

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Massenspektrometrie
Anforderungsniveau	grundlegendes Anforderungsniveau
Inhaltsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Elektrische und magnetische Felder ◆ Das Feldkonzept zur Beschreibung von Wechselwirkungen <ul style="list-style-type: none"> ◆ Elektrische Feldstärke ◆ Magnetische Flussdichte ◆ Körper in statischen Feldern <ul style="list-style-type: none"> ◆ Kräfte auf Körper in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern, Bahnformen (qualitativ) ◆ Qualitative und quantitative Betrachtung von Bahnformen in homogenen Feldern
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 1 Bewegung im homogenen elektrischen bzw. magnetischen Feld ◆ M 2 Nachweis von zugeführtem Testosteron ◆ M 3 Geschwindigkeitsfilter ◆ M 4 Analysator ◆ M 5 Analyse mit einfachen Massenspektrometern ◆ M 6 Risiken bei Testosteron-Doping
Quellenangaben	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 6 Spiegel Wissenschaft (2007). <i>Biss am Berg dank Hodenpflaster</i>. Verfügbar unter: https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/testosteron-doping-biss-am-berg-dank-hodenpflaster-a-496504.html (Zugriff am 21.11.2023)
Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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

Massenspektrometrie

Mit Hilfe von Massenspektrometern können Substanzen sehr genau analysiert werden. Dieses Verfahren wird häufig eingesetzt, wenn bei Bodybuildern der Verdacht auf Doping durch Testosteron besteht.

Hinweis: In allen Teilaufgaben bleibt der Einfluss der Gravitationskraft unberücksichtigt.

	BE
<p>1 Massenspektrometer nutzen den Einfluss von Feldern auf die Bewegung von geladenen Teilchen aus. In Material 1 werden zwei verschiedene Situationen dargestellt. Beschreiben Sie qualitativ die Bewegungen der positiv geladenen Teilchen in diesen beiden Feldern, geben Sie jeweils eine Begründung an.</p>	4
<p>2 In Material 2 wird das Grundprinzip eines Massenspektrometers zum Nachweis von zugeführtem Testosteron beschrieben. Einfach positiv geladene ^{12}C-Ionen besitzen beim Eintritt in den Geschwindigkeitsfilter unterschiedliche Geschwindigkeiten. Der Geschwindigkeitsfilter (siehe M 3) lässt positiv geladene Ionen nur mit der Geschwindigkeit v_{Filter} passieren.</p> <p>a Leiten Sie aus den Kräften, die auf ein bewegtes ^{12}C-Ion im Filter wirken, folgende Beziehung her: $v_{\text{Filter}} = \frac{E}{B}$.</p> <p>b Berechnen Sie die magnetische Flussdichte, bei der nur ^{12}C-Ionen mit der Geschwindigkeit $v_1 = 1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ den Kondensator waagrecht durchqueren.</p>	4 3
<p>3 Der Geschwindigkeitsfilter lässt nur Ionen mit der Geschwindigkeit $v_1 = 1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ passieren. Man beobachtet, dass ein einfach positives geladenes Ion oberhalb der Lochblende A (siehe M 3) auftrifft. Erläutern Sie, ob die Geschwindigkeit bei Eintritt in den Kondensator größer oder kleiner als v_1 war.</p>	4
<p>4 Im Analysator (siehe M 4) werden die ^{12}C-Ionen mit der Geschwindigkeit v_1 in einem Magnetfeld auf eine Kreisbahn gezwungen.</p> <p>a Berechnen Sie den Abstand a für ein einfach positiv geladenes ^{12}C-Ion mithilfe der Gleichung aus Material 4.</p> <p>b Begründen Sie allgemein, dass sich die Bahnradien im Analysator proportional zu den Massen verschiedener einfach geladener Ionen verhalten, die den Geschwindigkeitsfilter passieren konnten.</p>	4 2
<p>5 Da die Lochblende A (siehe M 3) eine gewisse Öffnungsweite hat, passieren diese auch Ionen mit Geschwindigkeiten, die leicht von v_1 abweichen. Um diese Streuung der Geschwindigkeit zu reduzieren wird vorgeschlagen, die Länge des Kondensators im Geschwindigkeitsfilter zu verkürzen.</p>	4

Beurteilen Sie, ob dieser Vorschlag zu einer geringeren Streuung der Geschwindigkeiten nach der Lochblende A führt.

- 6** Zugeführtes Testosteron bewirkt ein verstärktes Muskelwachstum. Es hat jedoch auch andere Folgen (siehe M 6). Es wird als Maßnahme gegen diese Art des Dopings vorgeschlagen, alle Bodybuilder bei Wettkampfveranstaltungen auf Testosteronmissbrauch zu testen und bei einem einmaligen positiven Testergebnis lebenslang zu sperren.

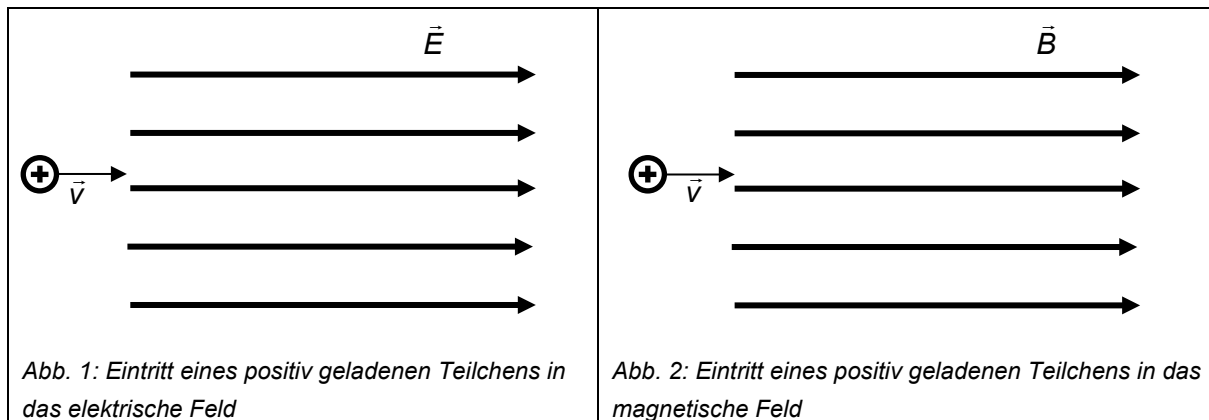
Die Analyse soll mit einfachen Massenspektrometern (siehe M 5) durchgeführt werden.

- a** Beurteilen Sie die Eignung dieser einfachen Massenspektrometer aus fachlicher Sicht. 3
- b** Bewerten Sie den Einsatz von einfachen Massenspektrometern unter Berücksichtigung von Material 6 und Teilaufgabe a. 2

2 Material

Material 1: Bewegung im homogenen elektrischen bzw. magnetischen Feld

In die beiden homogenen Felder tritt jeweils ein positives geladenes Teilchen von links kommend mit der Geschwindigkeit \vec{v} parallel zu den Feldlinien ein.



Material 2: Nachweis von zugeführtem Testosteron

Wird als Doping Testosteron zugeführt, so führt dies im Körper zu einer Veränderung des Verhältnisses ^{12}C zu ^{13}C der Kohlenstoff-Atome. Die beiden Kohlenstoff-Atome ^{12}C und ^{13}C unterscheiden sich in ihren Massen, aber nicht in ihrem chemischen Verhalten.

Zur Bestimmung des Verhältnisses von ^{12}C zu ^{13}C werden Kohlenstoff-Atome aus der Doping-Probe einfach positiv ionisiert und beschleunigt. Anschließend wird durch einen Geschwindigkeitsfilter erreicht, dass nur noch Ionen einer einheitlichen Geschwindigkeit vorliegen. Danach werden sie im Analysator hinsichtlich ihrer Masse analysiert.

Tab. 1: Massen der einfach positiv geladenen Ionen

Masse ^{12}C -Ion	$1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
Masse ^{13}C -Ion	$2,16 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

Material 3: Geschwindigkeitsfilter

Der Geschwindigkeitsfilter hat die Aufgabe, nur positiv geladene Ionen mit der Geschwindigkeit v_{Filter} durchzulassen.

Um dies zu erreichen, lenkt man Ionen, die einfach positiv geladen sind, horizontal in einen Plattenkondensator. In diesem durchlaufen sie ein auf den Kondensator begrenztes elektrisches und ein magnetisches Feld. Diese Felder sind senkrecht zueinander angeordnet und homogen (s. Abb. 3). Am Ende des Geschwindigkeitsfilters befindet sich eine schmale Lochblende A, die nur die Ionen durchlässt, die sich näherungsweise auf einer horizontalen Bahn bewegen.

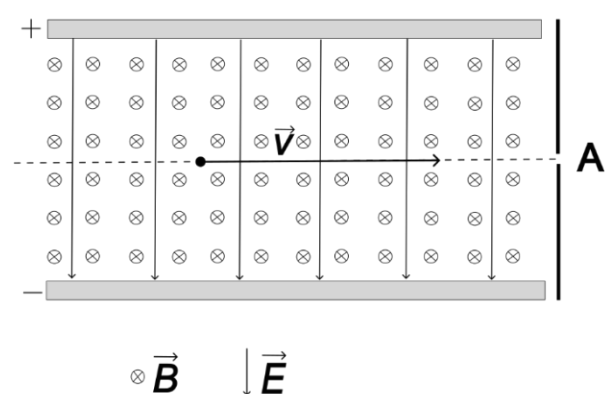


Abb. 3: Geschwindigkeitsfilter (Prinzip)

Tab. 2: Daten des Kondensators

Plattenabstand	6,00 cm
Spannung	1,00 kV
Plattenlänge	10,0 cm

Material 4: Analysator

Im Analysator bewegen sich die einfach positiv geladenen Ionen in einem Magnetfeld der magnetischen Flussdichte $B = 0,50 \text{ T}$, dessen Feldlinien senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung sind. Dadurch findet eine Ablenkung der Ionen statt, sie bewegen sich auf Kreisbahnen. Anschließend prallen die Ionen im Abstand a von der Eintrittsöffnung auf die Detektorplatte (siehe Abb. 4).

$$\text{Es gilt: } q \cdot B \cdot v = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

r : Bahnradius

m : Masse des Ions

q : Ladung des Ions

v : Geschwindigkeit des Ions

B : Betrag der magnetischen Flussdichte

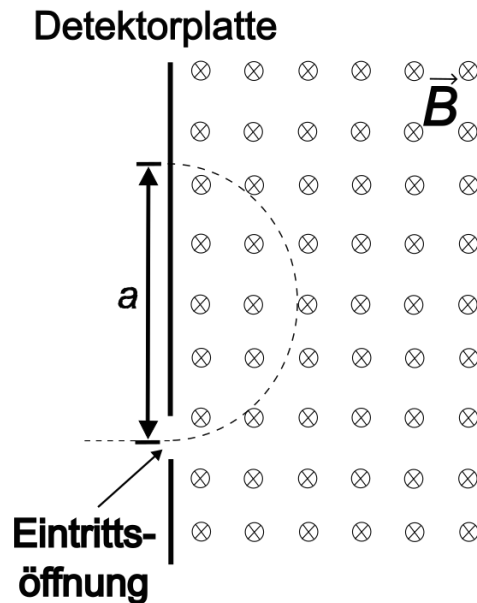


Abb. 4: Analysator (Prinzip)

Material 5: Analyse mit einfachen Massenspektrometern

Bei einfachen Massenspektrometern kann durch den Geschwindigkeitsfilter die Geschwindigkeit v_1 nur mit der Genauigkeit von $\pm 4\%$ festgelegt werden.

Hieraus folgt, dass die meisten Ionen einer Sorte nur in einem gewissen Bereich auf der Detektorplatte auftreffen. Legt man nur ausschließlich die Geschwindigkeitsstreuung zugrunde, so berechnet sich der Abstand a des Auftreffortes auf der Detektorplatte von der Mitte der Eintrittsöffnung (siehe Abb. 4 in M 4):

- ◆ für ^{12}C -Ionen von 4,77 cm bis 5,17 cm
- ◆ für ^{13}C -Ionen von 5,18 cm bis 5,61 cm.

Material 6: Risiken bei Testosteron-Doping²

Die Liste der Nebenwirkungen ist lang, und bezieht sich fast immer auf einen zu hohen Pegel in Folge künstlicher Verabreichung – also auch Dopings. Leber- und Nierentumore sollen können ebenso wie Herz- und Kreislaufschäden zu den Folgen zählen. Auch ein schlechterer Cholesterinwert und eine höhere Gefahr von Schlaganfällen und Thrombose können sich einstellen.

² Die Textwiedergabe folgt aus Urheberrechtsgründen dem Original. In der Abiturprüfung lautete davon abweichend der erste Satz wie folgt: „Die Liste der Nebenwirkungen ist lang, und bezieht sich fast immer auf eine zu hohe Konzentration in Folge künstlicher Verabreichung – also auch Dopings. Leber- und Nierentumore können ebenso wie Herz- und Kreislaufschäden zu den Folgen zählen.“

Für einige Folgen hoher Testosteronwerte sind besonders professionelle Bodybuilder bekannt: Neben starkem Muskelwachstum verändert das Hormon auch die Gesichtszüge (sie werden größer), kann zu Haarausfall führen und Akne hervorrufen. Bei drastischer Überdosierung drohen außerdem irreparable Hodenschäden bis hin zur Unfruchtbarkeit.

aus: SPIEGEL.de, 25.07.2007, <https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/testosteron-doping-biss-am-berg-dank-hodenpflaster-a-496504.html>

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	♦ Zu Abb. 1: Das positive Teilchen bewegt sich von links nach rechts geradlinig weiter, jedoch nimmt seine Geschwindigkeitsbetrag unter dem Einfluss der konstanten el. Kraft gleichmäßig zu.	2		
	♦ Zu Abb. 2: Das Teilchen bewegt sich gleichförmig weiter, da keine Kraft auf das Teilchen wirkt ($\vec{v} \parallel \vec{B}$, also ist die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zu \vec{B} Null und somit ist die Lorentzkraft Null).	2		
2	<p>a Das positiv geladene ^{12}C-Ion bewegt sich im Filter geradlinig, falls es sich im Kräftegleichgewicht befindet. Dies gilt, falls $F_L = F_{el}$ ist und die Kräfte entgegengesetzt gerichtet sind.</p> $F_L = q \cdot v \cdot B$ $F_{el} = q \cdot E$ Also folgt $q \cdot v_{\text{Filter}} \cdot B = q \cdot E$. Hieraus folgt für die Geschwindigkeit: $v_{\text{Filter}} = \frac{E}{B}$		4	
	<p>b $d = 6 \text{ cm}$; $U = 1,00 \text{ kV}$; $v = 1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$</p> Es gilt: $E = \frac{U}{d}$ somit folgt: $B = \frac{E}{v_1} = \frac{U}{d \cdot v_1} = \frac{1,00 \text{ kV}}{0,06 \text{ m} \cdot 1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,167 \text{ T}$		3	
3	Da das positiv geladene Ion oberhalb der Lochblende auftrifft, muss eine resultierende Kraft nach oben gewirkt haben. Dies kann nur erfolgen falls $F_L > F_{el}$ gilt: $F_L = q \cdot v \cdot B$ wird größer und wirkt nach oben. $F_{el} = q \cdot E$ bleibt gleich und wirkt nach unten. Daher werden positiven Ionen mit $v > v_1$ nach oben abgelenkt.		4	
4	<p>a Für den Abstand a gilt: $a = 2r$;</p> $q = e ; B = 0,50 \text{ T} ; v = 1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; m = 1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ $r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} = \frac{1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot 1,00 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{e \cdot 0,5 \text{ T}} = 0,0248 \text{ m}$ also folgt $a = 2r = 5,0 \text{ cm}$	4		
	<p>b Da sich die Massen der Teilchen unterscheiden, jedoch nicht ihre Geschwindigkeit, ihre Ladung und der Betrag der Flussdichte,</p>	2		

	unterscheiden sich gemäß $r = m \cdot \frac{v}{q \cdot B}$ die Radien entsprechend der Massen.			
5	Verkürzt man die Länge der Kondensatorplatten, so reduziert sich die Aufenthaltsdauer. Abweichungen von der Soll-Geschwindigkeit führen somit zu einer kleineren Ablenkung des Ions. Die Geschwindigkeitsstreuung der positiv geladenen Ionen, die durch die Öffnung der Lochblende A treten können, ist somit höher. Die Maßnahme führt somit nicht zu einer geringeren Streuung der Geschwindigkeiten nach der Lochblende A.			4
6	<p>a Man erkennt, dass die zugehörigen Bereiche auf der Detektorplatte zu den ^{12}C- und ^{13}C- Ionen fast aneinandergrenzen. Eine genaue Bestimmung könnte somit nur dann erfolgen, falls alle anderen Parameter (Flussdichte B, Detektionsgenauigkeit auf der Platte, Ort des Durchgangs durch die Eintrittsöffnung, Soll-Geschwindigkeit) ganz präzise eingestellt werden können. Hier können Ungenauigkeiten auftreten, so dass man die geringe Veränderung im Verhältnis der ^{12}C- und ^{13}C- Atomen nicht sicher feststellen kann. Somit eignen sich einfache Massenspektrometer nicht zur sicheren Darstellung, ob Doping mit Testosteron erfolgte.</p> <p>b Eine lebenslange Sperre aufgrund einer einmaligen positiven Messung, die mit einem solchen einfachen Massenspektrometer durchgeführt wurde, erscheint unangemessen, da ein positives Testergebnis durchaus falsch sein könnte. Eine fälschlich negative Auswertung kann dazu beitragen, dass der Bodybuilder noch länger dopt und sich dadurch die Wahrscheinlichkeit für schwere gesundheitliche Folgen erhöht.</p>		3	2
	Summe³	10	16	4

³ 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	3			
2 a	3			
b	3			
3			4	
4 a	3			
b	1			
5		7		
6 a		7		
b				6

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 Bewertungsraster⁴ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

⁴ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.