

**Allgemeine Hinweise:**

- 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!)
- Lesen Sie die Aufgaben zunächst alle einmal und beginnen Sie dann mit der für Sie einfachsten Aufgabe!

**Erlaubte Hilfsmittel:** Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

**Absorption von  $\gamma$ -Strahlung in Materie** Bei der Arbeit mit radioaktiven Stoffen muss darauf geachtet werden, dass die Strahlenexposition möglichst gering bleibt, dass also die Strahlung radioaktiver Stoffe so weit wie möglich abgeschirmt wird. Dazu muss man die Eigenschaften der Strahlung und ihr Verhalten beim Durchgang durch Materie kennen.

- 1.1. Welche Arten radioaktiver Strahlung kennen Sie? Woraus bestehen sie, welche Eigenschaften besitzen sie und auf welche Arten wechselwirken sie mit Materie?
- 1.2. Welcher Bruchteil von  $\gamma$ -Strahlung mit einer Energie von 1 MeV durchdringt eine Schicht von 1cm [10cm] Eisen bzw. Blei?
- 1.3. Mit  $^{60}\text{Co}$  ( $\gamma$ -Strahler) wird eine Absorptionsmessung durchgeführt. Für jeweils  $k = 1000$  Impulse benötigt man folgende Messzeiten (Nulleffekt: 1000 Impulse in 53 min noch nicht abgezogen):

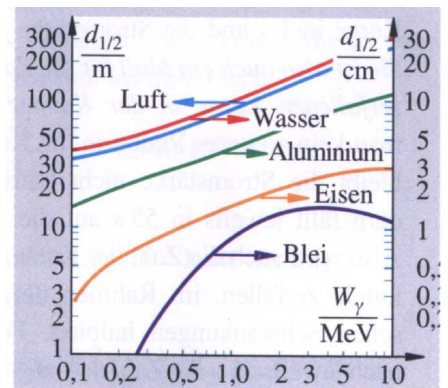
<b>d/mm</b>	4	8	12	16	20	25	30	35	40	50
<b>t/s</b>	45	61	71	85	110	158	199	265	335	542

- Bestimmen Sie die Halbwertsdicke  $d_{1/2}$  unter Verwendung aller Messwerte.
  - Welche Zählrate misst man ohne Blei?
  - Ermitteln Sie mit dem nebenstehenden Diagramm aus  $d_{1/2}$  die Energie der  $\gamma$ -Quanten von  $^{60}\text{Co}$ .
- 1.4. Für den Energieverlust  $\Delta E$  geladener Teilchen durch Materie längs der Strecke  $\Delta x$  gilt:

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} \sim n_e \quad \text{mit } n_e = \text{Dichte der Elektronen des Stoffes}$$

Zeigen Sie, dass für Materie der Dichte  $\rho$ , die aus Atomen der Ordnungszahl  $Z$  besteht, der Zusammenhang

$$n_e = \frac{Z}{A} \rho N_A \quad \text{gilt und dass der Energieverlust } \Delta E \text{ pro } \rho \Delta x \text{ für alle Stoffe annähernd konstant ist.}^1$$



Halbwertsdicken von  $\gamma$ -Strahlung

<sup>1</sup> In der Hochenergiephysik ermöglichen die Energieverlustmessungen in sog. Kalorimetern bei gleichzeitiger Kenntnis der Impulse die eindeutige Identifizierung der bei einem Kollisionsexperiment entstandenen Elementarteilchen. Die vollständige Bethe-Bloch-Formel lautet

übrigens: 
$$-\frac{\Delta E}{\Delta x} = 4\pi N_A \rho \frac{Z}{A} \frac{e^4}{mc^2} \frac{z^2}{\beta^2} \left( \ln \frac{2m\gamma^2 v^2}{I} - \beta^2 \right)$$



**Radioaktivität in der medizinischen Diagnostik**

Für manche medizinischen Diagnosen ist es wichtig, die Blutmenge im Organismus zu kennen. Man kann dazu folgendes Verfahren anwenden: In den Blutkreislauf des Patienten wird  $1\text{cm}^3$  einer Lösung mit roten Blutkörperchen gespritzt, die mit radioaktivem Technetium ( $^{99}\text{Tc}$ , Halbwertszeit  $6,0\text{ h}$ ) markiert sind. Nach einiger Zeit hat sich die Lösung gleichmäßig im Blut verteilt. Dem Patienten werden dann  $20\text{cm}^3$  Blut entnommen und die Aktivität des beigemischten Technetiums gemessen.  $1,5\text{ h}$  nach dem Präparieren und Einspritzen der Lösung wird an der entnommenen Blutprobe die Aktivität  $43,5\text{ kBq}$  gemessen. Die ursprüngliche Aktivität der eingespritzten Lösung betrug  $15\text{ MBq}$ .

- 2.1. Wie viel Gramm des Radionuklids  $^{99}\text{Tc}$  wurden beim Ansatz der Lösung für  $1\text{cm}^3$  verwendet?
- 2.2. Welches Blutvolumen ergibt sich aus den vorliegenden Angaben für den Patienten?

Das verwendete  $^{99}\text{Tc}$ -Nuklid ist auch ein  $\beta^-$ -Strahler mit der maximalen kinetischen Energie der emittierten Elektronen von  $0,30\text{ MeV}$ .

- 2.3. Welchen maximalen Impuls erhält der Kern durch den Rückstoß beim Zerfall? Berechnen Sie hieraus nichtrelativistisch die kinetische Energie, die der Kern maximal durch diesen Rückstoß aufnimmt.
- 2.4. Geben Sie die vollständige Gleichung für den  $\beta^-$ -Zerfall von  $^{99}\text{Tc}$  an. Skizzieren und erläutern Sie qualitativ das Energiespektrum der emittierten Elektronen. ( *Tipp: Eine Erklärung sollte ein 1930 von Wolfgang Pauli aufgestelltes Postulat zur Rettung des Energiesatzes erwähnen.*)

Konstanten und Einheiten	● Halbwertsdicken $d_{1/2}$ in cm für $\gamma$ -Strahlung verschiedener Energie:				
	<b>Material</b>	<b>10 keV</b>	<b>100 keV</b>	<b>1000 keV</b>	<b>10000 keV</b>
	<b>Luft</b>	140	3500	8200	29000
	<b>Aluminium</b>	0,012	1,6	4,2	12
	<b>Eisen</b>	0,0006	0,25	1,5	2,7
	<b>Blei</b>	0,0007	0,011	1,1	1,2
● Die Avogadro-Konstante wird hier immer als einheitenlose Zahl verwendet: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$					