Brückenkurs Physik
donat.adams@fhnw.ch
www.adams-science.org

Serie 170, Musterlösung

1. Wellenlänge L5XMY5

(a) Berechnen Sie die Wellenlänge bei 20 Hz der transversalen und longitudinalen Wellen in den folgenden Medien:

i. Luft 343 m/s
ii. Helium 981 m/s
iii. Krypton 221 m/s
iv. Aluminium longitudinal 6300 m/s, transversal 3100 m/s

(b) Ein Clown schluckt etwas Helium, sein Kollege schluckt Krypton. Sie sprechen miteinander und das Publikum lacht. Wieso? (Youtube: "Helium Stimme")

Lösung:

(a) Wellenlängen bei 20 Hz

i. Luft ist ein Gas, deshalb gibt es keine transversalen Wellen in diesem Medium.
Longitudinale Wellen: $T = 1/f = 0.02$ s und $\lambda = T \cdot c = 17.15$ m.

ii. Helium ist ein Gas $\Rightarrow$ keine transversalen Wellen
Longitudinale Wellen: $\lambda = T \cdot c = 49.05$ m.

iii. Krypton ist ein Gas $\Rightarrow$ keine transversalen Wellen
Longitudinale Wellen: $\lambda = T \cdot c = 11.05$ m.

iv. Aluminium longitudinal $\lambda = T \cdot c = 315$ m, transversal $\lambda = T \cdot c = 155$ m

(b) Die Gase verändern die Stimme, der Helium-Clown spricht mit einer hohen stimme, der Krypton-Clown mit einer tiefen Stimme.
Um das Phänomen zu erkären, betrachten wir Orgelpfeifen: In ihnen entstehen nur Wellen bestimmten Wellenlänge λ, d.h. mit einer dazugehörigen Frequenz $\lambda = c \cdot \frac{1}{f}$. In der Pfeife der Länge l entsteht der Ton mit Wellenlänge $\lambda = 2 \cdot l$. Wird eine Orgelpfeife mit z.B. l =1 m nun in einem Gas betrieben, mit $c_g > c_{\text{Luft}}$ statt in Luft, dann bleibt die Wellen*länge* gleich, die Frequenz der Schwingung muss aber steigen, damit $2 \cdot 1\,\text{m} = \lambda = c_g \cdot \frac{1}{f}$ immer noch erfüllt ist. Für $c_g < c_{\text{Luft}}$ tritt der gegenteilige Effekt ein.
Unser Stimmapparat basiert u.a. auf der Resonanz der Töne im Körper. Deshalb verschiebt sich die Stimmlage in Abhängigkeit des Gases, das wir aufnehmen.

2. Bewegungsgleichung Schwingung IACR1I

Schreiben Sie die Bewegungsgleichung für folgende Schwingungen auf. Wir gehen davon aus, dass für alle Teilaufgaben entweder

$$y(0) = 0 \text{ oder } \frac{dy}{dt} = 0$$

gilt und deshalb entweder

$$y(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t) \text{ oder } y(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

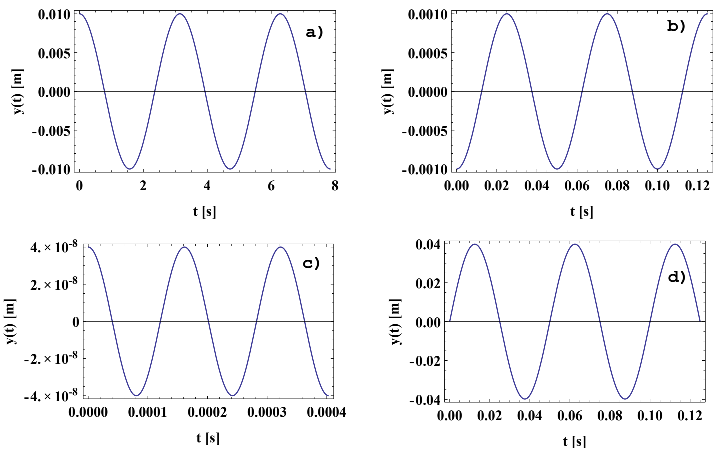
(a) $y(0) = 1$ cm; $\omega = 2\ \mathrm{s}^{-1}$.

(b) $y(0) = -1$ mm; $f = 20$ Hz.

(c) $y(0) = 0.04\ \mu$m; $f = 6.2$ kHz.

(d) $v(0) = \dot{y}(0) = 5$ m/s; $f = 20$ Hz.

Lösung:



(a) $y(t) = \cos(2\ \mathrm{s}^{-1} \cdot t) \cdot 1$ cm

(b) $\omega = 2\pi \cdot 20\ \mathrm{s}^{-1}$

$$y(t) = \cos(2\pi \cdot 20\ \mathrm{s}^{-1} \cdot t) \cdot (-1)\ \mathrm{mm}$$

(c) $\omega = 2\pi \cdot 6.2 \cdot 1000\ \mathrm{s}^{-1}$

$$y(t) = \cos(38955.7\ \mathrm{s}^{-1} \cdot t) \cdot 4 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{m}$$

(d) Hier ist die Anfangsgeschwindigkeit und die Amplitude gegeben. $y(0) = 0$ bedeutet, dass die Schwingung mit einer sin-Funktion beschrieben werden kann. Wir überlegen:

$$\begin{aligned} y(t) &= A \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ y'(t) &= A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) \end{aligned}$$

und beim Zeitpunkt $t = 0$

$$y'(0) = A \cdot \omega \cdot 1 = v_0 \quad \Rightarrow \quad A = \frac{v_0}{\omega} = \frac{5}{2\pi\, 20}\,\frac{\mathrm{m\,s}}{\mathrm{s}} = 0.0398\mathrm{m}$$

also

$$y(t) = \sin(2\pi \cdot 20\ \mathrm{s}^{-1} \cdot t) \cdot 0.0398\ \mathrm{m}$$

3. Eigenfrequenz **T5B20E**

Berechnen Sie die Frequenz der Federpendel. Vernachlässige Sie die Reibung und die Masse der Feder.

(a) $D = 40$ kN/m, $m = 2$ kg

(b) CO_2 Moleküle kleben auf einer Metall-Oberfläche (Absorption von Molekülen). Sie können vibrieren und absorbieren Licht mit der Wellenlänge von $\lambda = 7.14$ μm. Wie stark ist die Bindung (Federkonstante) zwischen Molekül und Oberfläche. $m_{\mathrm{CO2}} = 44 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}$ kg.

Lösung:

(a) Wir berechnen die Winkelfrequenz

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}} = 141.421\mathrm{s}^{-1}$$

und daraus die Frequenz $f = \frac{\omega}{2\pi} = 22.50$ Hz.

(b) Wir berechnen die Frequenz, die nötig ist um das Licht der Wellenlänge $\lambda = 7.14$ μm zu absorbieren:

$$c \cdot T = \lambda \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = 4.199 \cdot 10^{13}\,\mathrm{Hz}$$

Jetzt untersuchen wir, welche Federkonstante nötig ist um diese Frequenz zu erzeugen mit einem CO_2 als schwingende Masse:

$$2\pi f = \sqrt{\frac{D}{m}} \Rightarrow D = (2f \cdot \pi)^2 \cdot m = 5083.53\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$$

4. Diffraktion **ZBAP9C**

Eine Folien mit Linienmuster (d ist der Abstand der Linien) wir mit einem Laser der Wellenlänge 635 nm beleuchtet. Auf einem Schirm 70 cm von der Folie entfern sieht man ein Maximum 0. Ordnung und 2 Maxima 1. Ordnung im Abstand von 48 cm von einander.

(a) Wie gross ist der Abstand d der Linien auf der Folie?

(b) Wieviele Linien sind auf 1 mm gedruckt?

Lösung:

Wir berechnen aus den Angaben den Diffraktionswinkel

$$c \cdot \tan(\alpha) = b \;\Rightarrow\; \alpha = \arctan\left(\frac{0.48/2}{0.7}\right) = 18.92°$$

Jetzt benutzen wir das Diffraktionsgesetz um den Abstand zu bestimmen:

$$d \sin(\alpha) = \lambda \;\Rightarrow\; d = \frac{\lambda}{\sin(\alpha)} = 1.96\ \mu\mathrm{m}$$

Pro 1 mm hat es m Striche:

$$m = \frac{1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 1.96} = 511$$

5. Austrittarbeit **MA9NFL**

Berechnen Sie minimale Frequenz und Wellenlänge des Lichtes, das Elektronen aus dem Material entfernen kann.

Austrittsarbeiten: (1 $eV = 1.60218 \cdot 10^{-19}$ J)

(a) Na 2.28 eV

(b) Li 2.2 eV

Lösung:

(a) $E = 2.28\,\mathrm{eV} = 3.65 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}$. Aus $E = f \cdot h$ mit der Panck-Konstante $h = 6.62607 \cdot 10^{-34}$ Js erhalten wir

$$f = \frac{E}{h} = 5.51 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz}\ ,$$

und eine Wellenlänge von

$$c \cdot T = \lambda \Rightarrow \lambda = c \cdot \frac{1}{f} = 543.8\,\mathrm{nm}$$

(b) $E = 2.2\,\mathrm{eV} = 3.525 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}$.

$$f = \frac{E}{h} = 5.32 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz}\ ,$$

und

$$\lambda = c \cdot \frac{1}{f} = 563.6\,\mathrm{nm}$$

6. Interferenz Q2C2TL

Zum Signal $f(t) = 3 \cdot \sin(5 \cdot t\,\frac{1}{\mathrm{s}})$ wird ein zweites $g(t) = 2 \cdot \cos(5 \cdot t\,\frac{1}{\mathrm{s}})$ addiert. Berechnen Sie Frequenz, Amplitude und Phasenverschiebung des resultierenden Signals $h(t) = f(t) + g(t) = A \cdot \sin(5 \cdot t + \varphi)$.

$$\begin{aligned}\sin(x \pm y) &= \sin(x)\cos(y) \pm \cos(x)\sin(y)\\ \cos(x \pm y) &= \cos(x)\cos(y) \mp \sin(x)\sin(y)\end{aligned}$$

Lösung:

Wir beginnen mit dem Ziel und dem Hinweis:

$$\begin{aligned}A \cdot \sin(5 \cdot t + \varphi) &= A \cdot [\sin(5 \cdot t)\cos(\varphi) + \cos(5 \cdot t)\sin(\varphi)]\\ &= A\cos(\varphi) \cdot \sin(5 \cdot t) + A\sin(\varphi) \cdot \cos(5 \cdot t)\end{aligned}$$

Der letzte Ausdruck soll gleich dem Eingangssignal sein, wir schreiben also

$$3 \cdot \sin(5 \cdot t) + 2 \cdot \cos(5 \cdot t) = A\cos(\varphi) \cdot \sin(5 \cdot t) + A\sin(\varphi) \cdot \cos(5 \cdot t)$$

Dies muss für alle t gelten. Das kann nur erfüllt sein, wenn links und rechts vor den Funktionen $\sin(5 \cdot t)$ und $\cos(5 \cdot t)$ die selbe Zahl steht. Das nennt man Koeffizienten-Vergleich. Es ergibt sich folgendes Gleichungssystem:

$$\left|\begin{array}{lcl}\mathrm{L}_1,\ [\sin(5 \cdot t)]: & 3 = & A\cos(\varphi)\\ \mathrm{L}_2,\ [\cos(5 \cdot t)]: & 2 = & A\sin(\varphi)\end{array}\right|$$

Das System lässt sich wie folgt lösen:

- Wir wollen A eliminieren. Dafür rechnen wir

  $$L_2/L_1: \quad \underbrace{\frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)}}_{=\tan(\varphi)} = \frac{2}{3}$$

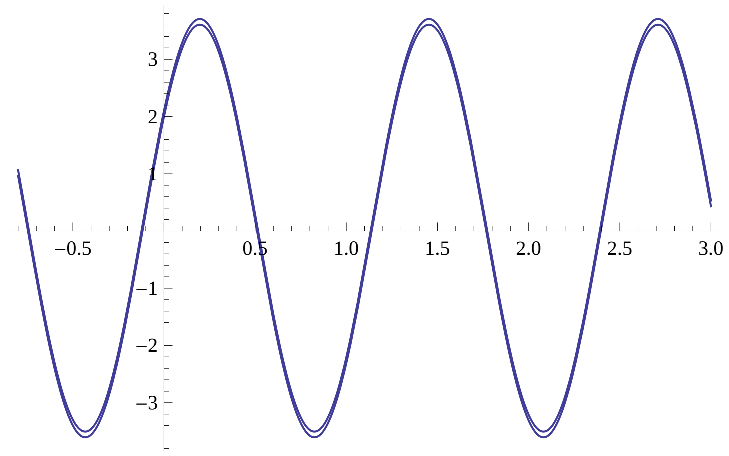
  Also $\varphi = \arctan(\frac{2}{3}) = 0.588003$.
- Um die trigonometrischen Funktionen los zu werden, wollen wir benutzen, dass allgemein gilt $\cos(\varphi)^2 + \sin(\varphi)^2 = 1$. Deshalb berechnen wir

  $$(L_1)^2 + (L_2)^2: \quad 3^2 + 2^2 = (A\cos(\varphi))^2 + (A\sin(\varphi))^2$$

  Dies lässt sich umformen zu $3^2 + 2^2 = A^2\big[\underbrace{(\cos(\varphi))^2 + (\sin(\varphi))^2}_{=1}\big]$. Also $A = \sqrt{3^2 + 2^2} = 3.60555$.

Wir erhalten also

$$3 \cdot \sin(5 \cdot t) + 2 \cdot \cos(5 \cdot t) \quad = \quad 3.60555 \cdot \sin(5 \cdot t + 0.588003)$$



7. Fizeau Experiment **D3UVTW**

Hippolyte Fizeau hat die Lichtgeschwindigkeit mit einem Zahnrad und einer $l =$ 8633 m langen Strecke bestimmt. Er montierte Zähne auf ein Rad, das beim Drehen ein Loch mit einer Frequenz von $f = 18\,261$ Hz abwechselnd öffnete und schliesst. Bei dieser Frequenz stellte sich folgendes ein:

- Bei ersten Öffnen des Lochs geht der Lichtstrahl durch das Loch.
- Während das Loch geschlossen geht der Lichstrahl die Strecke l bis zur Spiel und zurück.
- Die Öffnung wird wieder geöffnet und der Lichstrahl geht durch das selbe Loch in engegen gesetzter Richtung.

Berechnen Sie mit diesen Angaben die Lichtgeschwindigkeit.

Lösung:

Wir berechnen zuerst die Zeit zwischen zwei vollständigen Öffnungen des Spalts: $T = \frac{1}{f} = 0.0000547605$ s. Der Lichtstrahl geht in dieser Zeit vom Zahnrad zum Spiegel und dann wieder zurück. Deshalb schreiben wir

$$T \cdot c = 2 \cdot l \;\Rightarrow\; c = \frac{2 \cdot l}{T} = 3.153 \cdot 10^8 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Die Messung weist also einen Fehler von rund 5% auf ($c = 299\,792\,458$m/s).

8. Natur des Lichtes **M8ZYKK**

(a) Im Altertum stellten sich die Griechen vor, dass vom Auge Sehstrahlen ausgehen, die wie Fühler die Umgebung abtasten. Ein Körper wird nach dieser Vorstellung gesehen, wenn Sehstrahlen von ihm zurückgeworfen werden und ins Auge gelangen. Wie kann man diese Vorstellung widerlegen

(b) Nenne einige “heisse” und “kalte” Lichtquellen.

Lösung:

(a) Brechung am Prisma: Der Sehstrahl würde einheitlich am Prisma gebrochen. Die Entstehnung der verschiedenen Farben am Prisma wäre rätselhaft. Oder im Photoapparat: Wenn Sehstrahlen nur im Auge entstehen, dürfte der Fotoapparat keine Bilder machen.

(b) Heisse Lichtquellen: klassische Glühlampe. Sie hat einen Wolframdraht, der heiss wird, ca. 2000-3000 K.
Kalte Lichtquellen: Leuchtstoffröhren, Energiesparlampen, LED und Laser. Licht entsteht nicht durch Wärmestrahlung sondern durch gezielte Anregung von Elektron.

9. Steuung F7W21S

(a) Nenne Körper, die auch bei Tage nicht oder schwach sichtbar sind, weil sie auftreffendes Licht nicht streuen.

(b) Warum sieht man sehr schlecht durch eine staubige Autoscheibe, vor allem wenn die Sonne scheint oder bei Gegenlicht?

Lösung:

a) Gase, Glas , helle Kristalle
b) Weil das Licht an jedem Staubkorn gestreut wird. Die Lage der Staubkörner ist zufällig, deshalb ist auch die Streurichtung zufällig. Die Körner leuchtn also in alle Richtungen, auch in unser Auge.
Die Intensiät dieser Strahlung in die Richtung unserer Augen kann stärker sein, als die des Streu-Lichtes, das ungestreut durch die Scheibe geht. Deshalb sehen wir nur die Schreibe und nicht mehr das, was aussen am Auto ist.

10. Haar im Laserstrahl IX67WB

Ein dünner Laserstrahl (Laserpointer o.ä.) erzeugt auf einem einige Meter entfernten Schirm einen hellen Punkt. Nun wird in den Strahl ein senkrecht gespanntes Haar (Kopf, Besen o.ä.) gehalten. Wie verändert sich das Bild auf dem Schirm?

(a) Das Bild ändert sich gar nicht.

(b) Im Punkt des Lasers ist der Schatten des Haares zu erkennen.

(c) Rechts und links von dem hellen Punkt sieht man weiter Punkte in einer Reihe angeordnet, die mit grösser werdendem Abstand an Helligkeit verlieren.

Lösung:
c) An den beiden Rändern des Haares tritt Beugung auf.

11. Farben **9V64U1**

Auf einem weissen Schild befinden sich zwei Worte: GELB in der Farbe gelb und BLAU in der Farbe blau. Das Schild wird bei völliger Dunkelheit mit dem Licht einer Natriumdampflampe (Wellenlänge 590 nm) beleuchtet. In welchen Farben erscheinen die beiden Wort und das Schild?

(a) GELB bleibt gelb, BLAU bleibt blau auf weissem Grund.

(b) GELB bleibt gelb, BLAU wird grün auf weissem Grund.

(c) GELB ist auf gelbem Grund praktisch nicht mehr sichtbar, BLAU wird grün.

(d) GELB ist auf gelbem Grund praktisch nicht mehr sichtbar, BLAU wird grau.

Lösung:

d) GELB ist auf gelbem Grund praktisch nicht mehr sichtbar, BLAU wird grau. Ein Körper erscheint in der Farbe, die er reflektiert. Weiss reflektiert alle Farben. Die Natriumdampflampe sendet nur gelbes Licht aus. Dieses wird von dem weissen Hintergrund und der gelben Schrift reflektiert und beide unterscheiden sich nicht mehr. Die blaue Schrift würde blaues Licht reflektieren, es ist aber keines vorhanden. Deshalb erscheint dieser Schriftzug grau. Im gelben Natriumdampflicht ist ein Farbsehen praktisch nicht möglich.

12. Interferenz am Gitter **HWQD57**

Ein Gitter mit 1000 Linien pro mm wird mit dem Licht einer Halogenlampen bestrahlt. Es steht 35 cm vor einem Schirm.

(a) Welche Farbe hat der innere Rand des sichtbaren 1. Maximums (380 nm)? Unter welchem Winkel erscheint es?

(b) Welche Farbe hat der äussere Rand des sichtbaren 1. Maximums (780 nm)? Unter welchem Winkel erscheint es?

(c) Wie breit ist das sichtbare Maximum 1. Ordnung, das im Bereich von 380 nm bis 780 nm liegt? Benutzen Sie die Werte aus den ersten Teilaufgaben.

Lösung:

(a) Der innere Rand ist blau. Es erscheint unter dem Winkel

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{\lambda_1}{d}\right) = \arcsin\left(\frac{380 \cdot ^1 0^{-9}}{10^{-6}} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m}}\right) = 22.33^\circ$$

(b) Der äussere Rand ist rot. Es erscheint unter dem Winkel

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{\lambda_1}{d}\right) = \arcsin\left(\frac{780 \cdot ^1 0^{-9}}{10^{-6}} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{m}}\right) = 51.26^\circ$$

(c) Breite auf dem Schirm : $\Delta\alpha = 28.92^\circ$. Auf einem runden Schirm:

$$l = 2\pi \cdot 0.35 \frac{\Delta\alpha}{360^\circ}\,\mathrm{m} = 0.177\,\mathrm{m}$$

Auf einem flachen Schirm

$$l = 0.35 \tan(\Delta\alpha)\,\mathrm{m} = 0.193\,\mathrm{m}$$

13. Photozelle **NB9NFL**

(a) Beschreiben Sie einen einfachen Versuch mit einem Elektroskop als Nachweisgerät, mit dem sich der Photoeffekt beobachten lässt.

(b) Geben Sie zwei Beobachtungen beim Photoeffekt an, die im Widerspruch zur klassischen Lichtwellentheorie stehen. Erklären Sie die von Ihnen genannten Beobachtungen unter Verwendung der Einstein'schen Deutung des Photoeffektes.

(c) Vakuumphotozellen basieren auf dem Photoeffekt. Bei Bestrahlung mit geeignetem monochromatischem Licht ist eine Vakuumphotozelle eine Spannungsquelle.
Geben Sie die Beziehung für den Zusammenhang zwischen der Spannung der Photozelle und der Frequenz des eingestrahlten Lichts an.

(d) Grünes Licht der Frequenz $f = 5.38 \cdot 10^{14}$ Hz soll durch eine Vakuumphotozelle nachgewiesen werden. Zur Verfügung stehen Photozellen mit folgenden Kathodenmaterialien: Cäsium, Gold, Kalium, Platin und Rubidium. Geben Sie begründet an, welche dieser Photozellen geeignet sind.

(e) Bei Verwendung von speziellen Legierungen erreicht man bei Photozellen Austrittsarbeit von 1.0 eV. Untersuchen Sie, in welchem Bereich die Geschwindigkeiten von Photoelektronen liegen, die durch sichtbares Licht (400 nm bis 800 nm) in solchen Photozellen ausgelöst werden.

Lösung:

(a) Ein Elektroskop mit einer Gold-Elektrode wird mit Ultraviolett-Licht berleuchtet. Dabei treten Elektronen aus der Gold-Elektrode aus und erzeugen einen Strom im Elektroskop.

(b) Wird die Photozelle mit starker Intensität aber langer Wellenlänge beleuchtet (Einstein: es treffen zwar viele Photonen ein, aber jedes einzelne hat eine tiefe Energie $E = h \cdot f$), dann ist kein Strom am Elektroskop beobachtbar. Und umgekehrt: Wird die Photozelle mit schwachter Intensität aber kurzer Wellenlänge beleuchtet, dann ist ein Strom am Elektroskop beobachtbar.(Einstein: es treffen nur einzelne Photonen ein, die aber genug Energie auf sich tragen $E = h \cdot f$ um Elektronen aus dem Metall zu lösen).

(c) Die Energie des eingestrahlten Photons wird umgesetzt in Austrittsarbeit und in kinetische Energie des Elektrons:

$$E = h \cdot f = W_0 + e \cdot U \ ,$$

dabei sind h die planck'sche Konstante, f die Frequenz der Photonen, W_0 die Austrittsarbeit, e die Elementarladung und U die Spannung am Elektroskop.

(d) Die Austrittsarbeit in der Metalle sind in Aufsteigender Reihenfolge

- Cs 1.7 — 2.14 eV
- Rb 2.13 eV

- K 2.25 eV
- Pt 5.32 — 5.66 eV

mit $1\,\mathrm{eV} = 1.60218 \cdot 10^{-19}$ J. Grünes Licht der Frequenz $f = 5.38 \cdot 10^{14}$ Hz hat die Energie

$$E = f \cdot h = 3.56483 \cdot 10^{-19}\mathrm{J} = 2.225\,\mathrm{eV}$$

Das grüne Licht wird Elektronen nur in den Cs oder Rb Photo-Zellen erzeugen. Für K oder Pt hat es nicht genügend Energie um die Austrittsarbeit zu verrichten.

(e) Wir wollen zuerst die Energie der Photonen berechnen

$$T \cdot c = f \ \Rightarrow\ f = \frac{c}{\lambda} = 7.5 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz}\ (3.75 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz})\ .$$

Also

$$E = h \cdot f = 4.97 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}\ (2.48 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J})$$

Diese Energie wird dem Elektron übergeben. Beim Verlassen der Kathode verrichtet das Elektron die Austrittsarbeit:

$$E' = E - W_0 = 3.36 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}\ (0.88 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J})$$

Dies entspricht der Geschwindigkeit

$$E' = m \cdot v^2 \ \Rightarrow\ v = \sqrt{\frac{E'}{m}} = \sqrt{\frac{3.36 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}}{9.10938 \cdot 10^{-31}\mathrm{kg}}} = 6 \cdot 10^5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\ (3.1 \cdot 10^5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}})$$