2012-03-07 Klausur 3 Kurs 12Ph1e Physik

Name: ______________________________ Rohpunkte : /

Bewertung : Punkte ( )

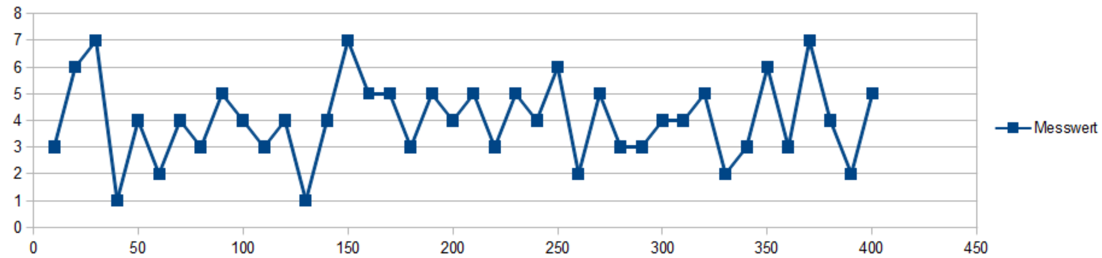
1 Erläutern Sie jeweils, woraus α-, β- und γ-Strahlen bestehen und geben Sie jeweils mindestens eine Methode an, wie man sie identifizieren (d. h. voneinander unterscheiden) kann.

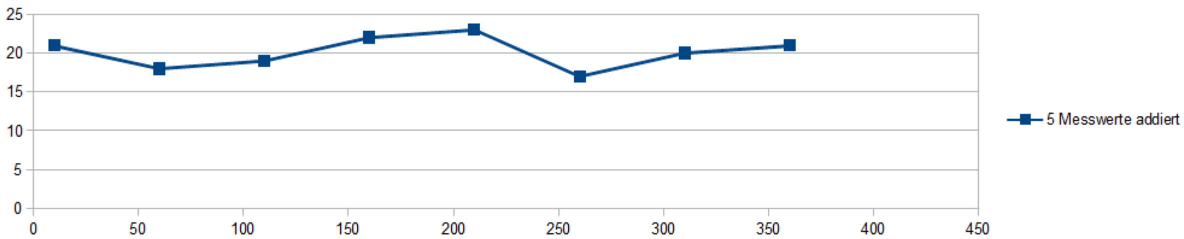
α-Strahlen sind Heliumkerne, β-Strahlen sind Elektronen (β^-) bzw. Positronen (β^+) und γ-Strahlen sind hochenergetisches Licht. Zur Unterscheidung kann man die Strahlen z. B. ein Magnetfeld durchlaufen lassen: α-Strahlen werden entsprechend der 3-Finger-Regel der rechten Hand (Daumen: Richting der α-Strahlen, Zeigefinger: Magnetfeld, Mittelfinger: Kraft) abgelenkt, β-Strahlen entsprechend mit der 3-Finger-Regel der linken Hand und γ-Strahlen werden gar nicht abgelenkt. α-Strahlen werden schwächer abgelenkt als β-Strahlen, da sie schwerer sind.

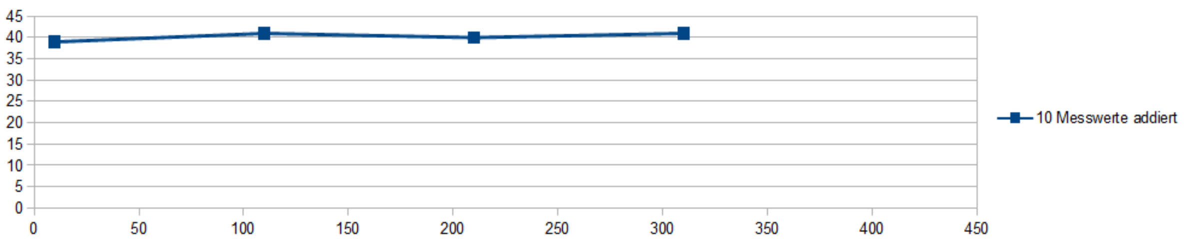
---

2 Im 1. Diagramm sind Messungen zum Nulleffekt graphisch dargestellt.
Gemessen wurde jeweils 10 Sekunden.
Im 2. Diagramm sind jeweils 5 Messwerte zusammengefasst worden und im 3. Diagramm jeweils 10 Messwerte.
Zur Erleichterung der Übersicht sind die Messpunkte miteinander verbunden worden.

a) Erklären Sie das unterschiedliche Aussehen der Graphen.
b) Bestimmen Sie aus den Diagrammen die mittlere Höhe des Nulleffekts in der Einheit Becquerel. Geben Sie mit Begründung an, welches Diagramm man dazu am besten verwenden kann.





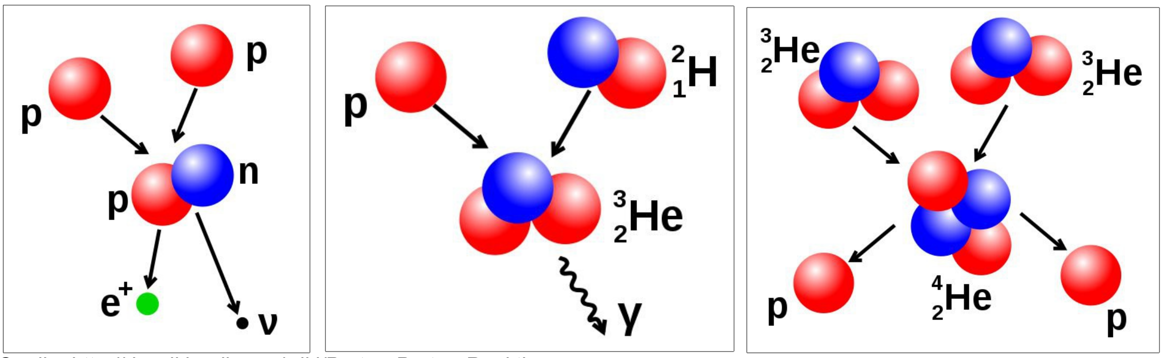


a) Da radioaktive Stoffe rein zufällig zerfallen, kann es bei kurzer Beobachtungszeit stark unterschiedlich viele Zerfälle geben (siehe Messzeit 10 s). Da die Wahrscheinlichkeit, mit der ein radioaktiver Stoff zerfällt, aber konstant ist, ergeben sich bei langer Beobachtungszeit Messwerte mit geringeren relativen Abweichungen (nicht aber mit absoluten Abweichungen!).
Fasst man nun mehrere Messwertre für 10 s-Intervalle zusammen, so erhält man Ergebnisse wie bei längeren Beobachtungszeiten.

b) Da die Messkurve im 3. Diagramm am gleichmäßigsten verläuft, wird damit der Wert für den Nulleffekt bestimmt: ca. 40 Zerfälle in 10·10 Sekunden = 100 Sekunden.
Pro Sekunde ergeben sich also 0,4 Zerfälle. Die Aktivität der Umgebung beträgt also $A = 0{,}4\,Bq$.

---

3 In der Sonne findet Kernfusion u. a. mit der Proton-Proton-Reaktion statt:



Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Proton-Proton-Reaktion

a) Erläutern Sie, wie aus Protonen (linke Abbildung) über Zwischenschritte in der „Proton-Proton-Reaktion“ He-4 entstehen kann (rechte Abbildung). Gehen Sie dabei auch auf alle beteiligten Teilchen ein.

2 Protonen bilden kurzzeitig einen H-2-Kern, in dem ein Proton durch β⁺-Zerfall $\left(p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu\right)$ zu einem Neutron wird und dadurch ein H-2-Kern entsteht. Ein weiteres Proton bildet dann mit diesem H-2-Kern einen He-3-Kern. Dieser gibt überschüssige Energie durch ein Gammaquant ab. 2 He-3 Kerne (mit zusammen 4 Protonen und 2 Neutronen) fügen sich zu einem He-4-Kern zusammen, wobei die beiden überschüssigen Protonen einzeln abgegeben werden und für neue Fusionsprozesse zur Verfügung stehen.

b) Untersuchen Sie alle Reaktionen darauf, ob Energie zum Zusammenschluss benötigt wird oder ob Energie dabei frei wird.

1. Prozess: $^1_1p + ^1_1p - e^+ \rightarrow ^2_1H$
Massen links: 1,0072765 u + 1,0072765 u - 0,0005486 u= 2,0140044 u
Masse rechts: 2,0135534 u
Da ein Massenverlust auftritt, wird bei der Reaktion Energie frei gesetzt.

2. Prozess: $^1_1p + ^2_1H \rightarrow ^3_2He$
Massen links: 1,0072765 u + 2,0135534 u = 3,0208299 u
Masse rechts: 3,014932 u
Da ein Massenverlust auftritt, wird bei der Reaktion Energie frei gesetzt.
3. Prozess: $2 \cdot ^3_2He - 2 \cdot ^1_1p \rightarrow ^4_2He$
Massen links: 2· 3,014932 u - 2· 1,0072765 u = 4,0153110 u
Masse rechts: 4,001506 u
Da ein Massenverlust auftritt, wird bei der Reaktion Energie frei gesetzt.

c) Berechnen Sie den gesamten Energiegewinn bei einer vollständigen Proton-Proton-Reaktion.

Berechnet werden muss der Massendefekt Δm der gesamten Reaktion. Da 3 Protonen einen He-3-Kern bilden und 2 He-3-Kerne für einen He-4-Kern benötigt werden, braucht man 6 Protonen aus Ausgangsstoff: $6 \cdot {}_1^1p \rightarrow {}_2^4He + 2 \cdot {}_1^1p$

Massen links: 6· 1,0072765 u = 6,0436590 u
Massen rechts: 4,001506 u + 2·1,0072765 u = 6,016059 u
Daraus folgt die Massendifferenz: Δm = 6,0436590 u - 6,016059 u = 0,0276 u

Mit der Formel E=m·c² ergibt das die Energie

$$E = 0{,}0276 \cdot 1{,}6605402 \cdot 10^{-27} \cdot \left(2{,}99792458 \cdot 10^{8}\right)^{2} J = 4{,}119 \cdot 10^{-12} J = 25{,}7\,MeV$$

Anmerkung: Literaturwert ist 26,204 MeV. Hier wurden Massen und Energieen anderer Teilchen nicht berücksichtigt (z. B. e^+ und γ)

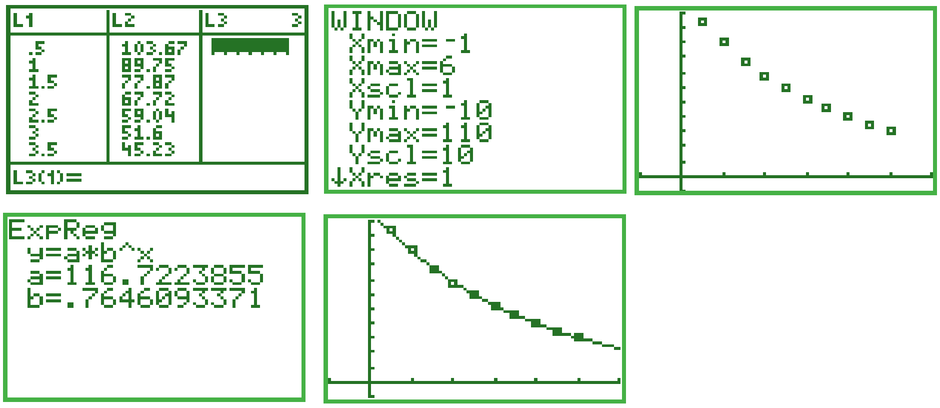
---

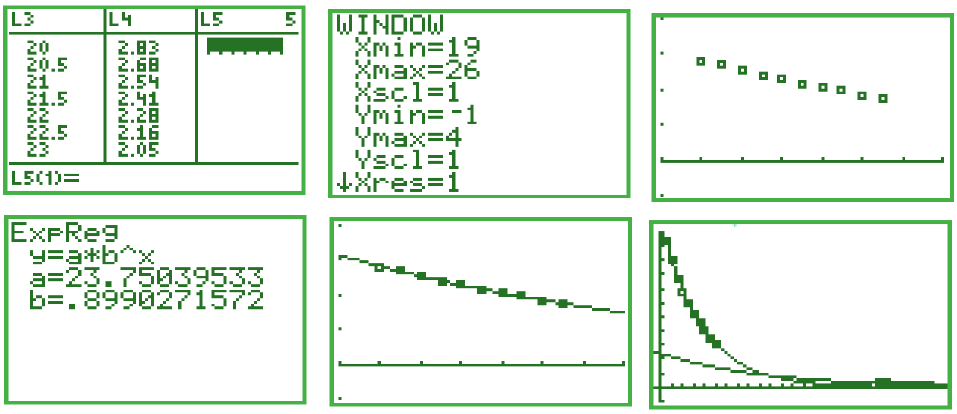
4 In einer Ionisationskammer befindet sich ein unbekanntes radioaktives Gasgemisch. Zunächst misst man 5 Stunden lang jede halbe Stunde die Ionisationsstromstärke.
Dann bleibt die Anordnung bis zum nächsten Tag stehen.
20 Stunden nach der ersten Messung wird eine weitere Messung (wieder 5 Stunden lang) durchgeführt.

Gesucht ist die Halbwertzeit, aus der man z. B. die Identität des Gasgemischs ermitteln könnte.
Werten Sie dazu die nebenstehende Tabelle aus.

Zeit in Stunden	Stromstärke in mA
0,5	103,67
1,0	89,75
1,5	77,87
2,0	67,72
2,5	59,04
3,0	51,60
3,5	45,23
4,0	39,77
4,5	35,07
5,0	31,02
20,0	2,83
20,5	2,68
21,0	2,54
21,5	2,41
22,0	2,28
22,5	2,16
23,0	2,05
23,5	1,95
24,0	1,85
24,5	1,75

Die beiden Teile der Messtabelle werden getrennt mit dem Taschenrechner ausgewertet (Listen füllen, exponenzielle Regression).





Die beiden Regressionen ergeben verschiedene Gleichungen:
$y_1=116{,}72\cdot 0{,}7646^x$ *und* $y_2=23{,}75\cdot 0{,}8990^x$

Damit zeigt auch das letzte Bild mit der gemeinsamen Darstellung der Graphen deutliche Unterschiede.

Man kann folgern, dass das Gasgemisch aus mindestens zwei verschiedenen radioaktiven Gassorten besteht, deren Halbwertzeiten unterschiedlich sind. Nach 20 Stunden ist die eine Gassorte fast vollständig zerfallen und es werden nur noch Zerfälle der anderen Sorte mit größerer Halbwertzeit registriert.

Berechnung der Halbwertzeiten:

$$0{,}7646^x=e^{-\lambda_1\cdot x} \rightarrow -\lambda_1\cdot x=\ln 0{,}7646^x=x\cdot\ln 0{,}7646 \rightarrow \lambda_1=0{,}2684=\frac{\ln 2}{T_{1;\frac{1}{2}}} \rightarrow T_{1;\frac{1}{2}}=2{,}58$$

$$0{,}8990^x=e^{-\lambda_2\cdot x} \rightarrow -\lambda_2\cdot x=\ln 0{,}8990^x=x\cdot\ln 0{,}8990 \rightarrow \lambda_2=0{,}1065=\frac{\ln 2}{T_{2;\frac{1}{2}}} \rightarrow T_{2;\frac{1}{2}}=6{,}51$$

Die Halbwertzeiten betragen also 2,58 h und 6,51 h.

---

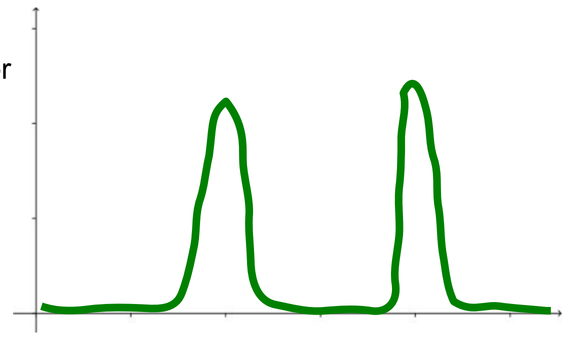
5 Vervollständigen Sie folgende Zerfallsreihe. Für jedes Fragezeichen ist eine Zahl, eine Zerfallsart oder ein Elementsymbol einzutragen.

$${}^{?}_{?}Ac \xrightarrow{?} {}^{?}_{?}? \xrightarrow{?} {}^{?}_{?}? \xrightarrow{\beta^-} {}^{225}_{89}Ac \xrightarrow{?} {}^{?}_{?}?$$

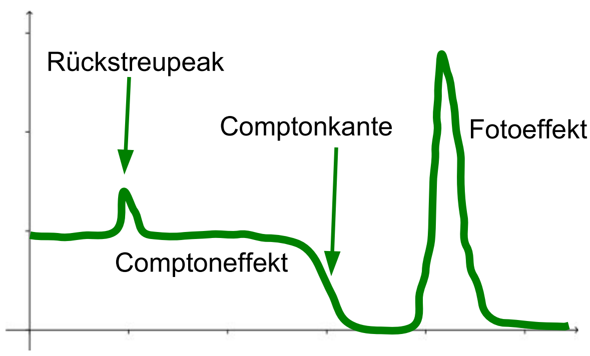
$${}^{229}_{89}Ac \xrightarrow{\beta^-} {}^{229}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{225}_{88}Ra \xrightarrow{\beta^-} {}^{225}_{89}Ac \xrightarrow{\alpha} {}^{221}_{87}Fr$$

---

6 a) α-Strahlen der Energie 4 MeV und 8 MeV werden gemeinsam in einem Halbleiterdetektor registriert. Zeichnen Sie eine mögliche Messkurve.



b) γ-Strahlen werden in einem Szintillationszähler registriert. Zeichnen Sie eine mögliche Messkurve und geben Sie an, welcher Teil der Kurve jeweils von welchem Reaktionsprozess herrührt.



---

7 Plutonium Pu-242 besitzt eine Halbwertzeit von $3{,}75 \cdot 10^5$ Jahren, Pu-243 dagegen nur von 5 Stunden.
Angenommen, von jedem Isotop sind 10^{22} Teilchen vorhanden (das entspricht etwa 4 g).

Berechnen Sie, wieviel Teilchen von jedem Isotop in 1 Stunde zerfallen (auf 3 Stellen genau).

Rechnung für Pu-242 mit der Formel $\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$ *(Zeit in Jahren; 1 Jahr = 365·24 Stunden):*

$$\Delta N = \frac{-\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \cdot N \cdot \Delta t = \frac{-\ln 2}{3{,}75 \cdot 10^5} \cdot 10^{22} \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} = -2{,}11 \cdot 10^{12}$$

Rechnung für Pu-242 mit der Formel : $N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

$$\Delta N = N(0) - N(t) = N(0) - N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N(0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \cdot t}\right) = 10^{22} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{3{,}75 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{365 \cdot 24}}\right) = -2{,}00 \cdot 10^{12}$$

Da die Messzeit sehr klein gegenüber der Halbwertzeit ist, ist die obere Rechnung sinnvoller, da sich die Anzahl der vorhandenen Teilchen relativ gesehen nur geringfügig verändert.

Rechnung für Pu-243 mit der Formel $\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$ *:*

$$\Delta N = \frac{-\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \cdot N \cdot \Delta t = \frac{-\ln 2}{5} \cdot 10^{22} \cdot 1 = -1{,}39 \cdot 10^{21}$$

Rechnung für Pu-243 mit der Formel : $N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

$$\Delta N = N(0) - N(t) = N(0) - N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N(0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \cdot t}\right) = 10^{22} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{5} \cdot 1}\right) = -1{,}29 \cdot 10^{21}$$

Da die Messzeit vergleichbar mit der Halbwertzeit ist, ist die untere Rechnung sinnvoller, da sich die Anzahl der vorhandenen Teilchen während der Messzeit stark verändert.

Man wird also etwa $2{,}11 \cdot 10^{12}$ Zerfälle bei Pu-242 und $1{,}29 \cdot 10^{21}$ Zerfälle bei Pu 243 messen.

---

8 In einem Stück Uranerz ist hauptsächlich U-238 enthalten, das α-Strahlen der Energie 4,2 MeV mit der Aktivität 1000 Bq aussendet.
Angenommen, die Strahlung wird von der haltenden Hand (ca. 100 g Masse) vollständig während einer Zeitdauer von 5 Minuten absorbiert.

a) Berechnen Sie die Äquivalentdosis in µSv, wenn Sie für die α-Strahlen einen Qualitätsfaktor von 20 annehmen.

Da bei 1000 Bq in 1 Sekunde 1000 Zerfälle mit der Energie 4,2 MeV = $4{,}2 \cdot 10^6$ eV stattfinden, wird insgesamt in 1 Sekunde die Energie $4{,}2 \cdot 10^9$ eV frei. Nimmt die Hand diese Energie vollständig auf, so ergibt sich die Energiedosis $D_E = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{4{,}2 \cdot 10^9 \cdot 1{,}60217733 \cdot 10^{-19}}{0{,}1} \frac{J}{kg} = 6{,}729 \cdot 10^{-9}\, Gy$.

Mit dem Qualitätsfaktor 20 folgt daraus die Äquivalentdosis
$D_q = q \cdot D_E = 20 \cdot 6{,}729 \cdot 10^{-9}\, Sv = 1{,}346 \cdot 10^{-7}\, Sv = 0{,}1346\, \mu Sv$ *für den Zeitraum einer Sekunde.*

Für 5 Minuten muss man dann diesen Wert noch mit 5·60=300 multiplizieren: Dq=40,37µSv.

b) Vergleichen Sie den Wert mit der natürlichen Strahlendosis von 300 µSv pro Jahr, der wir auf Grund terrestrischer Strahlung in Diepholz ausgesetzt sind, und ziehen Sie ggf. Folgerungen für den Umgang mit dem Erz.

Wäre die Hand der unter a) berechneten Äquivalentdosis das ganze Jahr ausgeliefert, würde sich die Äquivalentdosis auf 40,37µSv·12·24·365=4,244Sv summieren.

Dieser Wert liegt weit über der natürlichen Strahlendosis und sollte vermieden werden.

Dagegen ist der einmalige und kurzzeitige Kontakt nicht allzu gefährlich, da der für 5 Minuten berechnete Wert der Äquivalenzdosis nur etwa 1/10 der natürlichen Strahlenbelastung beträgt.

Laut Wikipedia (http://de.wikipedia.org/wiki/Uraninit) beträgt übrigens die Aktivität von Uraninit etwa 157,8 kBq/g

---

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!

Formelsamlung:

Atomare Masseneinheit u: $u = 1{,}6605402 \cdot 10^{-27}\,kg$

Masse Elektron m_e: $m_e = 0{,}000548579896\,u$

Masse Proton p: $m_p = 1{,}0072765\,u$

Masse Neutron n: $m_n = 1{,}0086649\,u$

Masse ${}^1_1H$: $m_{{}^1_1H} = 1{,}0072765\,u$

Masse ${}^2_1H$: $m_{{}^2_1H} = 2{,}0135534\,u$

Masse ${}^3_2He$: $m_{{}^3_1H} = 3{,}014932\,u$

Masse ${}^3_2He$: $m_{{}^3_2He} = 3{,}014932\,u$

Masse ${}^4_2He$: $m_{{}^4_2He} = 4{,}001506\,u$

Zerfallsgesetz

$$\Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t$$

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$$