



- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.)!
- Überprüfen Sie die physikalischen Einheiten in Ihren Rechenschritten und Lösungen! (Vor allem bei längeren Rechenwegen!)
- Wenn Sie einen Graphen mit dem GTR anfertigen, skizzieren Sie ihn bitte in der Klausur!

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

Materie als Quantenobjekte Gegenstand dieser Aufgabe sind Überlegungen zur de-Broglie-Wellenlänge von Materie. Der Nachweis der Welleneigenschaften massiver Materie war schließlich ein entscheidender Schritt zu einem neuen Verständnis von Materie. Erwin Schrödinger konnte später auf der Grundlage der Welleneigenschaften der Elektronen in Atomen ein sehr präzises Atommodell entwickeln.

- 1.1. Beschreibe qualitativ - also ohne Angabe von numerischen Daten - das Experiment zum Nachweis der de-Broglie-Wellenlänge, das wir im Unterricht durchgeführt haben.
- 1.2. Die verwendete Elektronenstrahlröhre kann Elektronen in einem Bereich der Beschleunigungsspannung zwischen $U_{min} = 120V$ und $U_{max} = 4500V$ emittieren. Berechne die Grenzen für die Wellenlänge der Elektronen.
- 1.3. Ein Grundprinzip der Quantenphysik sagt aus, dass man Teilchen niemals genauer lokalisieren kann als eine Wellenlänge (was noch ziemlich optimistisch abgeschätzt ist). Welche Geschwindigkeit v bzw. kinetische Energie E_{kin} muss ein Elektron demnach mindestens aufweisen, wenn man seinen Ort auf $1\mu m$, auf $1nm$ bzw. auf $1pm$ genau bestimmen möchte?
- 1.4. Erläutere auf der Grundlage von Aufgabe 1.3. den Begriff der quantenmechanischen Nullpunktsperre: „Ein eingesperrtes Teilchen kann niemals in Ruhe sein“.
- 1.5. Fullereine sind Moleküle, die in ihrer Struktur einem Fußball gleichen und aus jeweils 60 Kohlenstoffatomen bestehen (Abb. 1). Durch das Erhitzen einer Fullerenprobe wird ein Fullerenstrahl erzeugt, der Moleküle unterschiedlicher Geschwindigkeiten enthält (vgl. Abb. 2 mit idealisierter Messkurve).
 - a) Berechnen Sie näherungsweise die de-Broglie-Wellenlänge eines Fullerenens, welches die Geschwindigkeit besitzt, die am häufigsten auftritt. (Nehmen Sie an, dass es sich ausschließlich um ^{12}C -Atome handelt, also um Kohlenstoffatome mit 6 Protonen und 6 Neutronen.)
[zur Kontrolle: $\lambda \approx 2,6 pm$]
 - b) Welchem „Licht“ entspricht diese Wellenlänge?

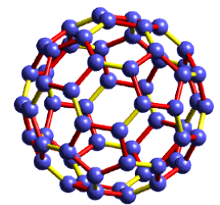


Abb. 1

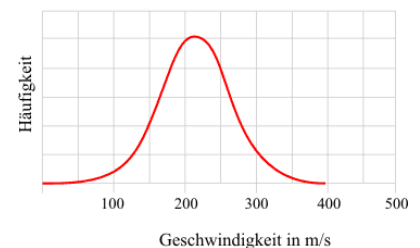


Abb. 2

Im Folgenden sollen die Auswirkungen der de-Broglie-Theorie auf „alltägliche“ Objekte untersucht werden.

- 1.6. Ein Staubkorn ($m=0,002g$) sinkt im Schwerfeld der Erde mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v=3mm/s$. Bestimme seine Wellenlänge.
- 1.7. Warum hat die de-Broglie-Wellenlänge für solche Körper wie in 1.6. keine alltägliche Bedeutung?

Radioaktive Strahlung

2.1 Radioaktive Strahlung kann z. B. mit einem Geiger-Müller-Zählrohr registriert werden.

Die Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Zählrohres.

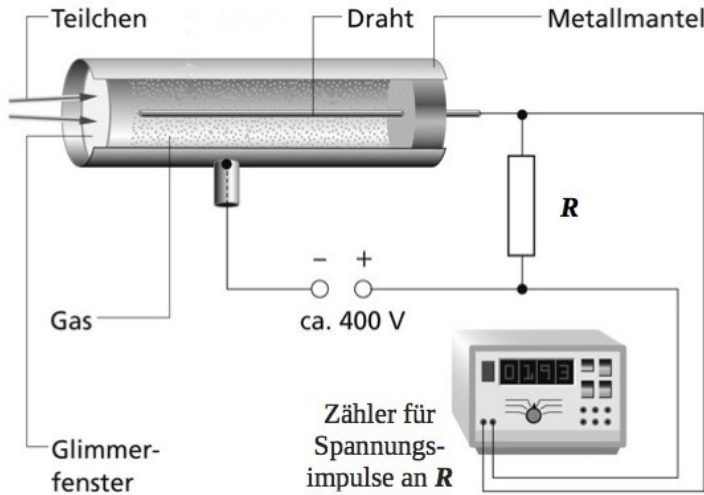
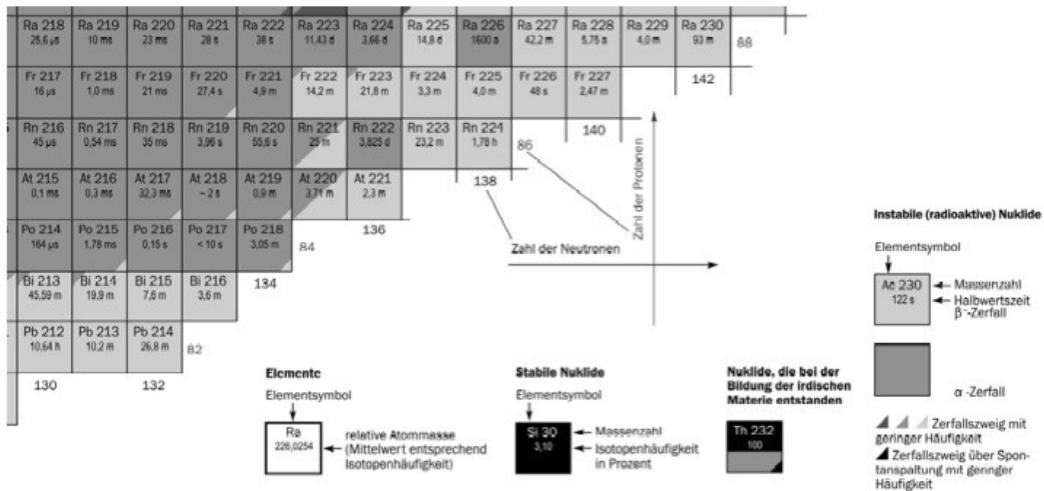


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohres
(Quelle: Physik Oberstufe, Cornelsen Verlag, Berlin 2008, leicht geändert)

Erläutern Sie unter Bezug auf die vorgegebene Skizze die prinzipielle Funktionsweise eines solchen Geiger-Müller-Zählrohres. (6 Punkte)

2.2 Im vorgeführten Versuch wird ein Radium-226-Präparat verwendet.



Nach: G. Pfennig, H. Klewe-Nebenius, W. Seelmann-Eggebert: Karlsruher Nuklidkarte. 6. Aufl. 1995, Copyright by Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Abbildung 2: Ausschnitt aus einer Nuklidkarte

(Quelle: Das große Tafelwerk, Volk und Wissen Verlag, Berlin 2002, leicht geändert)

- Ermitteln Sie anhand der beigefügten Nuklidkarte (Abbildung 2) die weitere Zerfallsreihe vom Ra 226 über die diversen Zerfallsprodukte bis hin zu Po 214.
- Geben Sie für jeden Zerfall auch die Zerfallsart an.

Hinweis: Sie können Ihre Darstellung zu Teilaufgabe a) entsprechend ergänzen.

- c) *Erläutern Sie, wieso das Ra-226-Präparat (genau wie viele andere Nuklide) auch γ -Strahlung zahlreicher unterschiedlicher Energiewerte aussendet, obwohl in dem in Abbildung 2 wiedergegebenen Ausschnitt einer Nuklidkarte nur α - und β -Zerfälle dargestellt werden.* (9 Punkte)

2.3 Um sich vor radioaktiver Strahlung zu schützen, kann man unter anderem einen möglichst großen Abstand von der Strahlungsquelle halten.

Das verwendete Ra-226-Präparat, sendet α -, β - und γ -Strahlung aus. Die α -Strahlung wird aber durch ein Blatt Papier zwischen Präparat und Zählrohr absorbiert. Die Zählrate Z wird in Abhängigkeit vom Abstand r zwischen Präparat und Zählrohr gemessen.

Folgende Messwerte wurden ermittelt:

Abstand r in cm	2	3	4	5	6	8	10	12
Zählrate Z pro 100 s	6277	2913	1710	1102	748	415	261	174

(Die Zählraten sind bereits um die Nullrate reduziert.)

- a) *Zeigen Sie mit Hilfe der Messwerte, dass der Zusammenhang zwischen der Zählrate Z und dem Abstand r (näherungsweise) durch die Beziehung $Z \sim \frac{1}{r^2}$ beschrieben werden kann, und erläutern Sie Ihr Vorgehen.*
- b) *Erläutern Sie, wie sich ein Verzicht auf die Abschirmung der Alpha-Teilchen auf die Messergebnisse auswirken würde. Gehen Sie dazu insbesondere auf die physikalischen Ursachen für diese Auswirkungen ein.* (14 Punkte)

2.4 Zum Schutz vor γ -Strahlung sollten wegen ihrer großen Reichweite in Luft geeignete Absorber verwendet werden. Für die Absorption (monoenergetischer) γ -Strahlung durch Materie gilt das Absorptionsgesetz: $Z(d) = Z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$.

(Z_0 : Zählrate, die ohne Absorber registriert wird

$Z(d)$: Zählrate, die nach Durchdringen eines Absorbers der Dicke d noch registriert wird

μ : Absorptionskoeffizient)

- a) *Erläutern Sie den Begriff der Halbwertsdicke $d_{1/2}$.*
- b) *Geben Sie zwei Faktoren an, die Einfluss auf die Halbwertsdicke haben.*
- c) *Leiten Sie ausgehend vom Absorptionsgesetz die Beziehung $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$ zwischen der Halbwertsdicke $d_{1/2}$ und dem Absorptionskoeffizienten μ her.* (10 Punkte)

2.5 Mit Hilfe des in Abbildung 3 dargestellten Versuchs soll nun gezeigt werden, dass für die monoenergetische γ -Strahlung eines Cäsium-137-Präparats das in Teilaufgabe 2.4 angegebene Absorptionsgesetz gilt.

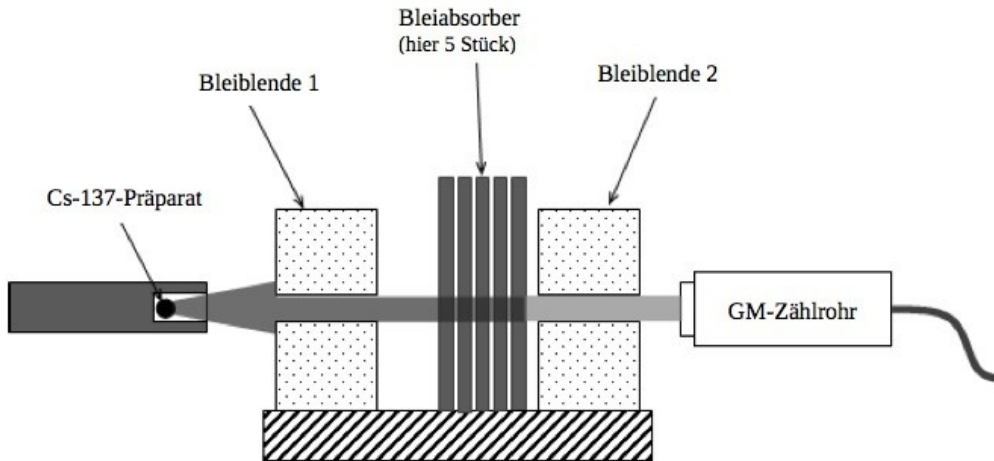


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Absorption von γ -Strahlung

Hinweise: Cs 137 sendet β - und γ -Strahlung aus, aufgrund der Bauart der Umhüllung des Präparates tritt allerdings keine β -Strahlung aus, untersucht wird also nur die (relativ intensive) monoenergetische γ -Strahlung. Die Energie dieser γ -Quanten beträgt $E_{\gamma\text{-Cs137}} \approx 662 \text{ keV}$.

Zunächst wird die Zählrate Z_0 dieser γ -Strahlung bestimmt. Dann werden zusätzlich Bleiplatten zunehmender Dicke d angebracht. Dabei bleibt der Abstand zwischen Zählrohr und Strahlenquelle konstant.

Durch die beiden Bleiblen „1“ und „2“ soll möglichst verhindert werden, dass neben den vom Cs-137-Präparat stammenden γ -Quanten auch noch Streustrahlung bzw. Sekundärelektronen ins Zählrohr gelangen.

Folgende Werte werden gemessen:

Bleidicke d in mm	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Zählrate Z pro 10 min	2467	1987	1549	1232	987	773	623	480	411	312

(Die Zählraten sind bereits um die Nullrate reduziert.)

- Überprüfen Sie mit Hilfe einer grafischen Auswertung der Messwerte, ob diese dem in 2.4 angegebenen Absorptionsgesetz genügen.
- Bestimmen Sie aus der grafischen Darstellung den Absorptionskoeffizienten μ und die Halbwertsdicke $d_{1/2}$. (16 Punkte)

2.6 Die Schwächung von γ -Strahlung durch einen Absorber erfolgt durch Wechselwirkung der γ -Quanten mit der Absorbiermaterie. Dabei kann es unter bestimmten Umständen zur sogenannten Paarbildung kommen. Bei diesem Paarbildungseffekt wird **ein** γ -Quant im elektrischen Feld eines Atomkerns in ein Elektron und in ein Positron umgewandelt.

Zeigen Sie mit Hilfe einer Energiebetrachtung, dass es bei der hier verwendeten γ -Strahlung von Cs 137 **nicht** zu einer Paarbildung kommen kann.

Hinweis: Die Energie der γ -Quanten beträgt $E_{\gamma\text{-Cs137}} \approx 662 \text{ keV}$. (7 Punkte)