

Aufgabe 1 – Wellenoptik

- 1.a Bestrahlt man einen Doppelspalt mit Laserlicht, dann kann auf einem ebenen, parallel zur Spaltebene ausgerichteten Schirm hinter dem Doppelspalt ein Interferenzmuster wie in Abbildung 1 beobachtet werden.

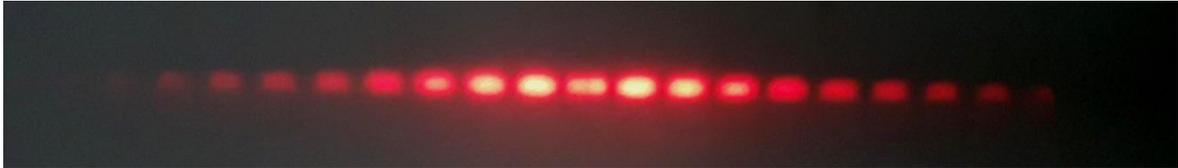


Abb. 1: Interferenzmuster eines Doppelspalts (Quelle: Abituraufgabenkommission)

- I. **Erklären** Sie die Begriffe konstruktive und destruktive Interferenz.
- II. **Beschreiben** Sie mit Hilfe des Wellenmodells die Entstehung des ersten Interferenzmaximums. **Skizzieren** Sie den Sachverhalt.
- III. **Begründen** Sie, dass (bei gleichbleibender Wellenlänge) der Abstand der Maxima größer wird, wenn der Abstand der Spalte kleiner wird.

(20 BE)

Bei dem Laser handelt es sich um einen He-Ne-Laser, er emittiert rotes Licht mit der Wellenlänge $\lambda = 628,8 \text{ nm}$. Der Abstand der beiden Spalte beträgt $d = 0,1 \text{ mm}$, der Abstand des Schirms vom Doppelspalt beträgt $a = 2,5 \text{ m}$.

- IV. **Berechnen** Sie die Frequenz f des Laserlichts.
- V. **Berechnen** Sie die Winkel α_1 und α_2 , unter denen das erste bzw. zweite Interferenzmaximum auftritt.
- VI. Zur Bestimmung von optischen Größen, beispielsweise der Wellenlänge, wird anstatt eines Doppelspalts üblicherweise ein optisches Gitter verwendet. **Erläutern** Sie die Vorteile, die ein solches Gitter gegenüber einem Doppelspalt mit sich bringt.

(16 BE)

- 1.b Farberscheinungen in der Umwelt:

- I. Schaut man auf der Erde tagsüber in den Himmel, so erscheint dieser blau. Auf Fotos, die auf dem Mond aufgenommen wurden, ist dessen Himmel jedoch stets schwarz. **Erklären** Sie die Entstehung des blauen Himmels und wie der Unterschied zum Eindruck auf dem Mond zustande kommt.
- II. Seifenblasen schillern bunt im Sonnenlicht. **Beschreiben** Sie die Entstehung dieser verschiedenen Farben, obwohl die Flüssigkeit selbst farblos ist.

(14 BE)

Aufgabe 2 – Eigenschaften von Quantenobjekten

2.a Das Experiment zum fotoelektrischen Effekt (Fotoeffekt) gehört zu den zentralen Versuchen der Quantenmechanik. Eine umfangreichere experimentelle Untersuchung des Effektes gelang um 1900 erstmalig Philipp E. A. von Lenard (1862-1947). Die spätere Deutung seiner Messergebnisse durch Albert Einstein gilt als Geburtsstunde des Welle-Teilchen-Dualismus.

- I. **Erläutern** Sie den äußeren fotoelektrischen Effekt anhand des nachfolgenden Energieniveauschemas.

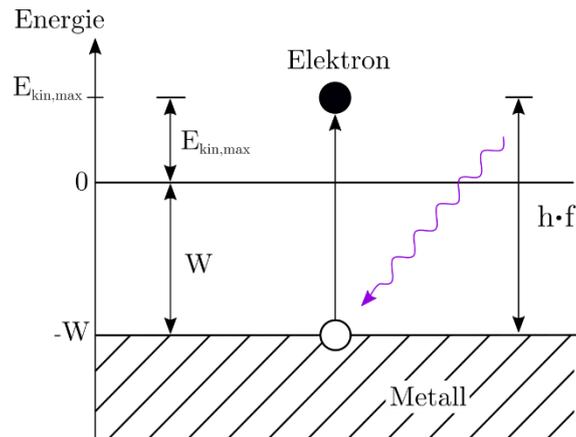


Abb. 1: Vereinfachtes Energieniveaudiagramm (Quelle: Abituraufgabenkommission)

- II. **Erläutern** Sie, dass der Fotoeffektversuch den Teilchencharakter und nicht den Wellencharakter von Licht verdeutlicht. Gehen Sie dabei auch auf eine erwartbare Änderung des Versuchsergebnisses ein, wenn sich der Wellencharakter von Licht gezeigt hätte. (10 BE)

2.b In Abbildung 2 ist der Versuchsaufbau der sog. Gegenfeldmethode dargestellt. Mit der Gegenfeldmethode kann die maximale kinetische Energie der Elektronen über die Gegenspannung U_g für verschiedene Wellenlängen des Lichtes gemessen werden. Die Gegenspannung wird so eingestellt, dass die herausgelösten Elektronen die Anode gerade nicht mehr erreichen.

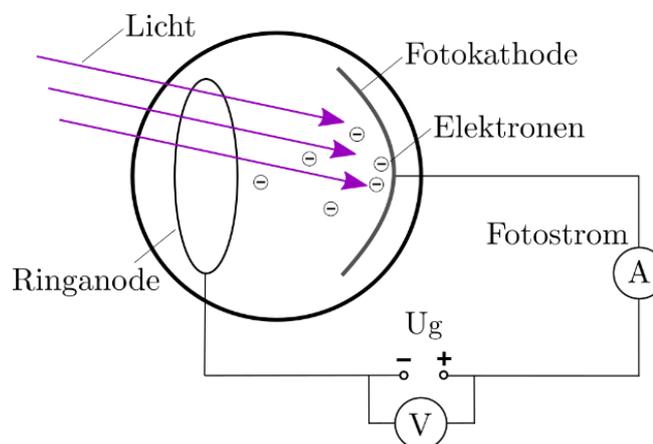


Abb. 2: Versuchsaufbau der Gegenfeldmethode (Quelle: Abituraufgabenkommission).

Die Auswertung des Experiments hat die nachfolgenden Messwerte ergeben:

Farbe	Wellenlänge λ in nm	Gegenspannung U_g in V	$E_{kin,max}$ in J	Frequenz f in Hz
gelb	578	0,45		
grün	546	0,6		
blau	436	1,1		
violett	405	1,3		

- I. **Berechnen** Sie die fehlenden Werte für die maximale kinetische Energie der Photonen $E_{kin,max}$ sowie die jeweilige Frequenz des Lichtes und **stellen** Sie diese in der Tabelle **dar**.
- II. **Zeichnen** Sie das $f - E$ -Diagramm und **bestimmen** Sie über die Ausgleichsgerade das Planck'sche Wirkungsquantum h .
- III. **Geben** Sie den Wert für die Grenzfrequenz f_g an und **kennzeichnen** Sie diesen im Diagramm aus Teilaufgabe (II).

(20 BE)

- 2.c Claus Jönsson führte 150 Jahre später, im Jahr 1957, den Doppelspaltversuch mit Elektronen durch. Die Elektronen wurden hierzu mit einer Spannung U_b beschleunigt und auf einen Doppelspalt geschossen. Das Versuchsergebnis ist in Abb.3 dargestellt.

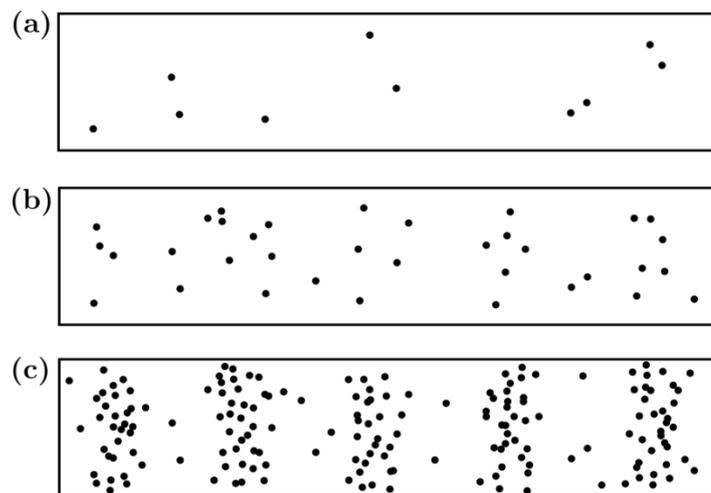


Abb. 3: Schematische Darstellung der Entwicklung des Interferenzmusters bei einem Doppelspaltexperiment mit verschiedener Elektronenanzahl (a: 10, b: 35, c: 295) (Quelle: Abituraufgabenkommission).

- I. **Erklären** Sie die Entwicklung der Interferenzerscheinungen in Abb.3 (a)-(c).
- II. Den Elektronen kann jeweils die sog. De-Broglie-Wellenlänge $\lambda_{deBroglie}$ zugeordnet werden. **Zeigen** Sie, dass für die Wellenlänge der Zusammenhang

$$\lambda_{deBroglie} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot e \cdot U_b}}$$

gilt und **berechnen** Sie anschließend $\lambda_{deBroglie}$ für eine angelegte Spannung von $U_b = 1200$ V.

- III. **Skizzieren** Sie die zu erwartende Intensitätsverteilung am Beobachtungsschirm, wenn an beiden Spalten der Durchgang der Elektronen gemessen werden würde. **Erläutern** Sie Ihre Skizze.

Im Jahr 2003 wurde mit dem Doppelspaltexperiment auch die Welleneigenschaften von größeren Molekülen, wie z.B. dem Fulleren C_{60} nachgewiesen. Jemand schlägt vor, das Doppelspaltexperiment mit 45 g schweren Golfbällen mit der Geschwindigkeit von $5000 \frac{m}{s}$ anstatt Fullerenen durchzuführen, um den Wellencharakter von Materie nachzuweisen. Der Doppelspalt soll einen Mittenabstand von 12cm haben.

- IV. **Überprüfen** Sie den Vorschlag aus physikalischer Sicht.

(20 BE)

Aufgabe 3 – Struktur der Materie

3.a Ernest Rutherford deutete 1911 die Experimente seiner Mitarbeiter Geiger und Marsden in der Weise, dass die Atome einen Atomkern besitzen.

- I. **Stellen** Sie das Streuexperiment von Rutherford sowie dessen Beobachtungen und Folgerungen **dar**.
- II. Weitere Untersuchungen des Atomkerns zeigten, dass dieser eine Struktur besitzt. **Erläutern** Sie den Aufbau des Atomkerns und gehen Sie dabei auch auf die Begriffe Element, Nukleonenzahl und Kernladungszahl ein.
- III. Angenommen ein α -Teilchen der Energie $W = 4,7843 \text{ MeV}$ fliegt zentral auf einen ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ -Kern zu. **Berechnen** Sie den Abstand b des Umkehrpunktes vom Mittelpunkt des Rn -Kerns unter der Annahme, dass die gesamte kinetischen Energie des α -Teilchens durch die abstoßende Coulombkraft in potentielle Energie umgewandelt wird.

(18 BE)

3.b Im Standardmodell der Elementarteilchenphysik wird zu jedem Teilchen ein Antiteilchen angenommen. Das erste nachgewiesene Antiteilchen war das Positron, das in einem Prozess der Paarerzeugung in der oberen Atmosphäre nachgewiesen wurde.

- I. **Erläutern** Sie den Begriff der Paarerzeugung und den Nachweis eines Positrons mit Hilfe der Abbildung 1.
- II. **Berechnen** Sie die Mindestenergie eines Gammaquants in MeV, das in der Nähe eines dritten Teilchens ein Elektron-Positron-Paar erzeugen kann.
- III. **Begründen** Sie, dass diese Paarerzeugung nicht ohne ein drittes beteiligtes Teilchen ablaufen kann.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Dargestellt sind zwei gegensätzlich orientierte Spiralbahnen bei einer Paarerzeugung

Abb. 1: Blasenkammer- bzw. Nebelkammeraufnahme einer Paarerzeugung
(Quelle: www.teilchenwelt.de, Stand: 21.09.20)

(12 BE)

3.c Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik beschreibt das heute als gültig betrachtete Modell der Materie.

- I. **Benennen** Sie die in Abbildung 2 angegebenen Teilchen und **stellen** Sie diese in der Ordnung des Standardmodells **dar**. **Geben** Sie die fundamentalen Wechselwirkungen **an**, denen die Teilchen jeweils unterliegen.
- II. **Geben** Sie die Teilchen **an**, die die gewöhnliche (alltägliche) Materie bilden. **Stellen** Sie den Aufbau eines Protons und eines Neutrons aus Quarks **dar**. Gehen Sie auch auf die elektrische Ladung ein.
- III. **Erläutern** Sie die wesentlichen Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Baryonen und Mesonen.

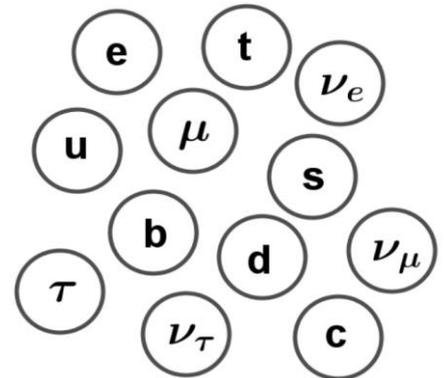


Abb. 2: Teilchen des Standardmodells
(Quelle: Abituraufgabenkommission)

(20 BE)

Schriftliche Abiturprüfung 2021 im dritten Prüfungsfach

Grundkurs Physik

Dienstag, 11. Mai 2021, 9:00 Uhr

Unterlagen für Referent:innen und Korreferent:innen

- Diese Unterlagen sind nicht für Schüler:innen bestimmt -

Diese Unterlagen enthalten ...

- Allgemeines,
 - Erwartungshorizonte, Bewertungen und Korrekturhinweise zu den Aufgaben,
 - keine Aufgabenstellungen – Ihre Exemplare entnehmen Sie bitte den Schüleraufgaben – ,
 - einen Protokollbogen zur Auswahl der Aufgaben für die Prüfungsakten Ihrer Schule,
 - einen Rückmeldebogen für die Zentralabiturkommission zur Auswahl der Aufgaben.
-

Allgemeines

- Prüfen Sie die Prüfungsaufgaben vor der Aushändigung an die Schüler:innen auf ihre Vollständigkeit und formale und inhaltliche Korrektheit und ergänzen Sie sie gegebenenfalls. Bei nicht ausreichender Anzahl erstellen Sie entsprechende Kopien vor Ort. Bei einem schwerwiegenden inhaltlichen Fehler informieren Sie sofort die Senatorin für Kinder und Bildung von 7.00 bis 9.30 Uhr. Die von der Senatorin für Kinder und Bildung vorgenommene Korrektur gibt die Schule sofort an die für die schriftliche Prüfung zuständige Lehrkraft weiter.
- Wählen Sie gemeinsam mit Ihrer Korreferentin / Ihrem Korreferenten aus den drei vorgelegten Aufgaben zwei aus. Kommt es zu keiner Einigung, bestimmt die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses die Auswahl der Aufgaben (§ 10 Abs. 2 Nr. 1 AP-V). Protokollieren Sie auf dem beigefügten Protokollformular, welche Aufgaben Sie gewählt haben (Prüferin/Prüfer und Korreferentin/Korreferent und ggf. auch die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses unterschreiben das Protokoll).
- Füllen Sie bitte für die Zentralabiturkommission Physik den beigefügten Rückmeldebogen zur Auswahl der Aufgaben aus und schicken ihn an die dort genannte Adresse.
- Fragen Sie vor Verteilung der Aufgaben nach der Arbeitsfähigkeit der Schüler:innen und weisen Sie diese auf die Regelungen des § 5 AP-V (Täuschung und Behinderung) hin.
- Machen Sie die Schüler:innen auf die Arbeitshinweise aufmerksam, die am Anfang ihrer Unterlagen für die Prüfung stehen. Geben Sie ihnen ggf. die nötigen Angaben zur Schulnummer sowie zur genauen Kursbezeichnung.
- Die Bearbeitungszeit beträgt 210 Minuten (180 Minuten plus 30 Minuten Zeitzuschlag als Corona-Kompensation).
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner, Operatorenliste.

Aufgabe 1 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

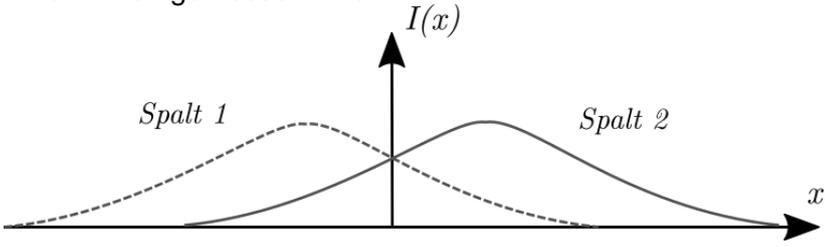
Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>I. Interferenz ist eine Überlagerung von Wellen. Treffen zwei Wellenzüge gleicher Amplitude und Frequenz aber unterschiedlicher Phasenlage an einem Ort aufeinander, so entsteht durch Überlagerung an dieser Stelle eine neue Schwingung, deren Amplitude von der Phasendifferenz der Wellenzüge abhängt. Treffen die Wellenzüge mit gleicher Phasenlage aufeinander $\varphi = 0^\circ$ verstärken sie sich maximal, konstruktive Interferenz. Treffen die Wellenzüge mit entgegengesetzter Phasenlage aufeinander $\varphi = 180^\circ$ löschen sie sich gegenseitig aus, destruktive Interferenz. Der Übergang ist fließend.</p> <p>II. Die Spalte können als Ausgangspunkte von kreis- bzw. kugelförmigen Elementarwellen angesehen werden. Da das Licht kohärent ist, werden die Elementarwellen gleichphasig ausgesendet. Zum 1. Nebenmaximum kommt es, wenn die Weglängen von Spalt 1 und Spalt 2 zum Schirm sich um genau eine Wellenlänge unterscheiden. Dann treffen dort die Wellenzüge mit genau 360° Phasenverschiebung, also gleichphasig aufeinander. Dies führt zu konstruktiver Interferenz, weswegen dort ein Maximum der Helligkeit zu beobachten ist. Dazu eine Skizze.</p> <p>III. Der Ablenkungswinkel tritt auch in einem rechtwinkligen Dreieck gegenüber der Kathete auf, die der Wellenlänge entspricht. Der Spaltabstand bildet die Hypotenuse. Wird die Hypotenuse kürzer, muss auch der Ablenkungswinkel größer werden, wenn die Wellenlänge gleich bleibt.</p>	6	10	4
	<p>IV. $f = c / \lambda = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s} / 628,8 \text{ nm} = 4,77 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$</p> <p>V. $a_n = \arcsin\left(\frac{n \cdot \lambda}{d}\right)$, also: $a_1 = \arcsin\left(\frac{1 \cdot 628,8 \text{ nm}}{0,1 \text{ mm}}\right) = 0,36^\circ$; $a_2 = \arcsin\left(\frac{2 \cdot 628,8 \text{ nm}}{0,1 \text{ mm}}\right) = 0,72^\circ$</p> <p>VI. Die Maxima beim Gitter sind deutlich schärfer (schmäler) als beim Doppelspalt ausgebildet und können somit genauer abgelesen werden. Insgesamt gilt, dass das Interferenzmuster umso breiter (also feiner aufgelöst) wird, je dichter die Spalte beieinander liegen. Dazu muss aber gleichzeitig die Spaltbreite reduziert werden, was beim Doppelspalt bedeutet, dass entsprechend weniger Licht am Schirm ankommt. Ein Gitter umgeht das Problem: Je feiner die Gitterstruktur, desto schmaler sind zwar die Spalte, aber gleichzeitig steigt deren Anzahl, dies gleicht sich gegenseitig aus.</p>	4	8	4
b.	<p>I. Das Himmelblau entsteht durch Streuung des einfallenden Lichts in der Erdatmosphäre. Bei der so genannten Rayleigh-Streuung werden insbesondere die blauen Lichtanteile (seitlich) gestreut und dann reflektiert, sodass der Himmel blau erscheint. Auf dem Mond gibt es keine Atmosphäre, deswegen wird kein Licht gestreut und auch von der Oberfläche reflektiertes Licht hat keinen Einfluss. Daher sieht man vom Mond aus nur die Lichtquellen selbst (Sonne, Sterne usw.) der Rest des Himmels erscheint schwarz.</p>			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	II. Das Sonnenlicht fällt auf die Seifenblasen und wird an den Grenzflächen zwischen Flüssigkeit und Luft reflektiert. Dies geschieht sowohl an der Innen- als auch der Außenseite der Blasen. Da die Schichten sehr dünn sind, können sich die Wellenzüge überlagern und konstruktiv interferieren. Je nach Schichtdicke und Betrachtungswinkel entstehen dabei unterschiedliche Farbeindrücke.	5	7	2
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, wenn sie in sinnvoller Weise von den Erwartungen abweichen.“

Aufgabe 2 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung																											
		I	II	III																									
a.	<p>I. Ein Photon der Energie $h \cdot f$ trifft auf ein Elektron eines Metalls und gibt seine gesamte Energie an dieses ab. Das Photon existiert danach nicht mehr. Ist die Energie ausreichend groß, kann das Elektron die Austrittsarbeit W überwinden und das Metall verlassen. Ist die Energie größer, bewegt sich das Elektron mit einer kinetischen Energie $E_{kin,max}$ weiter.</p> <p>II. Der Photoeffekt zeigt den Teilchencharakter des Lichtes. Die Übertragung der Energie erfolgt in Form von Lichtquanten. Dies wird in diesem Versuch ersichtlich, da bei einer ausreichend geringen Frequenz und gleichzeitig beliebig hoher Intensität keine Elektronen herausgeschlagen werden. Beim Modell Licht als Welle hätte man jedoch erwarten können, dass die Elektronen unabhängig von der Frequenz des Lichtes herausgeschlagen werden, da die Welle kontinuierlich Energie überträgt.</p>	5	5																										
b.	<p>I. Mit $E = e \cdot U$ und $f = c \cdot \lambda^{-1}$ ergibt sich:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Farbe</th> <th>Wellenlänge λ in nm</th> <th>Gegenspannung U_g in V</th> <th>$E_{kin,max}$ in $\cdot 10^{-20}$ J</th> <th>Frequenz f in $\cdot 10^{14}$ Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>gelb</td> <td>578</td> <td>0,45</td> <td>7,21</td> <td>5,19</td> </tr> <tr> <td>grün</td> <td>546</td> <td>0,6</td> <td>9,61</td> <td>5,49</td> </tr> <tr> <td>blau</td> <td>436</td> <td>1,1</td> <td>17,62</td> <td>6,88</td> </tr> <tr> <td>violett</td> <td>405</td> <td>1,3</td> <td>20,83</td> <td>7,41</td> </tr> </tbody> </table> <p>II.</p> <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">Energie E_{kin} in $\cdot 10^{-20}$ J</p> <p style="text-align: center;">Frequenz f in $\cdot 10^{14}$ Hz</p> </div> <p>Über ein geeignetes Steigungsdreieck erhält man für die Steigung (Plancksches Wirkungsquantum) $m = h \approx 6,03 \cdot 10^{-34}$ Js.</p> <p>III. Die Grenzfrequenz kann an der Nullstelle der Geraden abgelesen werden. Sie beträgt $f_0 \approx 3,9 \cdot 10^{14}$ Hz.</p>	Farbe	Wellenlänge λ in nm	Gegenspannung U_g in V	$E_{kin,max}$ in $\cdot 10^{-20}$ J	Frequenz f in $\cdot 10^{14}$ Hz	gelb	578	0,45	7,21	5,19	grün	546	0,6	9,61	5,49	blau	436	1,1	17,62	6,88	violett	405	1,3	20,83	7,41	6	9	5
Farbe	Wellenlänge λ in nm	Gegenspannung U_g in V	$E_{kin,max}$ in $\cdot 10^{-20}$ J	Frequenz f in $\cdot 10^{14}$ Hz																									
gelb	578	0,45	7,21	5,19																									
grün	546	0,6	9,61	5,49																									
blau	436	1,1	17,62	6,88																									
violett	405	1,3	20,83	7,41																									

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
c.	<p>I. Mit zunehmender Anzahl der Elektronen baut sich ein sichtbares Interferenzmuster auf. Bei einer Anzahl von 10 Elektronen in (a) erscheint die Verteilung noch zufällig. Das Interferenzmuster hängt jedoch nicht von der Anzahl oder Gleichzeitigkeit der beteiligten Elektronen ab. Die Wahrscheinlichkeitsdichte $P(x)$ ist durch das Betragsquadrat der Wellenfunktionen $\psi_1(x) + \psi_2(x) ^2$ der Spalte vorgegeben. Erst bei einer höheren Anzahl von Elektronen wird diese Verteilung sichtbar.</p> <p>II. Für die de-Broglie Wellenlänge gilt $\lambda = h \cdot p^{-1}$. Über die kinetische Energie der Elektronen erhält man: $e \cdot U_b = \frac{1}{2} m_e v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_b}{m_e}}$ und damit $\lambda_{deBroglie} = \frac{h}{m_e v} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot e \cdot U_b}}$</p> <p>Für $U_b = 1200 \text{ V}$ beträgt die Wellenlänge $\lambda_{deBroglie} = 35,4 \text{ pm}$.</p> <p>III. Ortseigenschaft und Interferenz sind nicht gleichzeitig realisierbar, sondern schließen sich gegenseitig aus (Komplementarität). Skizzierte Intensitätsverteilung am Schirm, wenn an beiden Spalten der Durchgang der Elektronen gemessen wird.</p>  <p>(Quelle: Abituraufgabenkommission) Eine Darstellung als Interferenzbild (siehe Aufgabenstellung) ist gleichwertig.</p> <p>IV. Mögliche Ansätze (Übergang von Quantenmechanik zur klassischen Physik):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Makroskopische Objekte, wie der Golfball, gehen zu viele Wechselwirkungen mit der Umgebung ein, sodass die Quanteneigenschaft der Superposition nicht realisierbar ist. • Die de-Broglie Wellenlänge des Golfballs beträgt $\lambda \approx 3 \cdot 10^{-36} \text{ m}$. Eine Spaltbreite dieser Größenordnung ist nicht realisierbar. 	4	11	5
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, wenn sie in sinnvoller Weise von den Erwartungen abweichen.“

Aufgabe 3 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>I. Beschreibung des Versuchsaufbaus wie im Unterricht behandelt. Es wurde beobachtet, dass fast alle Alphateilchen unabgelenkt durch die Folie hindurchgehen. Kleine Ablenkungswinkel treten sehr häufig auf, große Ablenkungswinkel sehr selten. Versuche mit Folien unterschiedlicher Materialien zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit für die Ablenkungswinkel proportional zum Quadrat der Ordnungszahl der Atome des Streumaterials ist.</p> <p>Rutherford folgerte aufgrund der Stoßgesetze, dass die Alphateilchen mit sehr massereichen, positiv geladenen Teilchen zusammengestoßen sein müssen. Sonst wären keine großen Streuwinkel oder auch Rückwärtsstreuung zu beobachten. Die Verteilung der Streuwinkel konnte unter der Annahme berechnet werden, dass als Streuzentrum ein geladenes Teilchen mit der Ladung Ze vorliegt. (Die Größenordnung des Radius des Kerns konnte auf 10^{-14} m abgeschätzt werden.)</p> <p>II. Atomkerne bestehen aus Protonen und Neutronen. Die Summe der Anzahlen der Protonen und Neutronen ist die Nukleonenzahl (auch Massenzahl). Die Anzahl der Protonen bestimmt die Kernladungszahl Z an. Ebenso bestimmt die Anzahl der Protonen im Kern das Element. Alle Atome mit gleicher Kernladungszahl gehören zum selben Element. Sie unterscheiden sich in der Kernmasse, die chemischen Eigenschaften der Atome sind jedoch die des betreffenden Elementes.</p> <p>III. (Bei einer zentralen Annäherung liegt die kinetische Energie der Alphateilchen im Umkehrpunkt vollständig als potentielle Energie des Coulombfeldes des Atomkerns vor. Auf diese Weise kann sich das Alphateilchen dem Kern auf den kleinstmöglichen Abstand annähern - abhängig von der kinetischen Energie des Alphateilchens.) Es sei b der Abstand des Umkehrpunktes vom Mittelpunkt des Atomkerns. Dann ist</p> $W_{kin} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze \cdot 2e}{b} \quad b = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze \cdot 2e}{E_{kin}} \quad \text{mit } W_{kin} = 4,7843 \text{ MeV}$ <p>führt auf $b = 5,2 \cdot 10^{-14}$ m.</p>	9	9	
b.	<p>I. Ist die Energie eines Gammaquants so groß, dass es mindestens die Ruheenergie eines Elektron-Positron-Paares besitzt, kann Paarerzeugung auftreten. (Im Schwerpunktsystem bewegen sich die beiden Teilchen entgegengesetzt voneinander fort.) Das Positron ist positiv geladen, deshalb kann es in einem Magnetfeld von einem Elektron unterschieden werden. In einer Blaskammer bzw. Nebelkammer kann seine Flugbahn sichtbar gemacht werden. Aus der Richtung der Lorentzkraft kann auf die positive Ladung des Positrons geschlossen werden.</p> <p>II. Die Mindestenergie lässt sich mit der Masse-Energie-Äquivalenz berechnen. Die Energie muss so groß sein, dass sie der Masse eines Elektrons und eines Positrons entspricht.</p> $E = 2 \cdot m_e \cdot c^2 = 2 \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \cdot (2,998 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = 1,022 \text{ MeV}$			

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung								
		I	II	III						
	III. Im Schwerpunktsystem des Elektron-Positron-Paares ist der Gesamtimpuls Null. Da das Gammaquant einen Impuls besitzt, muss es wegen der Impulserhaltung ein weiteres Teilchen geben, das den Impuls aufnimmt.	4	6	2						
c.	<p>I. Die vier fundamentalen Wechselwirkungen sind die Gravitation, die schwache Wechselwirkung, die elektromagnetische Wechselwirkung und die starke Wechselwirkung. Zum Beispiel so dargestellt:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center; font-size: small;">schwache WW mit schwacher Ladung und Gravitation mit der Masse als Ladung</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center; font-size: x-small;">elektrische WW mit elektrischen Ladungen</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center; font-size: x-small;">Starke WW mit Farbladungen</p> <table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">u</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">c</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">t</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">d</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">s</td> <td style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; line-height: 30px;">b</td> </tr> </table> </div> </div> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <p style="font-size: 2em;">}</p> <p>Quarks</p> <p style="font-size: 2em;">}</p> <p>Leptonen</p> </div> <div style="margin-top: 10px; font-size: x-small;"> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 33%;">1. Generation</td> <td style="width: 33%;">2. Generation</td> <td style="width: 33%;">3. Generation</td> </tr> </table> </div>	u	c	t	d	s	b	1. Generation	2. Generation	3. Generation
u	c	t								
d	s	b								
1. Generation	2. Generation	3. Generation								

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
	<p>Das Proton besteht aus zwei u- und einem d-Quark, das Neutron aus zwei d- und einem u-Quark. Ein u-Quark besitzt die Ladung $+\frac{2}{3}e$ und ein d-Quark die Ladung $-\frac{1}{3}e$. Das Proton trägt dann also aufsummiert die Ladung $+e$, während das Neutron nach Außen elektrisch neutral erscheint.</p> <p>III. Baryonen und Mesonen gehören beide zu den Hadronen, die aus Quarks aufgebaut sind. Die Baryonen bestehen aus drei Quarks, die Mesonen aus einem Quark-Antiquark-Paar. Beide tragen stets eine ganzzahlige elektrische Ladung. Protonen und Neutronen sind die wichtigsten Vertreter der Baryonen. (Baryonen sind Fermionen mit halbzahligen Spin, während Mesonen Bosonen mit ganzzahligem Spin sind.)</p>	2	10	8
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		15	25	10

Korrekturhinweis: „Individuelle Lösungswege werden angemessen berücksichtigt, wenn sie in sinnvoller Weise von den Erwartungen abweichen.“