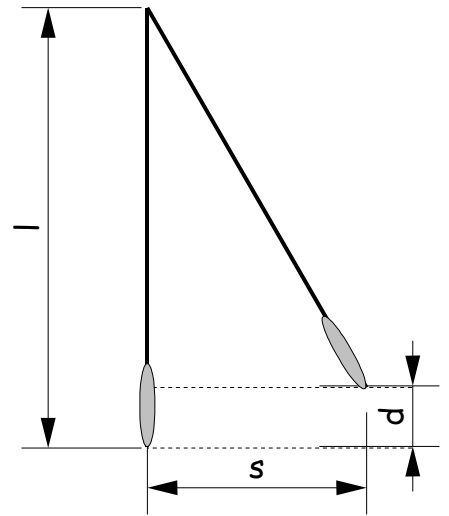


1. Das dunkel adaptierte Auge nimmt eine Bestrahlungsstärke von $1,0 \cdot 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$ bei einer Wellenlänge $\lambda = 600 \text{ nm}$ gerade noch wahr. Wie viele Photonen treffen je Sekunde die Pupillenöffnung mit 6 mm Durchmesser?
2. Wie viele Photonen erzeugt ein Mikrowellenherd (1000 Watt) in der Sekunde?
3. Wie groß ist die Bestrahlungsstärke in 20 m Abstand von einem 100 kW -Sender bei gleichmäßiger Abstrahlung? Wie viele Quanten werden bei $l = 30 \text{ cm}$ in 1 s abgestrahlt?
4. Photonenmasse

Bei Wechselwirkung von Licht mit Materie hat sich gezeigt, dass Licht der Wellenlänge λ als Strom von Photonen der Energie $E_{\text{ph}} = \frac{hc}{\lambda}$ betrachtet werden kann.

- a) Erklären Sie, wie man - ausgehend von der Beziehung $E_{\text{ph}} = \frac{hc}{\lambda}$ - den Photonen Masse und Impuls zuordnen kann. Leiten Sie die entsprechenden Ausdrücke her.

Zum Nachweis, dass Photonen einen Impuls besitzen, kann der folgende Versuch dienen: Ein ideal reflektierender Spiegel ($m = 2,00 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$) wird an einem langen dünnen Faden aufgehängt und mit einem kurzdauernden intensiven Lichtblitz ($W = 1,0 \text{ J}$; $\Delta t = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ s}$) bestrahlt. Der Spiegel wird dabei wie ein ballistisches Pendel ausgelenkt.

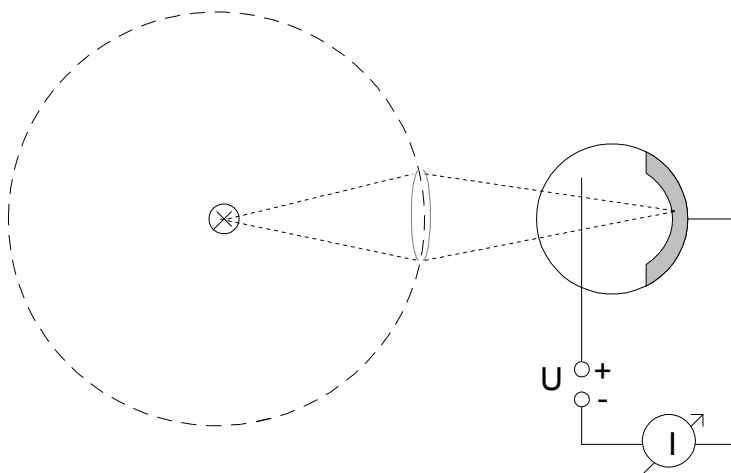


- b) Wie viele Photonen treffen den Spiegel, wenn $\lambda = 693 \text{ nm}$ ist?
- c) Zeigen Sie, dass bei Annahme des in Teilaufgabe a) berechneten Photonenimpulses eine Spiegelauslenkung von etwa $s = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ zu erwarten ist, wenn die Länge des Aufhängefadens $l = 0,100 \text{ m}$ ist. Bei der Berechnung kann davon ausgegangen werden, dass $d \ll l$ ist.
- d) Geben Sie eine Überlegung an, die es verbietet, den Photonen eine Ruhemasse zuzuordnen.
- e) Licht der Frequenz $f_1 = 3,5 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$ wird von einer auf der Erde befindlichen Quelle ausgesandt. Ein um $s = 20 \text{ m}$ über der Quelle angebrachter Empfänger registriert eine Strahlung mit der Frequenz $f_2 = f_1 - \Delta f$, wobei gilt: $\frac{\Delta f}{f_1} = 2,2 \cdot 10^{-15}$. In wie fern stellt der Versuch eine Bestätigung für die Aussage dar, dass man Photonen eine Masse zuordnen kann? Zeigen Sie durch Rechnung, dass für obige Strahlung eine Frequenzverschiebung von der angegebenen Größe zu erwarten ist.

5. Photonen

Eine Spektrallampe, die als punktförmig angenommen werden kann, strahlt eine Lichtleistung von insgesamt 40 W allseitig und gleichmäßig aus. Die prozentuale Verteilung der gesamten Lichtleistung auf drei Spektrallinien ergibt sich aus der Tabelle. Im Abstand von $r = 30 \text{ cm}$ vom Lampenmittelpunkt befindet sich eine dünne Sammellinse mit dem Durchmesser $d = 6,0 \text{ cm}$. Diese Sammellinse bildet die Lampe auf die Photoschicht einer Photozelle ab, zwischen deren Elektroden eine Saugspannung U liegt (Skizze)

Wellenlänge in nm	434	486	656
Anteil	15%	35%	50%



- a) Berechnen Sie die auf die Photoschicht treffende Lichtleistung unter der Annahme, daß in der Linse 5% der Lichtleistung aller Farben absorbiert wird. (Ergebnis: 95 mW)
- b) Berechnen Sie die im Mischlicht vorkommenden Photonenenergien in Joule und Elektronenvolt.
- c) Berechnen Sie den Strom der in der Photozelle fließt. Gehen Sie davon aus, dass die Quantenausbeute im Mittel 1 Photoelektron auf $4 \cdot 10^7$ einfallende Photonen beträgt, und dass jedes Photoelektron zum Strom beiträgt. (Austrittsarbeit Kalium: $2,25 \text{ eV}$)