

# Zentrale schriftliche Abiturprüfung

2017

## Physik Grundkurs

### Aufgabenstellung D

für Prüflinge

<b>Inhalt:</b>	<b>Kernphysik</b>
<b>Titel:</b>	<b>Brandmelder</b>
<b>Aufgabenart:</b>	Aufgabe mit Materialien
<b>Hilfsmittel:</b>	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
<b>Gesamtbearbeitungszeit:</b>	210 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
<b>Hinweis:</b>	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

#### Brandmelder

Ein Brandmelder hat die Aufgabe, im Falle eines Brandes möglichst zuverlässig automatisch einen Alarm auszulösen. Lange Zeit waren die gebräuchlichsten Anlagen sogenannte „Ionisationsbrandmelder“, die mit radioaktiven Substanzen arbeiteten. Diese Geräte können auch kleinste, kaum sichtbare Rauchpartikel registrieren.

Wie ein solches Gerät funktioniert und inwiefern die Verwendung radioaktiver Stoffe hierbei problematisch ist, wird in den folgenden Aufgaben näher untersucht.

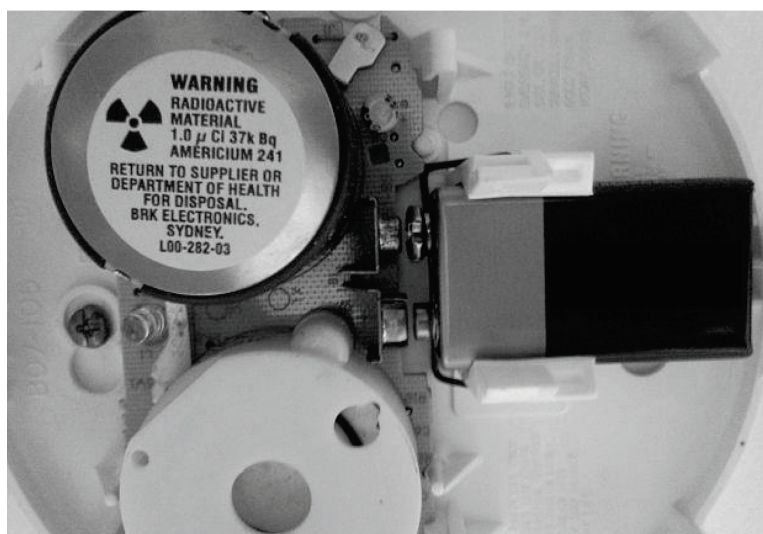


Abbildung 1: Inneres eines Ionisationsbrandmelders<sup>[1]</sup>

**Aufgaben:****BE**

- 1** Fertigen Sie eine Skizze des prinzipiellen Aufbaus eines Ionisationsbrandmelders an. **6**  
Beschreiben Sie, welche Funktion der radioaktive Stoff in dem Brandmelder erfüllt.
- 2** Vergleichen Sie die Reichweite in Luft und die Abschirmbarkeit der drei verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung. **11**  
Begründen Sie, warum Americium-241 für die Verwendung in Brandmeldern besonders geeignet ist.
- 3** Bestimmen Sie die benötigte Masse an Americium-241, um eine Aktivität von 37 kBq zu erreichen. **11**  
Prüfen Sie rechnerisch nach, ob die Aktivität des Americiums im betrachteten Brandmelder innerhalb von 20 Jahren so weit abnimmt, dass der Melder ausgetauscht werden muss.
- 4** Geben Sie die Zerfallsgleichung der bei Americium-241 auftretenden Umwandlung an. **17**  
Berechnen Sie die bei der Umwandlung eines Americium-241-Kernes freiwerdende Energie in der Einheit eV.  
[Kontrollergebnis:  $\Delta E = 5,7 \text{ MeV}$ ]  
Zeigen Sie, dass in dem betrachteten Brandmelder genügend Luftionen gebildet werden können, um eine gut messbare Stromstärke zu erhalten.
- 5** Begründen Sie aus physikalischer Sicht, warum der Einsatz von Ionisationsbrandmeldern in Deutschland nur unter strengen Auflagen zulässig ist. **5**

**Material 1: Prinzip eines Ionisationsbrandmelders**

Um einen Brand automatisch zu erkennen, muss in dem zu überwachenden Raum ein Brandmelder installiert sein. Bei Ionisationsbrandmeldern wird die Luft durch einen radioaktiven Stoff ständig ionisiert. Dies findet in einem kleinen Bereich (der Messkammer) zwischen zwei unterschiedlich geladenen Metallplatten statt. Der dadurch in der Messkammer ermöglichte elektrische Strom wird gemessen. Als Spannungsquelle kann eine gewöhnliche Batterie verwendet werden.

Im Falle eines Brandes gelangen Rauchpartikel in die Messkammer, an die sich die Ionen anlagern, wodurch die Leitfähigkeit der Luft messbar abnimmt.

Mit einer geeigneten Schaltung lässt sich die Abnahme der elektrischen Stromstärke registrieren und bei einer auffälligen Änderung ein Alarm auslösen.

**Material 2: Ionisationsbrandmelder mit Americium-241**

Das für Ionisationsbrandmelder am häufigsten verwendete Radionuklid ist das künstlich hergestellte Americium-Isotop  $^{241}_{95}\text{Am}$ .

Americium-241 ist ein  $\alpha$ -Strahler, der sich mit einer Halbwertszeit von  $T_H = 432$  a in ein sehr langlebiges Neptunium-Isotop umwandelt. Der Anteil an freigesetzter  $\gamma$ -Strahlung bei der Umwandlung ist so gering, dass Americium-241 praktisch als reiner  $\alpha$ -Strahler angesehen werden kann.

beteiligtes Nuklid	Atommasse	Kernmasse
Americium-241	241,05683 u	241,00471 u
Neptunium-237	237,04817 u	236,99716 u
Helium-4	4,00260 u	4,00151 u
$1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$		

Damit ausreichend viele Ionen und auswertbare Stromstärken erzielt werden, muss der Luft in den Kammern eine Strahlungsleistung von mindestens  $3,0 \cdot 10^{-8} \text{ W}$  zugeführt werden.

Da eine Masse von 1 g Americium-241 bereits eine Aktivität von  $1,27 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$  verursacht, werden in Ionisationsbrandmeldern nur sehr geringe Mengen von Americium-241 benötigt.

Im hier betrachteten Ionisationsbrandmelder liegt die benötigte Aktivität bei 37 kBq. Eine Abnahme der Aktivität um mehr als 5% erfordert den Austausch des Brandmelders.

**Material 3: Einsatz von Ionisationsbrandmeldern in Deutschland**

Während in den USA Ionisationsbrandmelder weit verbreitet sind, wird ihr Einsatz in Deutschland durch zahlreiche Vorschriften und Auflagen erschwert. In einigen Landkreisen ist er sogar gänzlich verboten.

Im Normalbetrieb stellen die Ionisationsbrandmelder keine Gefährdung dar. Eine regelmäßige Überprüfung der Geräte ist in Deutschland vorgeschrieben.

Im Brandfall ist es allerdings nötig, die Melder zu finden und fachgerecht zu entsorgen. Das Auffinden der Ionisationsbrandmelder z. B. im Brandschutt eines abgebrannten Hauses ist jedoch unter Umständen sehr schwierig und auch mit einem Geiger-Müller-Zählrohr nicht einfach möglich. Gelingt das Auffinden nicht, muss der gesamte Brandschutt als Sondermüll entsorgt werden, was erhebliche Kosten verursacht.

Die Installation neuer Anlagen und der Abbau von nicht mehr funktionsfähigen Ionisationsbrandmeldern muss in Deutschland von ausgebildeten Fachleuten vorgenommen werden.

**Material 4: Physikalische Größe Aktivität**

Aktivität	$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_H} \cdot t}$	<p><math>A(t)</math> Aktivität eines radioaktiven Strahlers, beschreibt die Anzahl der Kernzerfälle pro Sekunde in dem Strahler</p> <p><math>T_H</math> Halbwertszeit des radioaktiven Strahlers</p> <p><math>A_0</math> Aktivität des Strahlers zum Zeitpunkt <math>t = 0</math></p>
-----------	---	---

Die Einheit der Aktivität ist ein Bequerel:  $1 \text{ Bq} = 1 \frac{1}{\text{s}}$ .

**Quellen:**

- [1] Foto von MD111 - <http://www.flickr.com/photos/md111/3266158320/>, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8330955>, bearbeitet vom Aufgabenentwickler am 05.05.2016
- [2] Smoke Detectors and Americium.  
<http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/smoke-detectors-and-amerium.aspx>, gesichtet am 05.05.2016
- [3] Informationsseite des Bundesamtes für Strahlenschutz:  
[http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-alltag/rauchmelder/rauchmelder\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-alltag/rauchmelder/rauchmelder_node.html), gesichtet am 05.05.2016
- [4] Ionisationsrauchmelder. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ionisationsrauchmelder>, gesichtet am 05.05.2016