

1.Aufgabe: Beugung am Einzelspalt/Doppelspalt/Gitter

a) Senkrecht auf einen Einzelspalt der Breite 0,4 mm fällt paralleles Licht der Wellenlänge 750 nm und erzeugt auf einem 4 m entfernten, parallel zur Spaltebene stehenden Schirm eine Beugungsfigur.

1. Berechnen Sie den Abstand der beiden Minima 1. Ordnung.

Nun lässt man paralleles Licht der Wellenlänge 600 nm auf den Spalt fallen.

2. Berechnen Sie, wie breit der Spalt jetzt sein müsste, damit die beiden Minima 1. Ordnung gleichweit voneinander entfernt sind wie in 1).

3. Untersuchen Sie rechnerisch, ob dann auch die Minima höherer Ordnung ebenfalls gleich weit voneinander entfernt sind wie in 1).

b) Paralleles, einfarbiges Licht der Wellenlänge λ fällt senkrecht auf ein optisches Gitter mit der Gitterkonstanten g und erzeugt auf einem parallel zum Gitter im Abstand a aufgestellten Schirm helle Linien.

1) Erklären Sie unter Verwendung einer geeigneten Skizze das Zustandekommen der hellen Linien auf dem Schirm. Leiten Sie je eine Beziehung her zur Berechnung des Winkels α_k , unter dem das Maximum k -ter Ordnung entsteht, bzw. des Abstandes $2 x_k$ der beiden Maxima k -ter Ordnung auf dem Schirm.

2) Berechnen Sie den Abstand der Maxima 4. Ordnung bei einer solchen Anordnung mit einem Gitter mit 2000 Strichen pro cm, Licht der Wellenlänge $\lambda = 546$ nm und einem Schirmabstand $a = 1,50$ m. Bis zu welcher Ordnung können Maxima auftreten? Der Abstand der Maxima wächst mit zunehmender Ordnung. Berechnen Sie den Unterschied dieser Abstände für die Nachbarmaxima eines Maximums 4. Ordnung.

3) Nun lässt man auf das Gitter der Teilaufgabe 2) sichtbares Licht der Wellenlängen $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ fallen. Zeigen Sie, dass sich die Spektren 2. und 3. Ordnung überlappen. Welche Beziehung muss zwischen λ_1 und λ_2 bestehen, damit für Licht aller Wellenlängen λ im Bereich $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$ sich die Spektren der Ordnung k und der Ordnung $(k+1)$ nicht überlappen?

2.Aufgabe: Reflexion an dünnen Schichten – Reflexionsgitter

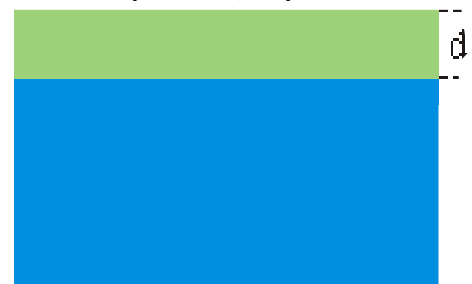
a) Auf einer Wasserpflanze ($n_w = 1,33$) schwimmt ein dünner Ölfilm ($n_{öl} = 1,40$). Weißes Licht fällt nahezu senkrecht auf den Ölfilm.

Bei der Beobachtung in Reflexion hat man von der Ölschicht einen "gelblichen"

Farbeindruck, da blaues Licht ($\lambda = 469$ nm) durch Interferenz eliminiert wird.

$$n_{öl} = 1,40$$

$$n_w = 1,33$$



1) Zeichnen Sie die für die Interferenz maßgeblichen Strahlen ein und berechnen Sie die kleinste von Null verschiedene Dicke der Ölschicht, damit der geschilderte Effekt eintritt.

2) Tatsächlich erscheint die Ölschicht in verschiedenen Farben. Was könnte hierfür der Grund sein?

b) Das nebenstehende Bild zeigt eine mit weißem Licht bestrahlte Seifenhaut vor dunklem Hintergrund, die sich schon einige Zeit zwischen einem Drahtrahmen befindet. Erklären Sie die Farbschichtungen im unteren Teil der Seifenhaut qualitativ.

Gehen Sie auch darauf ein, warum die Seifenhaut kurz vor dem Abreißen im oberen Teil schwarz erscheint.



c) Die CD wirkt wie ein Reflexionsgitter. Jede Rille ist Ausgang einer Elementarwelle, die sich unter bestimmten Winkeln konstruktiv überlagern. Skizzieren Sie einen Versuchsaufbau zur Bestimmung der Abstände der Spirale.



Eine CD wird senkrecht mit einem Laser (Wellenlänge $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ vorgegeben) bestrahlt. An der Wand hinter dem Laser sind ein sehr heller Fleck direkt hinter dem Laser und zwei weniger helle Flecke zu sehen. Der Abstand CD-Wand wurde mit $a = 2,280 \text{ m}$ gemessen, der Abstand der beiden äußeren Punkte wurde mit $d = 2,034 \text{ m}$ gemessen.

3.Aufgabe: Fotoeffekt

- a) Skizzieren Sie eine Versuchsanordnung, bei der mit Hilfe einer Vakuumfotозelle die maximale kinetische Energie von Photoelektronen in Abhängigkeit von der Lichtfrequenz gemessen wird. Beschreiben Sie die Versuchsdurchführung. (Gegenfeldmethode).
 b) In einer Messreihe wurden zwei Fotозellen mit unterschiedlichem Material mit unterschiedlichen Wellenlängen bestrahlt und die dazugehörige Gegenspannung gemessen.

Wellenlänge in nm	578	546	436	405	366
Gegenspannung U_g in V für Kalium	0,00	0,03	0,62	0,81	1,41
Gegenspannung U_g in V für Cäsium	0,52	0,60	0,90	1,12	1,44

- 1) Tragen Sie die maximale kinetische Energie der ausgelösten Elektronen in eV gegen die Frequenz des Lichtes auf.
- 2) Was haben die Graphen gemeinsam und worin unterscheiden sie sich? Welche Größen sind Variablen, welche Parameter?
- 3) Ermitteln Sie aus dem Diagramm die Plancksche Konstante, die Grenzfrequenz und die Ablösearbeit jeweils für Kalium und Cäsium.
- 4) Wie ist der Spannungswert 0 V für 578 nm bei Kalium zu interpretieren? Bei welcher Frequenz ist bei Frequenzverminderung U_g zum ersten Mal Null? Was geschieht in der Fotозelle bei Beleuchtung mit Licht unterhalb dieser Frequenz?

Ab jetzt wird Cäsium als Kathodenmaterial zugrunde gelegt.

- 5) Zeigen Sie, dass auch für $\lambda = 492 \text{ nm}$ Elektronen ausgelöst werden. Leiten Sie eine Formel für die Geschwindigkeit für diese Photoelektronen her und berechnen sie diese.
- 6) Welche Gegenspannung U_g zeigt der Spannungsmesser für Laserlicht mit $\lambda = 633 \text{ nm}$ und für Licht der Quecksilberdampf Lampe mit $\lambda = 366 \text{ nm}$ an?

Gleichung für die Reflexion an dünnen Schichten (nahezu senkrechter Einfall: $\alpha = 0^\circ$). Der Gangunterschied beträgt:

$$\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sqrt{n^2 - (\sin \alpha)^2}$$

Viel Erfolg!

LÖSUNG

1. Aufgabe: a)

1.) Minima treten beim Einzelspalt auf, wenn gilt: $\sin \alpha_k \approx \frac{k \lambda}{b}$ für $k = 1, 2, 3, \dots$

Weiterhin gilt: $\tan \alpha_k = x_k/a$. Da die Winkel klein sind, kann man setzen:

$\sin \alpha \approx \tan \alpha$. Damit erhält man:

$$\frac{k \lambda}{b} \approx \frac{x_k}{a} \quad * \quad x_k \approx \frac{k \lambda a}{b} \approx 1,5 \text{ cm}$$

2.) Entsprechend muss jetzt nach b aufgelöst werden:

$$\frac{k \lambda}{b} \approx \frac{x_k}{a} \quad * \quad b \approx \frac{k \lambda a}{x_k} \approx 0,32 \text{ mm}$$

3.) In der Formel zur Berechnung der Abstände x_k sind die Werte für k und a für beide Versuchsanordnungen gleich. Es kommt also auf den Quotienten λ/b an, dieser ergibt sich für beide Anordnungen zu: $750/0,4 = 600/0,32 = 1875$.

b)

1) siehe PowerPoint-Einführung bzw. Lehrbuch

2) Für das Auftreten von Maxima beim Gitter gelten folgende Winkelbeziehungen:

$$\sin \alpha \approx \frac{k \lambda}{g} \quad \text{und} \quad \tan \alpha \approx \frac{x_k}{a}$$

Setzt man die angegebenen Werte ein, so erhält man für

$$\alpha = 25,9^\circ \quad \text{und für } x_4 = 0,728 \text{ m}$$

$$\text{Für das 3. Maximum erhält man: } \alpha = 19,1^\circ \quad \text{und für } x_3 = 0,52 \text{ m}$$

$$\text{Für das 5. Maximum erhält man: } \alpha = 33,1^\circ \quad \text{und für } x_5 = 0,98 \text{ m}$$

Damit ist der Abstand der zum 3. Maximum $0,728 \text{ m} - 0,52 \text{ m} = 0,208 \text{ m}$, der Abstand zum 5. Maximum $0,98 \text{ m} - 0,728 \text{ m} = 0,252 \text{ m}$

Für die Bestimmung des Wertes von k muss folgende Gleichung gelöst werden:

$1 \approx \frac{k \lambda}{g}$ Setzt man die Werte ein, so erhält man: $k = 9,15$, d.h. also, dass das 9. Maximum noch sichtbar ist.

3) Hierzu berechnet man die Winkel.

Das 2. Maximum erstreckt sich über die Winkel von $9,2^\circ$ bis $16,26^\circ$, das 3. Maximum von $13,88^\circ$ bis $24,83^\circ$, d.h. das sich die Spektren von $13,88^\circ$ bis $16,26^\circ$ überlagern.

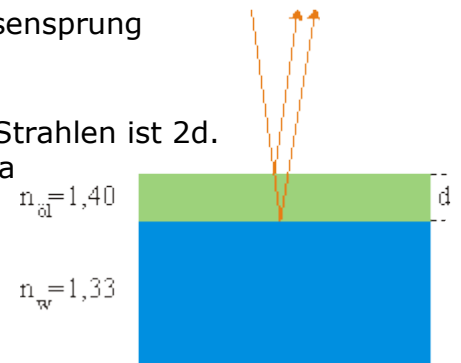
Folgende Beziehung muss gelten:

$$\frac{k \cdot \frac{c}{\lambda}}{g} = \frac{(k \cdot \hat{G} 1)}{g} \cdot \frac{\frac{c}{\lambda}}{\frac{c}{\lambda}} = \frac{k \cdot \hat{G} 1}{k}$$

2. Aufgabe:

a) Der am Übergang Luft-Öl reflektierte Strahl erfährt einen Phasensprung (Reflexion am optisch dichteren Medium).

Der rein geometrische Wegunterschied der beiden reflektierten Strahlen ist $2d$. Allerdings muss man die optische Weglänge $2 \cdot n \cdot d$ verwenden, da der Strahl in Öl eine andere Wellenlänge besitzt.



$$\Delta s = \left| 2 \cdot n_{\text{öl}} \cdot d - \frac{\lambda}{2} \right|$$

Destruktive Interferenz - bei kleinstem d - tritt ein, wenn Δs gleich einer halben Wellenlänge ist:

$$\frac{\lambda}{2} = \left| 2 \cdot n_{\text{öl}} \cdot d_{\text{min}} - \frac{\lambda}{2} \right|$$

Bei der Auflösung der Gleichung mit Betragsstrichen müsste man nun eine Fallunterscheidung anstellen. Der zweite Fall "Term zwischen den Betragsstrichen ist negativ" liefert jedoch ein physikalisch nicht sinnvolles Ergebnis ($d = 0$).

$$\begin{aligned} \frac{\lambda}{2} &= 2 \cdot n_{\text{öl}} \cdot d_{\text{min}} - \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2 \cdot n_{\text{öl}} \cdot d_{\text{min}} \\ \Rightarrow d_{\text{min}} &= \frac{\lambda}{2 \cdot n_{\text{öl}}} \Rightarrow d_{\text{min}} = \frac{469}{2 \cdot 1,40} \text{ nm} = 168 \text{ nm} \end{aligned}$$

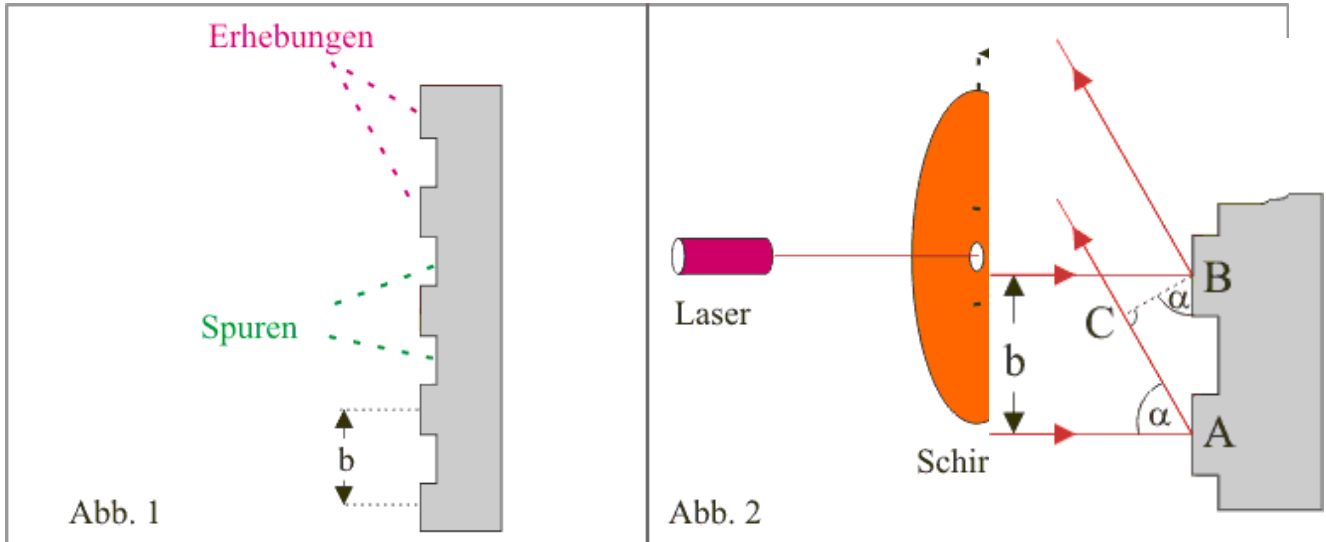
2) Die Dicke der Ölschicht ist nicht überall gleich. Dadurch werden aus dem weißen Licht unterschiedliche Wellenlängen und damit Lichtfarben durch destruktive Interferenz eliminiert. Das ins Auge treffende reflektierte "Restlicht" ist dann - je nach Dicke der Schicht - verschieden farbig.

In der Realität schwankt auch der Beobachtungswinkel. Damit ändert sich die Weglänge des im Öl laufenden Strahls. Die Wellenlänge des "herausgefilterten" Strahls und damit die Farbe des reflektierten "Restlichts" ist also auch vom Beobachtungswinkel abhängig.

b) Aufgrund der Gravitationswirkung ist die Seifenhaut nicht überall gleich dick (sie ist oben dünner als unten). Es hängt also von der Höhe ab, welche Wellenlänge durch destruktive Interferenz aus dem reflektierten Licht eliminiert wird.

Im oberen, dünneren Teil der Seifenhaut geht die Dicke gegen Null. Aus der in Teilaufgabe a) dargestellten Formel für den Gangunterschied sieht man, dass dieser dann gegen $\lambda/2$ strebt. Somit löschen sich - unabhängig von der eingestrahlten Wellenlänge - der auf der Vorderseite und der auf der Rückseite der Seifenhaut reflektierte Strahl aufgrund des Phasensprungs aus. Die Seifenhaut erscheint im oberen, sehr dünnen Teil schwarz.

c)



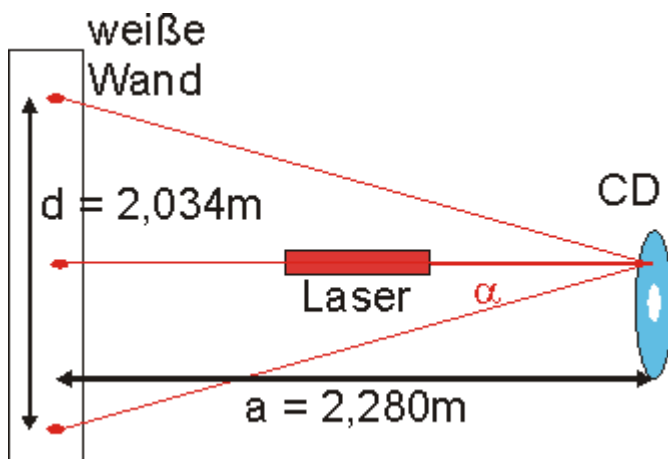
Die Erhebungen zwischen benachbarten Spuren reflektieren Licht und können damit als Erregerzentren von Elementarwellen, die miteinander interferieren, aufgefasst werden. Die Oberfläche der CD ist demnach ein Reflexionsgitter mit der Gitterkonstanten b .

Unter dem Winkel α ergibt sich ein Intensitätsmaximum, falls

Aus der Zeichnung ersieht man, dass gilt:

$$\overline{AC} = b \cdot \sin \alpha \xrightarrow{(1)} b \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda$$

Analog ergeben sich die bezüglich des Einfallslotes achsensymmetrisch liegenden Maxima.



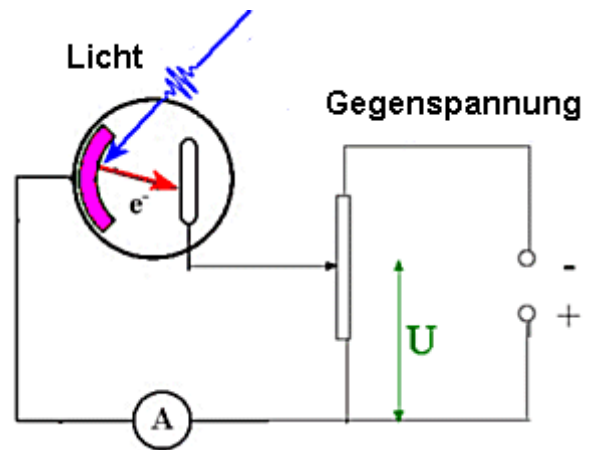
Für das 1. Maximum gilt $\rightarrow \tan \alpha \approx \frac{d}{2a} \approx \frac{2,034}{4,56} * \alpha \approx 24^\circ$

Für das 1. Maximum gilt weiter: $\sin \alpha \approx \frac{\lambda}{b} * b \approx \frac{\lambda}{\sin \alpha} \approx 1,56 \text{ nm}$

3.Aufgabe: a)

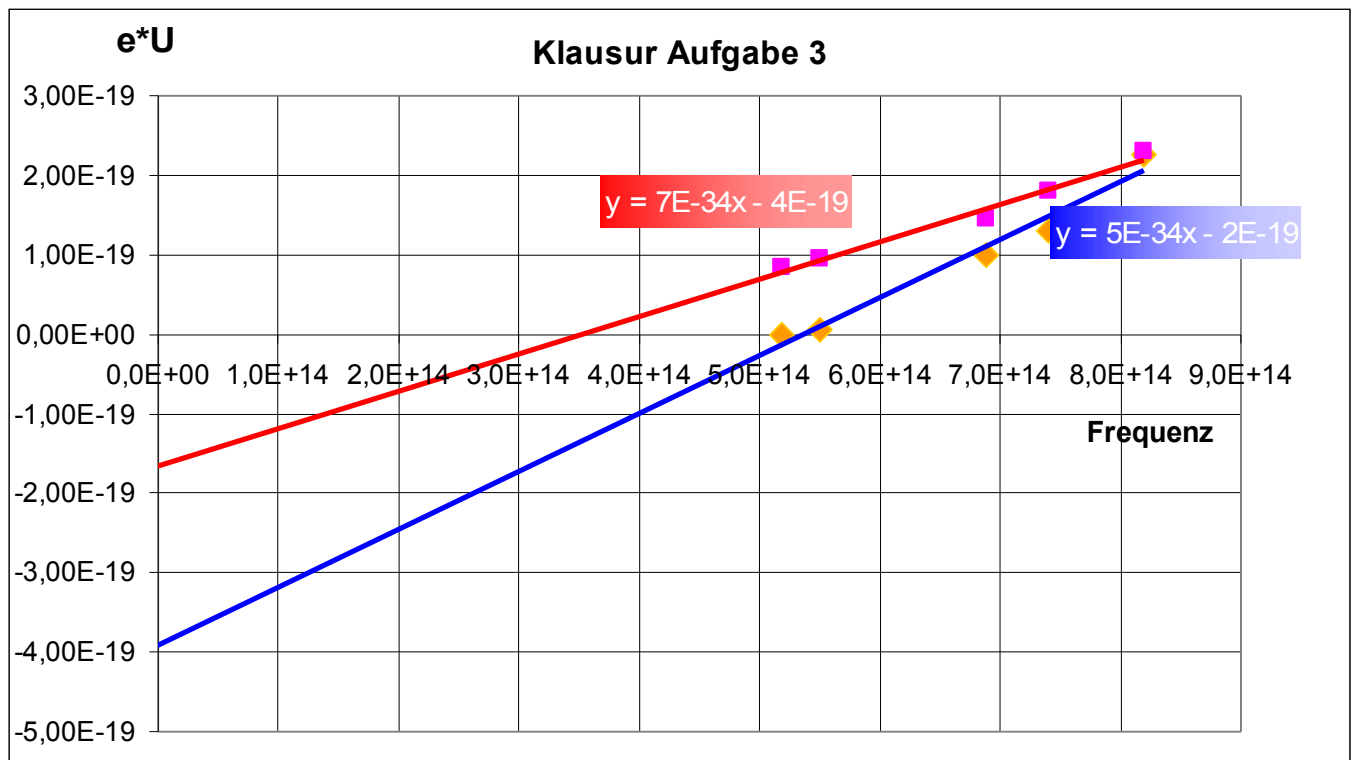
Durch das Einschalten der Hg-Lampe wird die Kathode der Vakuumfotозelle mit monochromatischem Licht, welches man durch Interferenzfilter erhält, bestrahlt. Nun wird die Gegenspannung so reguliert, dass der Anodenstrom Null beträgt. Diese maximale Gegenspannung ist abhängig von der Frequenz aber unabhängig von der Intensität des eingestrahlten Lichtes.

Der äußere Photoeffekt bezeichnet das Ablösen von Elektronen aus einer Materie unter dem Einfluss von genügend kurzwelligem Licht oder anderer elektromagnetischer Strahlung.



b) Grafik mit Excel

1)



Durch die Messfehler sind die Werte für h für Cäsium und Kalium unterschiedlich. Daher sind die Geraden auch nicht parallel, was ein wenig seltsam aussieht.

2) Beide Graphen haben die gleiche Steigung, diese ist h . Unterschiedlich sind die Grenzfrequenz und die Ablösearbeit.

3) Aus dem Diagramm ergibt sich für den Wert für h :

Kalium $\rightarrow h = 7,27 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Cäsium $\rightarrow h = 4,69 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Kalium $\rightarrow f_{gr} = 3,51 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Cäsium $\rightarrow f_{gr} = 5,37 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

4) 0 V bedeutet, dass Elektronen gerade noch ausgelöst werden, diese aber keine kinetische Energie besitzen.

Es gilt die Einsteinsche Gleichung: $h \cdot f = W_A + W_{kin}$

Bei der Grenzfrequenz f_{gr} ist $W_A = h \cdot f_{gr}$. Es ergibt sich also:

$$h \cdot f = h \cdot f_{gr} + W_{kin} \rightarrow W_{kin} = h \cdot (f - f_{gr}) \rightarrow \frac{1}{2} m v^2 = h \cdot (f - f_{gr})$$

aufgelöst nach v mit den Werten $f_{gr} = 3,515 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ und $f = c/492 \text{ nm} = 6,093 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ergibt sich für $v = 325459 \text{ m/s}$

Die Gegenspannung verhindert, dass Elektronen die Kathode gerade nicht mehr erreichen.

D.h. es gilt: $W_{kin} = e \cdot U$, damit ergibt sich

$h \cdot f = h \cdot f_{gr} + e \cdot U$, aufgelöst nach U erhält man für

Laserlicht (633 nm): Die Frequenz liegt unterhalb der Grenzfrequenz, es treten keine Elektronen aus, d.h. es wird **keine** Gegenspannung benötigt.

Quecksilberdampfampe (366 nm): 1,17 V

Grafik mit Mathematica

