

Experiment 1: Wärmefluss durch einen Plastikbecher

1. Einleitung

Im vorliegenden Experiment soll der k -Wert (Abkühlungskonstante) eines mit warmem Wasser gefüllten Plastikbechers zur Aussenluft hin bestimmt werden. Daraus sollen Schlüsse für den dreistufigen Wärmedurchgang Wasser→Plastik→Aussenluft gezogen werden.

1.1 Zur Verfügung stehendes Material

- 1 Plastikbecher
- 1 Stück Styropor (als Bodenplatte)
- 1 Stück Styropor, mit Loch (als Deckel)
- 1 Schieblehre
- 1 Waage
- 1 Massstab
- 1 Ventilator 12 V=
- 1 Spannungsquelle 12 V=
- 1 Rolle Klebeband
- 1 Thermometer digital
- 1 Stoppuhr digital
- 1 Becherglas (Zwischenbehälter)
- Millimeterpapier (halb-logarithmisch)
- 1 Wasserkocher (vorne)

1.2 Allgemeine Hinweise

- Der Ventilator darf nicht mit mehr als 12 V= versorgt werden.
- Alle Messungen und Berechnungen müssen nachvollziehbar dokumentiert werden. Das heisst, alle gemessenen Grössen müssen notiert werden, alle in die Rechnungen eingehenden Werte müssen ersichtlich sein.
- Alle Grössen müssen mit den richtigen SI-Einheiten versehen sein.
- Vorsichtig mit dem warmen/heissen Wasser umgehen!

2. Theorie

Ein im Vergleich zu seiner Umgebung wärmerer Körper kühlt nach folgendem Gesetz ab:

$$\Delta T(t) = T(t) - T_U = (T_0 - T_U) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = (T_0 - T_U) \cdot e^{-k \cdot t}$$

Dabei ist $T(t)$ die Temperatur des Körpers zur Zeit t , T_0 die Anfangstemperatur und T_U die Umgebungstemperatur (alle Temperaturen in °C). τ heisst Zeitkonstante (in s) und k ist die Abkühlungskonstante (in s^{-1}). Analog zur elektrischen Entladung eines Kondensators gilt für die Zeitkonstante:

$$\tau = R_{th} \cdot C_{th} = R_{th} \cdot c \cdot m$$

Dabei ist R_{th} der totale, absolute Wärmedurchgangswiderstand (Wasser→Plastik→Aussenluft), C_{th} die absolute Wärmekapazität (Wasser & Becher), c die spezifische Wärmekapazität (Wasser, resp. Becher) und m ist die Körpermasse (Wasser, resp. Becher).

Der Wärmedurchgang erfolgt dreistufig, in „Serie“:

$$R_{th} = R_1 + R_2 + R_3$$

R_{th} ist also die Summe aus R_1 (Wärmeübergangswiderstand Wasser → Plastikinnenwand), R_2 (Wärmedurchlasswiderstand durch die Plastikwand) und R_3 (Wärmeübergangswiderstand Plastikaussenwand → Aussenluft). Weiter gilt:

$$R_{th} = \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{1}{h_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_3} \right) = \frac{1}{A} \cdot \left(\frac{1}{U_{total}} \right)$$

A ist die Mantelfläche des Plastikbechers (durch den Boden und die Decke wird der Wärmefluss mittels Styropor unterbunden), l_2 ist die Becherwanddicke, λ_2 ist die Wärmeleitfähigkeit von Plastik (in $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$), h_1 und h_3 sind die Wärmeübergangskoeffizienten (in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$) von Wasser \rightarrow Plastik, resp. Plastik \rightarrow Aussenluft. Mit dem Ventilator wird mässiger „Wind“ simuliert. U_{total} wird Wärmedurchgangskoeffizient genannt und spielt in der Haustechnik (Stichwort: Wärmeisolation) eine grosse Rolle.

3. Aufgaben

Aufgabe 1 Messungen [Total 5 Punkte]:

- Ermittle vor dem Experiment die notwendigen Daten zum Plastikbecher (inklusive Fehlerangaben). [2 Punkte]
- Fülle warmes Wasser in den Plastikbecher, und miss die Temperatur des sich abkühlenden Wassers über einen genügend langen Zeitraum als Funktion der Zeit. Trage die Messdaten in eine eigene Wertetabelle ein. [3 Punkte]

Aufgabe 2 Diagramm [Total 7 Punkte]:

- Trage die Temperaturdifferenz ΔT als Funktion der Zeit t in ein halb-logarithmisches Blatt Millimeterpapier ein. [3 Punkte]
- Bestimme aus dem Diagramm heraus die experimentelle Abkühlungskonstante k . [4 Punkte]

Aufgabe 3 Berechnungsformel [3 Punkte]:

Leite für $\Delta T(t)$ eine Berechnungsformel als Funktion von U_{total} her. Berücksichtige sowohl die spezifische Wärmekapazität des Wassers als auch diejenige des leeren Bechers. [3 Punkte]

Aufgabe 4 Auswertung und Diskussion [Total 9 Punkte]:

- Bestimme aus dem k -Wert aus Aufgabe 2b) einen experimentellen Wert für U_{total} . Bekannt sind: $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4'182 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ und $c_{\text{Plastik}} = 1'400 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ (Plastik-Becher). [3 Punkte]
- Bestimme nun U_{total} theoretisch. Bekannt sind: $h_1 \approx 350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$ (ruhendes Wasser \rightarrow feste Wand), $\lambda_2 = 0.17 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ (Plastik) und $h_3 \approx 10$ bis $30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$ (feste Wand \rightarrow bewegte Aussenluft). Auch bekannt ist $\lambda_{\text{H}_2\text{O}} = 0.60 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Welche der drei Terme dominieren in U_{total} , welche sind zweitrangig (theoretisch)? [3 Punkte]
- Vergleiche den experimentellen mit dem theoretischen Wert für U_{total} . Nenne mindestens zwei (systematische) Fehlerquellen, abgestuft nach der (vermuteten) Wichtigkeit, jeweils mit kurzer Begründung! [3 Punkte]

Experiment 2: Radon-Zerfallsprodukte

1. Einleitung

Mit Hilfe eines Geiger-Müller-Zählers „Inspector“ werden die auf einer elektrisch stark negativ aufgeladenen Polystyrol-Platte aus der Umgebungsluft gesammelten radioaktiven Folgeprodukte des Nuklids Radon-222 gemessen. Aus der mit der Zeit abnehmenden Gesamtaktivität auf der Polystyrol-Platte sollen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Achtung: Die zur Verfügung stehende Zeit von **100 min** muss gut eingeteilt werden! Vorschlag:
/ **15 min** Vorbereitung, Aufgabe 1 / **20 min** Messperiode A / **20 min** Auswertung, Teil 1 /
/ **20 min** Messperiode B / **25 min** Auswertung, Teil 2 /

1.1 Zur Verfügung stehendes Material

- 1 Geiger-Müller-Zähler „Inspector“
- 1 weisse Polystyrol-Platte (7x13 cm)
(in Abb. 1: unten links)
- 1 Distanzplatte mit Loch (7x13 cm)
- 1 Blatt Papier (7x13 cm)
(zur Abschirmung von α -Strahlung)
- 1 Grundplatte mit 4 Stelzen
- 1 Holzstück (6x12 cm)
- 1 Stoppuhr
- Millimeterpapier (halb-logarithmisch)

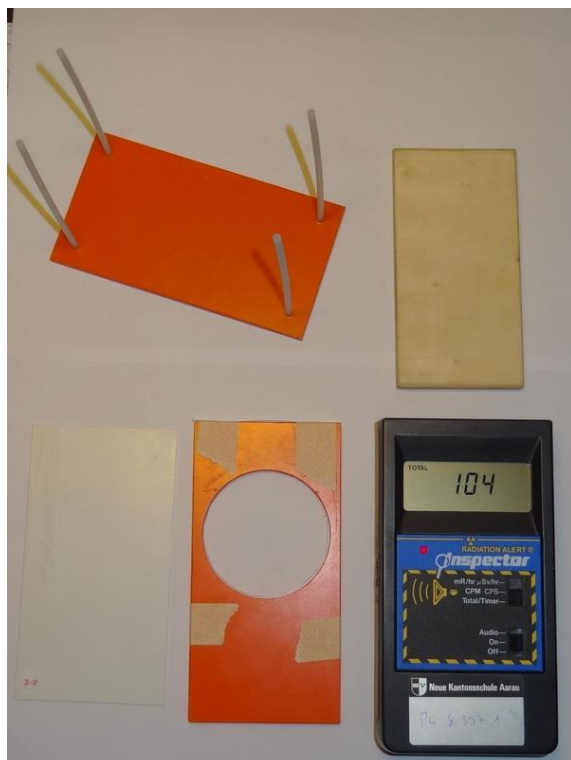


Abbildung 1 : Material



Abbildung 2 : Geiger-Müller-Zähler « Inspector »

1.2 Allgemeine Hinweise

- Das Experiment ist ungefährlich, es werden lediglich die Zerfallsprodukte des im Raum stets vorhandenen Radons gesammelt und deren Gesamtaktivität gemessen.
- Beim Geiger-Müller-Zähler „Inspector“ darf **kein Druck** auf das vergitterte, goldfarbene Messfenster ausgeübt werden, der „Inspector“ muss immer mit der Distanzplatte dazwischen über eine radioaktive Quelle gelegt werden.
- Alle Messungen und Berechnungen müssen nachvollziehbar dokumentiert werden. Das heisst, alle gemessenen Grössen müssen notiert werden, alle in die Rechnungen eingehenden Werte müssen ersichtlich sein.

2. Theorie

Radon-222 entsteht aus Uran-238, das in der Schweiz fast überall im Boden z.B. als Bestandteil von Granitgestein vorhanden ist. In dieser Zerfallsreihe ist Radon-222 das einzige gasförmige Zwischenprodukt, somit ist es überall in der Umgebungsluft enthalten und bildet für den Menschen die wichtigste natürliche, innere Strahlungsquelle. Es kann beim Einatmen in der Lunge zu Lungenkrebs führen.

Im Experiment wird mit Hilfe der verblüffend einfachen „Philion“-Methode (vgl. H. v. Philipsborn & R. Geipel: „Radioaktivität und Strahlungsmessung“, Regensburg, 2006) Polonium-218 auf einer elektrisch negativ aufgeladenen Polystyrol-Platte abgeschieden: Wenn nämlich in der Nähe der Polystyrol-Platte ein Radon-Atom zerfällt, ist das entstehende Polonium-218 wegen weggeschleuderten Elektronen positiv geladen, wandert zur Platte und lagert sich auf ihr ab. Dieses zerfällt über eine Kette von weiteren sechs Folgeprodukten, bis schlussendlich stabiles Blei-206 resultiert (siehe Abb. 3). Der Geiger-Müller-Zähler „Inspector“ hat hinter dem goldfarbenen Schutzgitter eine sehr dünne Folie, die für alle drei radioaktiven Strahlungstypen (α & β & γ) durchlässig ist.

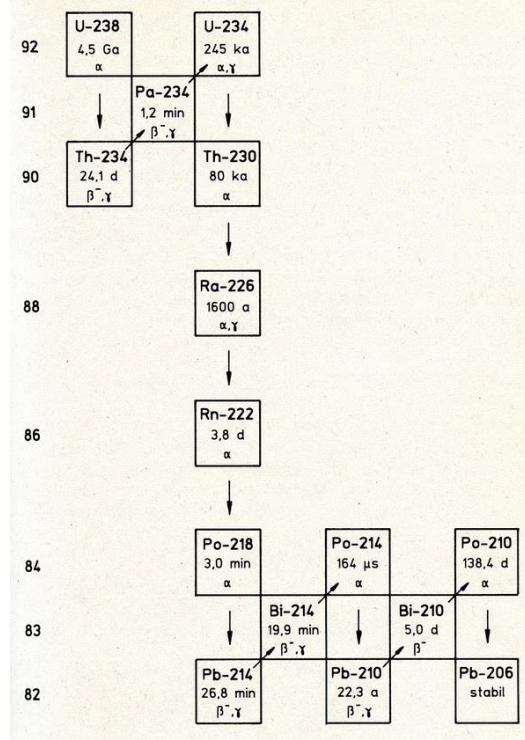


Abbildung 3 : Zerfallsreihe von Uran-238. Links steht die Ordnungszahl; unter jedem Nuklid stehen die Halbwertszeit und die Arten der auftretenden Strahlung (aus Philipsborn, 2006, S. 23)

Der radioaktive Zerfall eines jeden Nuklids folgt einem exponentiellen Gesetz:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

Dabei sind $N(t)$ und N_0 die zur Zeit t , respektive zu Beginn (noch) vorhandenen radioaktiven Atome. Die Zerfallskonstante k hängt mit der Halbwertszeit $T_{1/2}$ wie folgt zusammen:

$$k = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$$

Für die Anzahl Zerfälle pro Zeiteinheit, also die Aktivität $A(t)$ gilt:

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = k \cdot N_0 \cdot e^{-k \cdot t} = k \cdot N(t)$$

Da der Geiger-Müller-Zähler nicht alle Zerfälle registrieren kann, nennt man die Messgrösse nicht Aktivität sondern „Impulsrate“ oder „Zählrate“, sie entspricht der Anzahl „Ereignisse“ pro Zeitspanne, die das Gerät registriert (Einheit: ipm = Impulse pro Minute), und sie ist zur tatsächlichen Aktivität in guter Näherung proportional.

Auf der Polystyrol-Platte lagert sich wie schon erwähnt primär Polonium-218 ab. Mit dem „Inspector“ wird nun nicht irgend eine Teilaktivität sondern die Gesamtaktivität $A(t)$, also die Summe aller mit der Zeit sich aus der Zerfallsreihe ergebenden Teilaktivitäten als Impulsrate gemessen:

$$A(t) = A_1(t) + A_2(t) + \dots \approx A(0) \cdot e^{-k_{\text{total}} \cdot t}$$

k_{total} ist eine aus dem Experiment gemessene, „gemittelte“, resultierende Zerfallskonstante. Sie verändert sich mit der Zeit. Theoretisch kann man die Gesamtaktivität aus einem System von gekoppelten,

inhomogenen Differentialgleichungen erhalten, worauf aber hier verzichtet wird. In den folgenden Aufgaben sollen aus den Messungen der Gesamtaktivität $A(t)$ Schlüsse gezogen werden.

3. Aufgaben (zuerst alle Aufgaben einmal durchlesen!)

Hinweis für alle Messungen: Eine Messung der Impulsrate (in ipm) läuft grundsätzlich wie folgt ab: Die beiden Schalter auf der Oberseite des „Inspector“ müssen stets auf **On** und auf **Total/Timer** gestellt bleiben. Der Schalter an der oberen Stirnseite rechts (siehe Abb. 2) muss zuerst auf **Off**, dann kurz auf **Set** (Messzeit: 00:01 min wird angezeigt), dann auf **On** gestellt werden, womit die Messung beginnt (drei Piep-Töne). Nach 1 min ertönen neun Piep-Töne und eine Messung ist beendet. Jetzt muss der Schalter wieder auf **Off** gestellt werden; usw.

Aufgabe 1 Hintergrunds-Strahlung messen [2 Punkte]:

Miss mit dem „Inspector“ die Hintergrunds-Impulsrate (in der Einheit ipm). Positioniere dazu den „Inspector“ auf eine freie Stelle des Tisches. Mache eine genügende Anzahl Messungen und berechne den Mittelwert. Hinweis: Die Hintergrunds-Strahlung besteht überwiegend aus γ -Strahlung.

Radon-Zerfallsprodukte sammeln: Lade die Polystyrol-Platte nun elektrisch auf (mit dem Holzstück mit starkem Druck etwa zehnmal über die Vorderseite der Platte reiben). Hebe dann die Platte vorsichtig (nur an den Rändern anfassen) auf und lege sie für 5 min (=Expositionszeit) auf die Stelzen. Sie darf während dieser Zeit nicht berührt werden. Anschliessend die Platte vorsichtig auf eine Stelle des auf dem Tisch aufgeklebten Papiers legen und die Platte während des ganzen Experiments nicht mehr verschieben. Jetzt die Distanzplatte mit Loch mit der Papierseite gegen unten auf die Polystyrol-Platte legen. Dann den „Inspector“ bündig mit den unteren Platten darüber positionieren und sofort mit den Messungen beginnen (Aufgabe 2).

Aufgabe 2 Messungen, Messtabellen [total 8 Punkte]:

- Miss die **Brutto-Impulsrate** (α & β & γ -Strahlung) auf der Polystyrol-Platte in Abhängigkeit der Zeit, im 1-Minuten-Takt. Die Messungen müssen über einen genügend langen Zeitraum am Anfang (=Messperiode A) sowie gegen Schluss (=Messperiode B) erfolgen; sie dürfen in der Mitte aber unterbrochen werden, damit Zeit für die Auswertungen bleibt. Trage die Messdaten in eine eigene Wertetabelle ein. [5 Punkte]
- Mache mit Hilfe des Blattes Papier, das α -Strahlung absorbiert, zu Beginn sowie am Ende der Messperiode einzelne Brutto-Impulsraten-Messungen (also nur β & γ -Strahlung). Dazu das Blatt Papier zwischen die Distanzplatte mit Loch und dem „Inspector“ legen. Notiere diese Einzelmessungen in einer separaten Tabelle! [3 Punkte]

Aufgabe 3 Auswertung 1, Verhältnisse der Strahlungsarten [total 4 Punkte]:

- Bestimme aus den Einzelmessungen mit dem Blatt Papier sowie den übrigen Messungen ohne Papier die beiden Verhältnisse der **Netto-Impulsraten** (nur β & γ -Strahlung zu α & β & γ -Strahlung) zu Beginn sowie am Ende der Messperiode. [2 Punkte]
- Mache aus den Berechnungen in 3a) zwei Aussagen über den vorherrschenden Zerfallstyp zu Beginn und am Ende der Messperiode und kommentiere diese mit Hilfe von Abbildung 3. [2 Punkte]

Aufgabe 4 Auswertung 2, halb-logarithmisches Diagramm [4 Punkte]:

Trage die **Netto-Impulsrate** (α & β & γ -Strahlung) als Funktion der Zeit t in ein halb-logarithmisches Blatt Millimeterpapier ein.

Aufgabe 5 Auswertung 3, resultierende Halbwertszeiten [total 4 Punkte]:

- Lege im Diagramm durch die Messpunkte der Messperiode A sowie der Messperiode B je eine lineare Trendlinie und bestimme deren Steigung. [2 Punkte]
- Berechne aus den beiden Trendlinien-Steigungen die gemittelten, resultierenden Halbwertszeiten für die Messperioden A und B. [2 Punkte]

Aufgabe 6 Abschliessende Fragen [total 2 Punkte]:

- Nach ungefähr welcher Zeit ist zu erwarten, dass die Gesamtaktivität auf der Polystyrol-Platte praktisch auf die Umgebungs-Aktivität gesunken ist? Begründe dies kurz! [1 Punkt]
- Betrachte die beiden Zerfälle Bi-214 \rightarrow Po-214 sowie Po-214 \rightarrow Pb-210. In welchem Verhältnis stehen diese beiden Teil-Aktivitäten (gemessen in ipm) zueinander? Begründe dies kurz! [1 Punkt]