

Thema: Spektren

Im Mittelpunkt stehen unterschiedliche Spektren. In der ersten Aufgabe sollen das sichtbare und das infrarote Licht verschiedener Lichtquellen spektral untersucht werden. Thema der zweiten Aufgabe sind Emissions- und Absorptionsspektren. In der dritten Aufgabe wird das Energiespektrum von Americium-241 betrachtet.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Interferenzmuster verschiedener Lichtquellen sollen ausgewertet werden.

- 1.1** Licht einer Glühlampe fällt so durch ein optisches Gitter, dass ein Interferenzmuster auf einem Schirm zu beobachten ist.
Beschreiben Sie das entstehende Schirmbild bis einschließlich der zweiten Ordnungen.
Erklären Sie die Entstehung des Schirmbildes im Bereich des Maximums 0. Ordnung sowie eines Maximums 1. Ordnung. **[8 BE]**
- 1.2** Für die Maxima eines Interferenzmusters am Gitter gilt der folgende Zusammenhang:
$$n \cdot \lambda = g \cdot \sin \left[\tan^{-1} \left(\frac{a_n}{e} \right) \right]$$

n: Ordnung des Maximums; λ : Wellenlänge;
g: Gitterkonstante; e: Abstand Gitter – Schirm;
 a_n : Abstand zwischen Maximum 0. und Maximum n. Ordnung
Leiten Sie begründet diese Gleichung unter Zuhilfenahme geeigneter Skizzen her. **[5 BE]**
- 1.3** In Material 1 (M1) ist das Schirmbild eines Interferenzmusters dargestellt. Als Lichtquelle dient eine grünes Licht emittierende LED (LED-grün).
Beschreiben Sie anhand einer Skizze einen Aufbau, um das Schirmbild zu erhalten.
Bestimmen Sie möglichst genau mithilfe von M1 den Wellenlängenbereich, in dem die LED-grün Licht aussendet. **[6 BE]**
- 1.4** Das Experiment wird durch einen Tausch der LED-grün gegen eine infrarotes Licht emittierende LED (LED-IR) abgeändert. Zur Detektion des Interferenzbildes wird anstelle des Schirms ein Lichtsensor verwendet (M2). Die Messwerte sind in M3 dargestellt.
Bestimmen Sie mithilfe eines zu zeichnenden d - U -Diagramms die Wellenlänge maximaler Intensität $\lambda_{\text{IR,max}}$ des Lichts dieser LED-IR. **[6 BE]**
- 1.5** Bestimmen Sie die Unsicherheit der ermittelten Wellenlänge $\lambda_{\text{IR,max}}$, indem Sie auf Basis von Messunsicherheiten begründet ein Intervall für $\lambda_{\text{IR,max}}$ angeben.
Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass das Gitter (500 ± 1) Striche je Millimeter besitzt.
Erläutern Sie zwei verschiedene Veränderungen am Aufbau des Experiments, um die Unsicherheit für die Wellenlänge $\lambda_{\text{IR,max}}$ zu verkleinern. **[7 BE]**

Aufgabe 2

Zunächst wird das Emissionsspektrum einer Natriumdampflampe (M4) betrachtet. Im weiteren Verlauf werden weitere Emissions- und Absorptionsspektren untersucht.

- 2.1** Erläutern Sie die atomaren Vorgänge, die zu einem Emissionsspektrum führen. **[4 BE]**

- 2.2** Ein vereinfachter Ausschnitt eines Energieniveauschemas von Natrium-Atomen ist in M5 dargestellt.
Erklären Sie mithilfe des Energieniveauschemas den in M4 dargestellten Peak.
Begründen Sie, dass auf Basis des in M5 dargestellten Ausschnitts keine weiteren Peaks in M4 zu erwarten sind. [7 BE]
- 2.3** Nun wird Natriumdampf mit dem Licht einer Glühlampe beleuchtet. Nach Durchgang des Lichts durch den Natriumdampf erhält man ein Spektrum, wie es in M6 dargestellt ist.
Erklären Sie den Zusammenhang zwischen M4 und M6. [4 BE]
- 2.4** In einem anderen Experiment wird eine lichtdurchlässige Platte mit dem Licht einer LED beleuchtet. M7 zeigt drei Spektren, die auf Grundlage verschiedener Lichtwege aufgenommen worden sind: Das Spektrum der LED (ohne Platte), das Spektrum des durch die Platte scheinenden Lichts (Transmission) sowie das Spektrum des Lichts vom Rand der Platte.
Erklären Sie anhand relevanter Wellenlängenbereiche, wie sich die drei verschiedenen Lichtwege (1, 2, 3) den Spektren (a, b, c) zuordnen lassen.
Vergleichen Sie die Vorgänge an der lichtdurchlässigen Platte (M7) mit dem Leuchtverhalten einer Energiesparlampe. [8 BE]

Aufgabe 3

Mit einem Halbleiterdetektor werden Energiespektren (M8) eines Americium-Präparats (Am-241) in Abhängigkeit vom Abstand d des Präparats zum Detektor aufgenommen. Im Anschluss daran wird die Abhängigkeit der Zählrate vom Abstand zum Zählrohr betrachtet.

- 3.1** Erläutern Sie das Funktionsprinzip eines Halbleiterdetektors. [4 BE]
- 3.2** In M9 ist ein Ausschnitt einer Nuklidkarte dargestellt.
Begründen Sie anhand der Zerfallsreihe von Am-241, dass man in den Spektren (M8) nur die Strahlung von Am-241 erkennen kann. [3 BE]
- 3.3** Beschreiben Sie die wesentlichen Veränderungen in den Spektren in M8 bei zunehmendem Abstand.
Begründen Sie die Veränderungen bezüglich Lage und Höhe der Peaks.
Stellen Sie Zusammenhänge zwischen der Nuklidkarte (M9) und den Energiespektren (M8) dar. [9 BE]
- 3.4** In einem anderen Experiment wird mit einem Geiger-Müller-Zählrohr die Zählrate R der Strahlung des Am-241-Präparats in Abhängigkeit vom Abstand d des Präparats zum Zählrohr aufgenommen (M10).
Ermitteln Sie auf Basis der Messdaten für $d \geq 15$ mm in M10 den funktionalen Zusammenhang $R = f(d)$, wobei Sie Ihre Vorgehensweise in der im Unterricht vereinbarten Weise dokumentieren.
Hinweis: Sie dürfen $R \sim \frac{1}{d^2}$ voraussetzen.
Bestätigen Sie, dass die ermittelte Funktionsgleichung für $d \leq 10$ mm keine akzeptable Näherung für die Messdaten darstellt.
Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, warum die Messdaten nur für $d \geq 15$ mm den ermittelten funktionalen Zusammenhang erfüllen. [9 BE]

Material

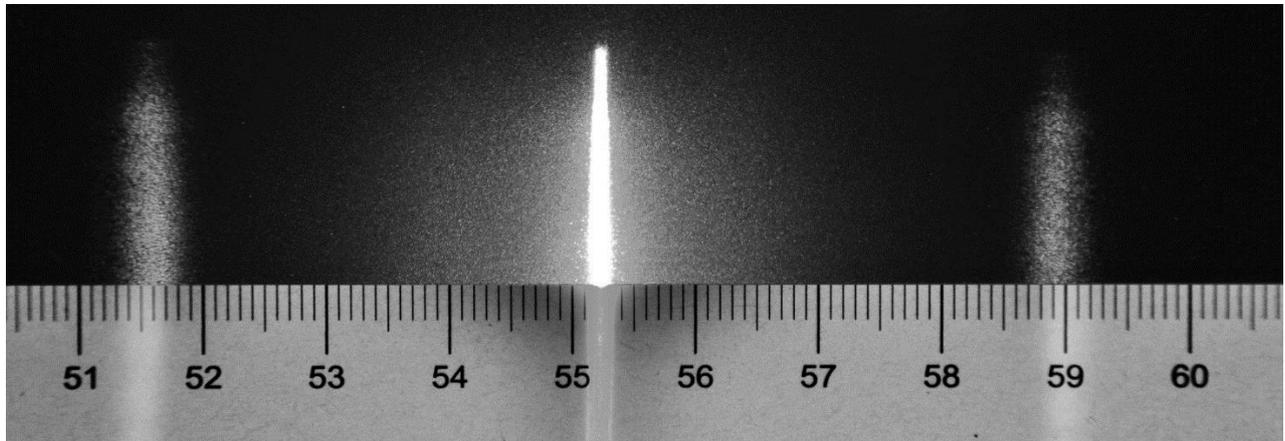
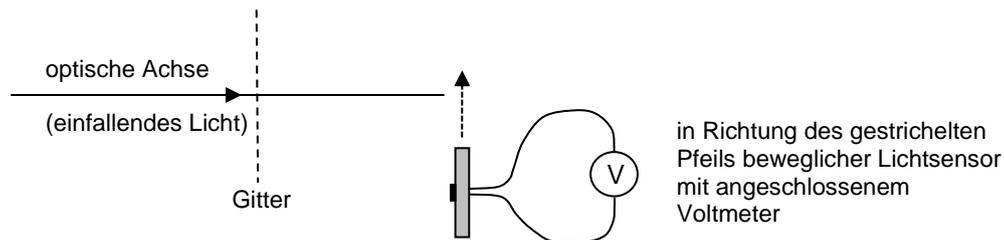
**M1:** Interferenzmuster einer LED-grün

Foto des Schirmbildes, zusätzlich ist ein Maßband mit Zentimetereinteilung zu sehen. Der Abstand vom Gitter zum Schirm beträgt $e = 13,7$ cm. Das Gitter besitzt 500 Striche je Millimeter.

**M2:** Schematische Darstellung zum abgeänderten Experiment in 1.4

Zur Messung wird der Lichtsensor senkrecht zur optischen Achse durch die Maxima 0. und 1. Ordnung bewegt. Die ausgegebene Spannung U des Lichtsensors ist proportional zur Lichtintensität. Alle Abstände des Aufbaus in 1.3 bleiben dabei unverändert.

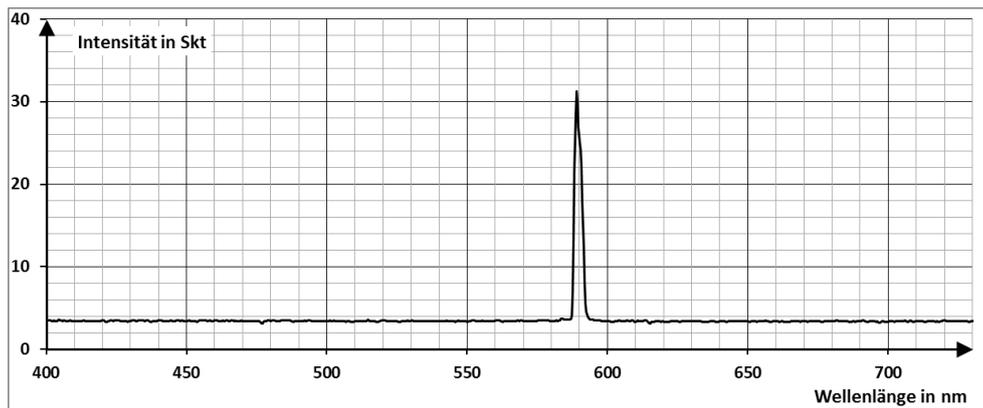
Position d des Lichtsensors auf einer Skala in cm	0,0	0,3	0,8	1,3	1,6	7,3	7,5	7,7	7,8	8,4	8,5	8,7	9,0
Spannung U in V	0,01	0,03	0,07	0,03	0,01	0,01	0,03	0,68	0,93	0,70	0,40	0,03	0,01

M3: Messwerte zur LED-IR in 1.4

Die Skala beginnt bei einer willkürlich festgelegten Position 0 cm.

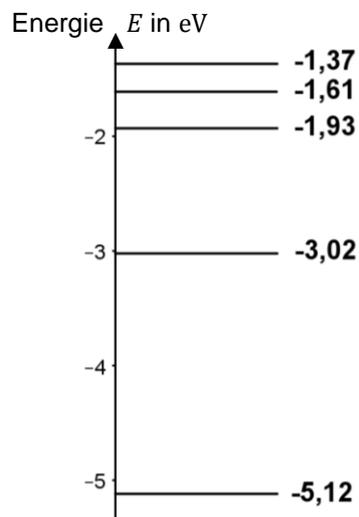
Die Spannungswerte zwischen $d = 7,9$ cm und $d = 8,3$ cm liegen deutlich über 1 Volt, sie müssen nicht eingezeichnet werden.

Der Abstand des Gitters zur Sensorebene beträgt $e = (13,7 \pm 0,3)$ cm.

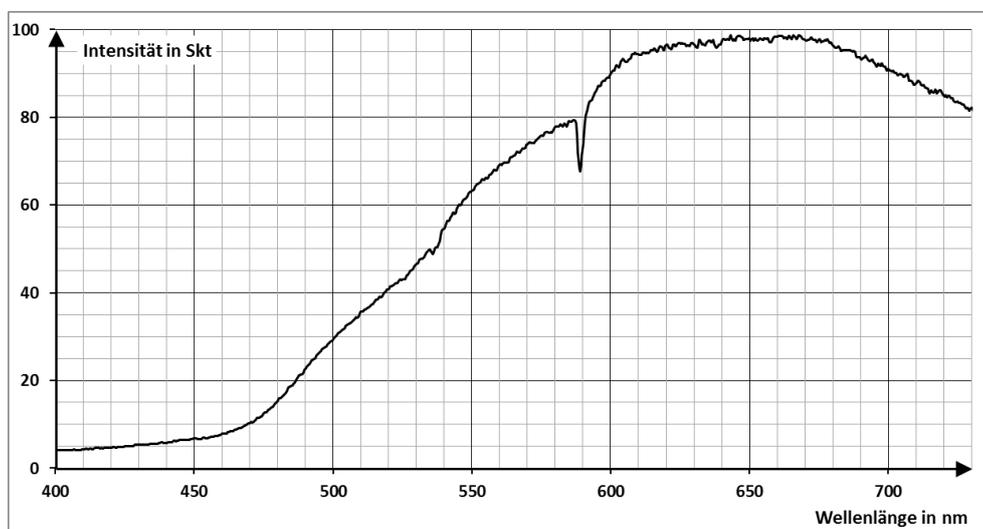


M4: Emissionsspektrum einer Natriumdampfampe

Die Intensität ist in Skalenteilen (Skt) über der Wellenlänge λ aufgetragen.



M5: Stark vereinfachter Ausschnitt eines Energieniveauschemas von Natrium-Atomen. Es sind nicht alle Niveaus abgebildet, es existieren auch weitere Niveaus weit unterhalb von $-5,12$ eV.

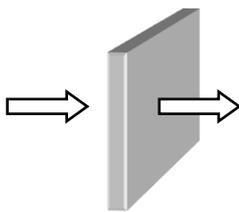


M6: Spektrum des durch Natriumdampf tretenden Lichts einer Glühlampe

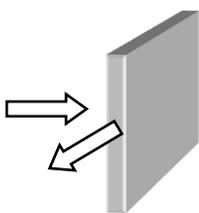
(1) ohne Platte



(2) durch die Platte scheinendes Licht

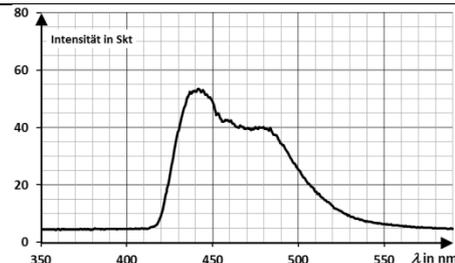


(3) vom Rand scheinendes Licht

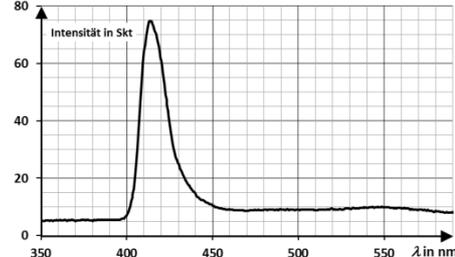


Die Pfeile stellen die Lichtwege zum Aufnahmegerät dar, die Pfeilbreiten sind ohne Aussage.

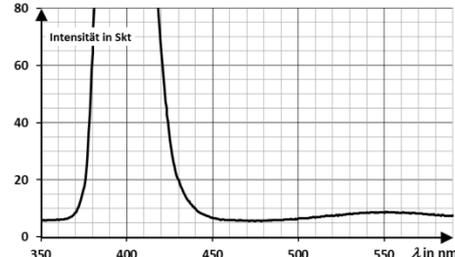
(a)



(b)

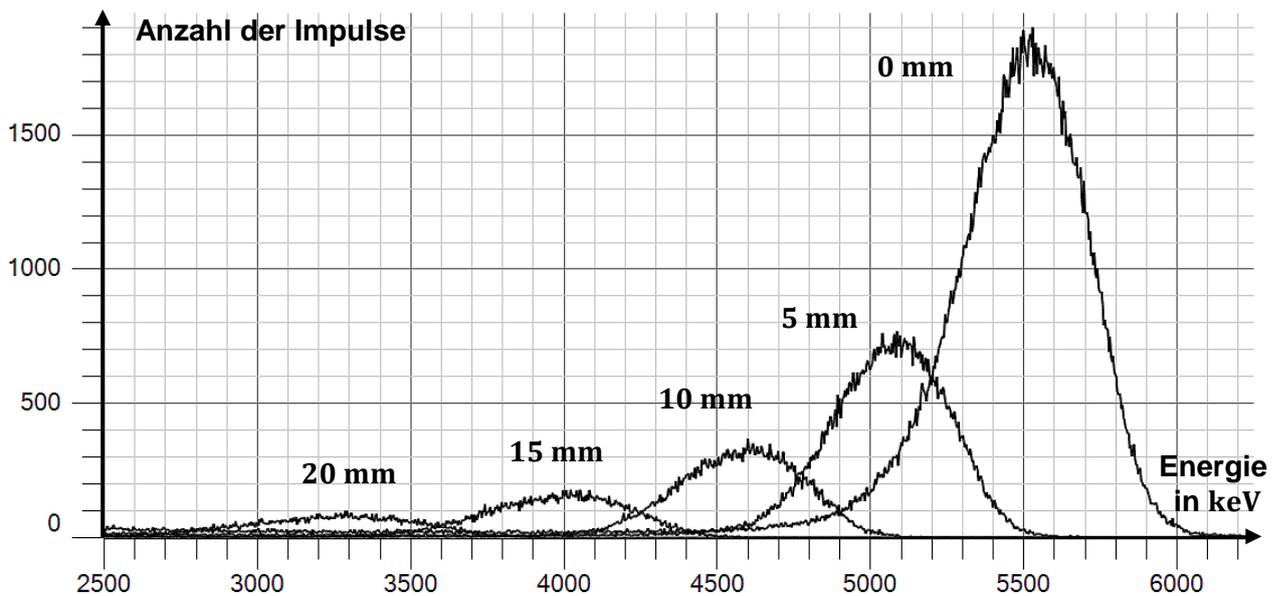


(c)



Spektren: Jeweils relative Intensität in Abhängigkeit der Wellenlänge, die Skalenteile der Hochachsen sind nicht vergleichbar.

M7: Lichtwege und Spektren einer LED an einer lichtdurchlässigen Platte



M8: Energiespektren von Am-241 bei verschiedenen Abständen zum Detektor

Die einzelnen Diagramme wurden von rechts nach links bei zunehmendem Abstand d zwischen Präparathülle und Zählrohroberfläche gemessen. Die Messzeit war jeweils gleich. Alle Messungen wurden nicht im Vakuum aufgenommen.

$\begin{array}{l} N \\ Z \end{array}$	139	140	141	142	143	144	145	146
95	Am234 2,32 min α :6,46	Am235 15 min β^+	Am236 3,7 min α :6,41;	Am237 73,0 min α :6,04; γ	Am238 1,63 h α :5,94; γ	Am239 11,9 h α :5,77; γ	Am240 50,8 h α :5,38; γ	Am241 432,2 a α :5,49; α :5,44; γ
94	Pu233 20,9 min α :6,31; γ	Pu234 8,8 h α :6,20; γ	Pu235 25,3 min α :5,85; γ	Pu236 2,86 a α :5,77; γ	Pu237 45,2 d α :5,33; γ	Pu238 87,74 a α :5,50; γ	Pu239 $2,411 \cdot 10^4$ a α :5,16; γ	Pu240 6563 a α :5,17; γ
93	Np232 14,7 min γ	Np233 36,2 min α :5,54; γ	Np234 4,4 d β^+ ; γ	Np235 396,1 d α :5,02; γ	Np236 $1,54 \cdot 10^5$ a α ; β^- ; γ	Np237 $2,144 \cdot 10^6$ a α :4,79; γ	Np238 2,117 d γ	Np239 2,355 d β^- ; γ
92	U231 4,2 d α :5,46; γ	U232 68,9 a α :5,32; γ	U233 $1,59 \cdot 10^5$ a α :4,82; γ	U234 $2,455 \cdot 10^5$ a α :4,78; γ	U235 $7,038 \cdot 10^8$ a α :4,40; γ	U236 $2,342 \cdot 10^7$ a α :4,49; γ	U237 6,75 d β^- ; γ	U238 $4,468 \cdot 10^9$ a α :4,20; γ
91	Pa230 17,4 d β^- ; γ	Pa231 $3,28 \cdot 10^4$ a α :5,01; γ	Pa232 1,31 d β^- ; γ	Pa233 27,0 d β^- ; γ	Pa234 6,70 h β^- ; γ	Pa235 24,2 min β^- ; γ	Pa236 9,1 min β^- ; γ	Pa237 8,7 min β^- ; γ
90	Th229 7880 a α :4,85; γ	Th230 $7,54 \cdot 10^4$ a α :4,69	Th231 25,5 h β^- ; γ	Th232 $1,41 \cdot 10^{10}$ a α :4,01	Th233 22,3 min β^- ; γ	Th234 24,10 d β^- ; γ	Th235 7,1 min β^- ; γ	Th236 37,5 min β^- ; γ

M9: Nuklidkarte, stark vereinfachter Ausschnitt

In der zweiten Zeile ist die Halbwertszeit angegeben.
Der Zahlenwert hinter α gibt die Energie in MeV an.
 Z ist die Ordnungszahl, N die Anzahl der Neutronen.

d in mm	4	6	8	10	15	20	25	30	40	60	80
R in $\frac{1}{s}$	5644	3939	2331	737	54,5	32,9	21,8	15,4	8,8	3,5	2,1

M10: Zusammenhang zwischen dem Abstand d des Präparats vom Zählrohr und der Zählrate R , für $d < 15$ mm und $d \geq 15$ mm. Die Nullrate ist bereits berücksichtigt.

Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung