

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Spektralanalyse und Sonnenspektrum
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Quantenphysik und Materie ♦ Atomvorstellungen ♦ qualitative Betrachtung eines quantenmechanischen Atommodells ♦ Emission und Absorption, Zusammenhang zwischen diskretem Spektrum und Energieniveauschema
Materialien	♦ M 1 Emissionsspektren einer Na- und einer Hg-Dampflampe ♦ M 2 Zweiteiliger Versuch mit einer Na-Dampflampe ♦ M 3 Sonnenspektrum mit Fraunhofer'schen Linien ♦ M 4 Beobachtungen von Fraunhofer
Quellenangaben	♦ M 4: Fraunhofer, J. zitiert nach: Riekher, R. (2009). <i>Fraunhofer und der Beginn der Astrospektroskopie</i> . Sitzungsberichte der Leibnitz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin. 103(2009), 95–113.
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat¹ ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein
Hinweise:	

¹ siehe „Hinweise zur Verwendung von Hilfsmitteln“

1 Aufgabe

Spektralanalyse und Sonnenspektrum

Der Physiker Joseph von Fraunhofer entdeckte im Jahr 1814 die später nach ihm benannten dunklen Linien im Sonnenspektrum. Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelten Robert Bunsen und Gustav Kirchhoff die Spektralanalyse. Sie besteht darin, chemische Elemente nachzuweisen, indem man das Licht einer Strahlungsquelle analysiert. Bunsen und Kirchhoff erklärten auch die Entstehung der Fraunhofer'schen Linien.

	BE
1 In Natrium-Dampflampen (Na-Dampflampen) werden Natriumatome angeregt und geben Energie in Form von intensivem gelbem Licht wieder ab. Die vier niedrigsten Energiezustände von Natriumatomen liegen bei: $-5,1 \text{ eV}$; $-3,0 \text{ eV}$; $-1,9 \text{ eV}$; $-1,4 \text{ eV}$. a Stellen Sie die angegebenen Energiewerte in einem maßstabsgerechten Energieniveauschema dar. b Untersuchen Sie, welcher Übergang im Energieniveauschema die intensive Emissionslinie im Natrium-Spektrum in Material 1 erzeugt, und zeichnen Sie diesen Übergang als Pfeil in das Energieniveauschema ein.	4 6
2 In Material 2 wird ein zweiteiliger Versuch mit einer Na-Dampflampe beschrieben. a Erklären Sie die Schattenbildung mithilfe des Emissionsspektrums der Na-Dampflampe in Material 1. b Begründen Sie anhand von Material 1, dass auf dem Schirm kein Schatten sichtbar wird, wenn Kochsalz in die von der Hg-Dampflampe beleuchtete Gasbrennerflamme eingebracht wird.	4 2
3 a Erklären Sie ohne Rechnung die Entstehung der Fraunhofer'schen Linien im Spektrum des Lichts unserer Sonne (M 3) unter Nutzung der Erkenntnisse aus dem in Material 2 dargestellten Versuch. b Stellen Sie ausgehend vom Auftreten der mit D bezeichneten Linie in Material 3 mithilfe von Material 1 eine Hypothese über die chemische Zusammensetzung der Chromosphäre auf. c Erklären Sie die in Material 4 beschriebenen Beobachtungen von Fraunhofer. d Beurteilen Sie unter Bezug auf die in Material 4 beschriebenen Beobachtungen von Fraunhofer die Relevanz der Spektralanalyse für die Erforschung des Weltalls. e Durch die Analyse des Lichts von weit entfernten Sternen, das die Atmosphäre eines Planeten durchquert hat, lassen sich Rückschlüsse ziehen, welche Moleküle sich in seiner Atmosphäre befinden. So könnte man Moleküle finden, die vermuten lassen, dass es auf dem Planeten Leben gibt. Erörtern Sie, was es für die Menschheit bedeuten könnte, wenn auf einem fremden Planeten solche Moleküle nachgewiesen werden.	2 2 4 3 3

2 Material

Material 1: Emissionsspektren einer Na- und einer Hg-Dampflampe

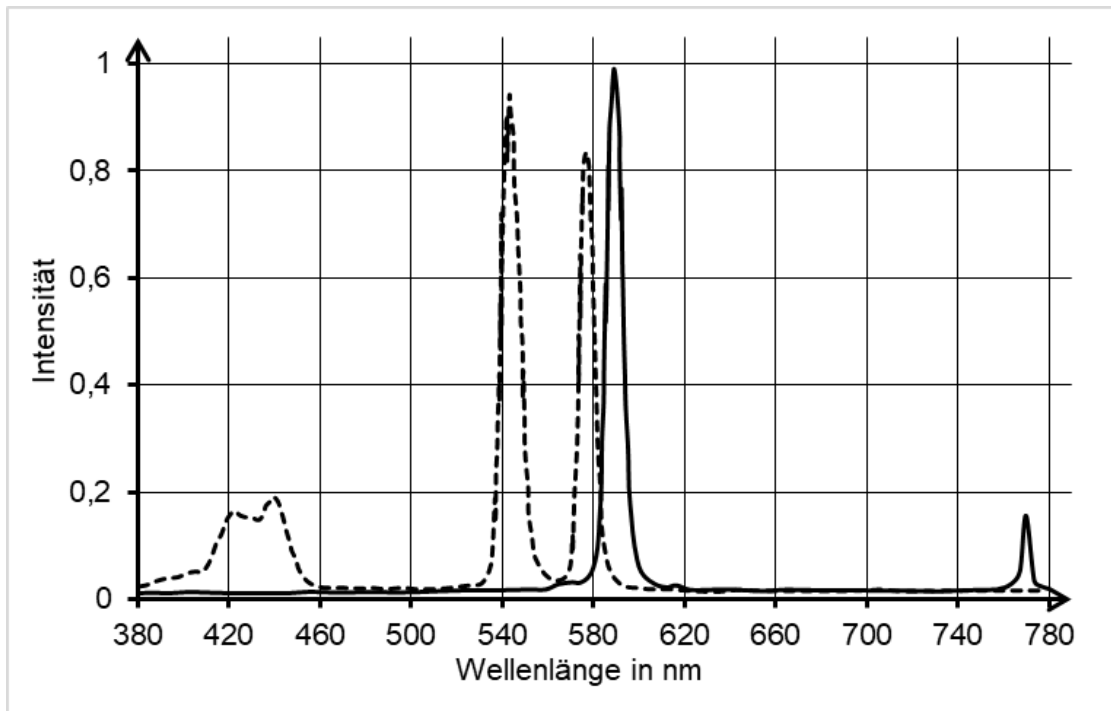


Abb. 1: Spektrum einer Na-Dampflampe (durchgehende Kurve) sowie einer Quecksilber-Dampflampe (Hg-Dampflampe) (gestrichelte Kurve). Die Intensität ist in Bruchteilen der maximalen Intensität angegeben.

Material 2: Zweiteiliger Versuch mit einer Na-Dampflampe

Im Versuchsteil 1 werden zwei Schirme, vor denen jeweils ein Gasbrenner steht, mit dem Licht einer Na-Dampflampe bzw. einer Hg-Dampflampe beleuchtet (Abb. 2). Im Versuchsteil 2 wird in die von der Na-Dampflampe beleuchteten Flamme Kochsalz (NaCl) eingebracht. Dadurch entsteht in der Flamme ein hell gelb aufleuchtender Bereich, der auf dem Schirm einen Schatten wirft (Abb. 3).

Versuchsteil 1

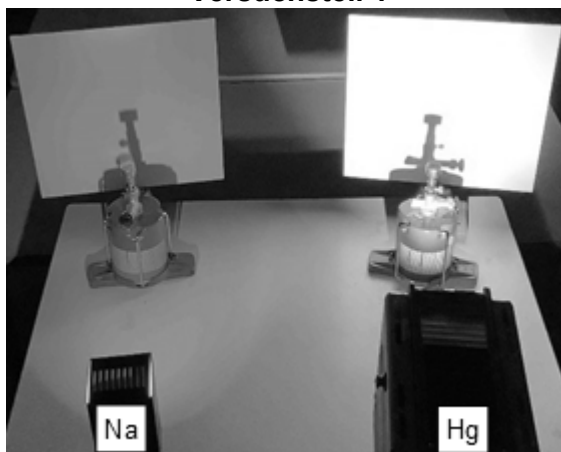


Abb. 2: Beleuchtung von Gasbrennerflammen ohne Kochsalz mit einer Na-Dampflampe (links) und einer Hg-Dampflampe (rechts)

Versuchsteil 2

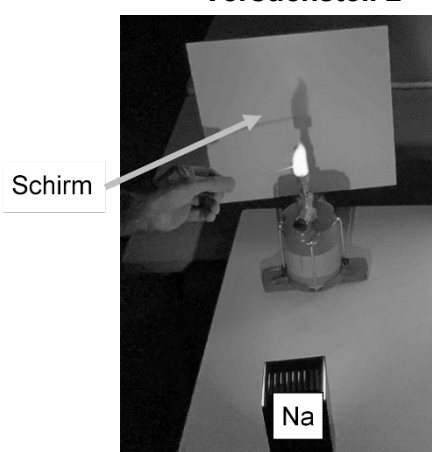


Abb. 3: Beleuchtung einer Gasbrennerflamme mit Kochsalz mit einer Na-Dampflampe

Material 3: Sonnenspektrum mit Fraunhofer'schen Linien

Fraunhofer entdeckte mehr als 500 dunkle Linien im Spektrum des Lichts unserer Sonne, von denen einige in Abb. 4 dargestellt sind, und bezeichnete sie mit Buchstaben. Die Sonne ist aus mehreren gasförmigen Schichten aufgebaut. Das Sonnenlicht entsteht in der sogenannten Fotosphäre. Auf ihrem Weg zur Erde muss das Licht die weiter außen liegende und kühlere Chromosphäre durchqueren.

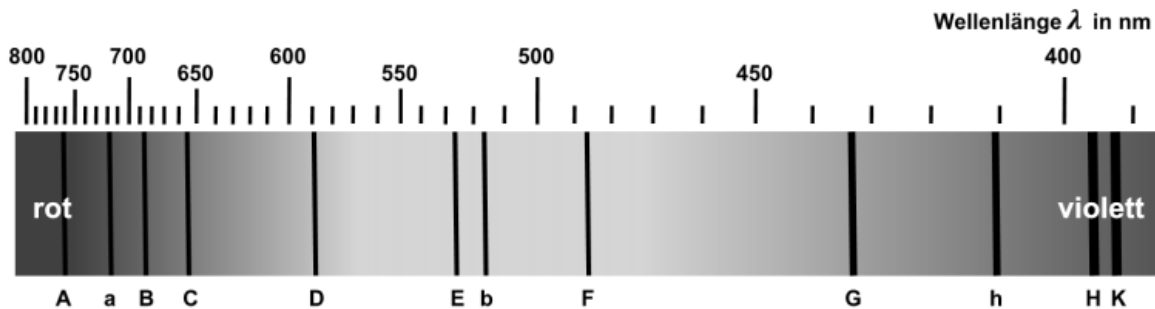


Abb. 4: Sonnenspektrum mit Fraunhofer'schen Linien

Material 4: Beobachtungen von Fraunhofer

„Das Farbenbild des roten Sternes Beteigeuze ist voll von Linien und Streifen, die sich jedoch ganz anders zu gruppieren scheinen als die von Sonnenlicht¹.“ (März 1819)

Auch im Spektrum des Sterns Sirius fand Fraunhofer eine ganz andere Anordnung der Linien als im Sonnenlicht.

„Ich sah heute im Farbenbild vom Lichte des Mondes [...] all die Linien und Streifen, die im Spectrum von Sonnenlicht gesehen werden. Ich erkannte die Linien D, E, b, F, G und selbst H noch schwach, auch einen großen Theil der zwischen diesen Räumen liegenden schwächeren Linien. Man erkennt schon im ersten Augenblick, daß alle Linien sich eben so wie im Sonnenlicht gruppieren.“ (April 1819)

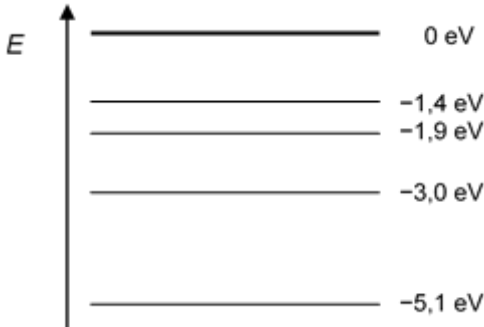
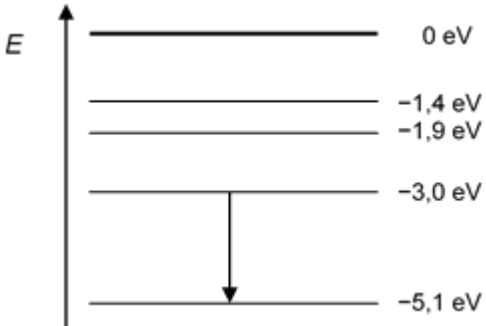
Weiterhin stellte Fraunhofer fest, dass auch die Linien im Licht von Planeten des Sonnensystems eine hohe Übereinstimmung mit den Linien im Sonnenspektrum aufweisen.

¹ Gemeint ist das Licht unserer Sonne.

Die Rechtschreibung der Zitate folgt der Originalquelle.

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	a  b Dem Spektrum in M 1 kann man entnehmen, dass das von der Lampe emittierte Licht eine Wellenlänge von ca. 590 nm hat. $\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{5,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 3,37 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,1 \text{ eV}$ Die Energiedifferenz entspricht dem Übergang zwischen den Niveaus mit -3,0 eV und -5,1 eV. 	4		
		6		
2	a Die Photonenenergie des Lichts der Na-Dampflampe entspricht der Energiedifferenz des Übergangs eines Elektrons zwischen den Energieniveaus mit -3,0 eV und -5,1 eV. Dieses Licht ist in der Lage, Elektronen in den Natriumatomen in der Gasflamme zum selben Übergang anzuregen. Dabei wird das Licht von den Natriumatomen absorbiert und anschließend gleichmäßig in alle Richtungen emittiert. Die Natriumatome emittieren also nur einen kleinen Teil der absorbierten Photonen in Richtung des Schirms, sodass es dort zur Schattenbildung kommt. b Die Emissionslinien des Quecksilbers fallen nicht mit denen des Natriums zusammen. Die Hg-Dampflampe emittiert also keine Photonen, deren Energien der Differenz zweier Niveaus im Natriumatom entsprechen. Die Photonen können daher keinen Übergang im Natriumatom anregen. Sie werden also in der Flamme nicht absorbiert, sodass kein Schatten entstehen kann.		4	
			2	

3	a In der Chromosphäre absorbieren Atome solche Photonen aus der Fotosphäre, deren Energien zu Übergängen zwischen jeweils zwei ihrer Energieniveaus passen und emittieren sie wieder in alle Richtungen. Dadurch erreicht einen Beobachter wie bei dem in M 2 dargestellten Versuch viel weniger Licht dieser für das Element charakteristischen Energie, was die dunklen Linien im Sonnenspektrum erklärt.		2	
	b Die mit D bezeichneten Linie passt zu der Natriumlinie aus M 1, da beide Linien ungefähr die gleiche Wellenlänge haben. Deshalb legt ihr Auftreten nahe, dass in der Chromosphäre Natriumatome vorhanden sind, die dieses Licht absorbieren.		2	
	c Wie in der Sonne laufen auch in anderen Sternen Prozesse der Photonenabsorption und -emission ab. Offenbar sind in anderen Sternen wie Beteigeuze oder Sirius aber andere chemische Elemente vorhanden, die Photonen anderer Energien absorbieren und daher dunkle Linien bei anderen Wellenlängen erzeugen. Das Licht von Mond und Planeten hingegen hat dunkle Linien an denselben Stellen wie das Sonnenlicht, da Mond und Planeten selbst kein Licht erzeugen, sondern lediglich das Licht der Sonne zurückwerfen.		4	
	d Die Spektralanalyse erlaubt es, die chemische Zusammensetzung von weit entfernten Sternen zu untersuchen. Wenn in weit entfernten Sternen die Spektrallinien anders gruppiert sind als im Sonnenspektrum, bedeutet dies, dass dort andere Elemente vorkommen als in unserer Sonne. Da wir diese Sterne wohl niemals mit Raumschiffen werden erreichen können, um sie direkt zu untersuchen, ist die Spektralanalyse extrem relevant für die Erforschung des Weltalls.			3
	e <i>Mögliche zu erörternde Aspekte sind:</i> ♦ Würden auf einem Planeten Moleküle nachgewiesen, die auf Leben auf dem Planeten schließen lassen, würde dies bedeuten, dass Leben nicht nur auf der Erde existiert. ♦ Durch die Möglichkeit, dass das vermutete Leben sogar intelligent ist, würde das Selbstverständnis der Menschheit als bislang einzige intelligente und daher besondere Spezies im Weltall grundlegend gestellt. ♦ Wegen der großen Entfernungen könnten wir dieser Spezies nicht unmittelbar begegnen, wir könnten aber in einen Informationsaustausch treten und von den anderen lernen. ♦ Andererseits könnte sich die Menschheit auch von einer uns möglicherweise überlegenen Spezies bedroht fühlen, was sie näher zusammenrücken lassen könnte.			3
Summe²		10	14	6

² Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1 a	6			
b	3		3	
2 a	1			
b	1			
3 a	1			
b		2	3	
c	1			
d		9		
e				8

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.