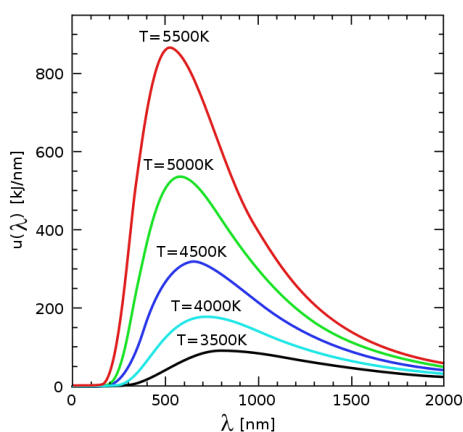


Name:.....Vorname:.....Mtrl. Nr:.....

1. Nennen Sie einige Grunddaten der Atom: Aufbau des Atoms Größe und Volumen der Atome, Größe und Volumen des Atomkernes, Dichte des Atomkerns.
2. Was versteht man unter der Atommassenkonstante u ? Welchen Zahlenwerte und welche Einheiten hat u ?
3. Welche Masse in der Einheit 1 kg hat (näherungsweise) ein Heliumatom?
4. Beschreiben Sie das Strahlungsspektrum „schwarzer Körper“? Skizzieren Sie die spektrale Intensität $dI/d\lambda$ als Funktion der Wellenlänge λ .



5. Ordnen Sie die genannten elektromagnetischen Strahlungsarten nach aufsteigender Frequenz bzw. absteigender Wellenlänge (es reicht, Kurzbezeichnungen zu verwenden).

Radarstrahlung (RA), sichtbares Licht (SL), Röntgenstrahlung(XR), γ -Strahlung (γ), IR-Strahlung (IR), UKW-Radiostrahlung (UKW), Mikrowellen (MW), UV-Strahlung (UV), langwellige Radiostrahlung (LW).

$$LW < UKW < RA = MW < IR < SL < XR < \gamma$$

6. Was bedeuten die Begriffe „Isotope“, „Isobare“ und „Isotone“?
7. Wie ist die "relative Atommasse" A_{rel} definiert? Welche relative Atommasse hat das Element Gallium mit natürlicher Isotopenzusammensetzung? Bestimmen Sie die Anzahl der Galliumatome in einer Masse von 1 kg.



$$A_{rel} = \frac{m_{Atom}}{u}$$

$$A_{rel}(Ga) = 69,723 \text{ g mol}^{-1}$$

$$1 \text{ kg enthält } n = \frac{1 \text{ kg}}{69,723 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = 14,3425 \text{ mol}$$

$$N = N_A \cdot n = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 14,3425 \text{ mol} = 8,6370 \cdot 10^{24}$$

8. Wie ist die Größe „mass excess“ $m_{exc}(Z,A) \cdot c^2$ definiert? In welcher Einheit wird die Größe üblicherweise in Tabellen angegeben?

$$m_{exc}(Z,A) \cdot c^2 = (m(Z,A) - A \cdot u) \cdot c^2$$

Einheit: 1 keV

9. Bestimmen Sie mit Hilfe der Tabelle im Anhang die mass excess - Werte von ^{70}Ge , ^{70}Ga und ^{70}Zn und vergleichen Sie die Werte. Welche Radioaktivitätseigenschaften von ^{70}Ga lassen sich ableiten?

$$^{70}\text{Ge}: m_{exc} \cdot c^2 = -70563,111 \text{ keV}$$

$$^{70}\text{Ga}: m_{exc} \cdot c^2 = -68910,089 \text{ keV}$$

$$^{70}\text{Zn}: m_{exc} \cdot c^2 = -70140,242 \text{ keV}$$

Da die mass excess Werte für ^{70}Ge und ^{70}Zn kleiner sind als der Wert für ^{70}Ga , kann ^{70}Ga durch EC in ^{70}Zn und durch β^- Zerfall in ^{70}Ge zerfallen.

10. Beschreiben Sie die Zerfallseigenschaften des ^{70}Ga anhand der Information in Anlage A1.
11. Welche Dicke müsste die Kapsel einer Strahlungsquelle aus Edelstahl haben, um die β^- Strahlung einer darin enthaltenen Strahlenquelle des ^{70}Ga vollständig in der Kapsel absorbieren zu können? (Beachten Sie hierzu die Anlagen A1 und A2).
12. Bestimmen Sie die Bindungsenergie $B(Z,A)$ und die Bindungsenergie pro Nukleon $B(Z,A)/A$ von ^{70}Ga .

$$\text{Masse des } ^{70}\text{Ga}: m(Z,A) = A \cdot u + m_{exc}(Z,A) \quad (1)$$

$$\text{Bindungsenergie: } B(Z,A) = Z \cdot m_H + (A-Z) \cdot m_n - m(Z,A) \quad (2)$$

$$\text{Einsetzen von (1) in (2): } B(Z,A) = Z \cdot m_H + (A-Z) \cdot m_n - A \cdot m_u - m_{exc}(Z,A) \quad (3)$$

$$\text{für } m_H \text{ und } m_n \text{ gilt: } m_H = u + m_{exc,H} \text{ und } m_n = u + m_{exc,n} \quad (4)$$



Setze (4) in (3) : $B(Z, A) = Z \cdot (u + m_{exc,H}) + (A - Z) \cdot (u + m_{exc,n}) - A \cdot u - m_{exc}(Z, A)$

Es folgt : $B(Z, A) = Z \cdot m_{exc,H} + N \cdot m_{exc,n} - m_{exc}(Z, A)$

$$B(Z, A) = (31 \cdot 7,28897 + 39 \cdot 8,07132 - (-68,910089)) \text{ MeV}$$

$$B(Z, A) = 609,649541 \text{ MeV}$$

Bindungsenergie pro Nukleon: $\frac{B(Z, A)}{A} = \frac{609,649 \text{ MeV}}{70} = 8,709 \text{ MeV}$

13. Welche exakte Masse hat ein einzelnes neutrales ^{70}Ga Atom? Geben Sie das Ergebnis als

Masse in der Einheit $1 \frac{eV}{c^2}$ oder Vielfachen von $1 \frac{eV}{c^2}$ und in der Einheit 1 kg an.

Masse des ^{70}Ga $m(Z, A) = A \cdot u + m_{exc}(Z, A)$

Exakt: $(70 \cdot 931,494043 - (-68,910089)) \frac{\text{MeV}}{c^2} = 65273,4931 \frac{\text{MeV}}{c^2}$

Umrechnung: $65273,4931 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot \frac{1,66053886 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{931,494043 \frac{\text{MeV}}{c^2}} = 1,163606 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$

14. Berechnen Sie die Aktivitäten (a) von 1 kg Uran in natürlicher Isotopenzusammensetzung (siehe Nuklidkarte) und (b) von "abgereichertem Uran", das (näherungsweise) zu 100% aus dem Isotop ^{238}U besteht und eine relative Atommasse von $A_{rel}(^{238}\text{U}) = 238 \text{ g mol}^{-1}$ besitzt.

Relative Atommasse von Uran in natürlicher Isotopenzusammensetzung:

$$A_{rel}(^{nat}\text{U}) = 238,02891 \text{ g mol}^{-1}$$

Isotope des Uran:

$$^{234}\text{U}: T_{1/2} = 2,455 \cdot 10^5 \text{ a} \quad \lambda_{234} = 8,94685 \cdot 10^{-14} \text{ s}^{-1}$$

$$^{235}\text{U}: T_{1/2} = 7,038 \cdot 10^8 \text{ a} \quad \lambda_{235} = 3,12085 \cdot 10^{-14} \text{ s}^{-1}$$

$$^{238}\text{U}: T_{1/2} = 4,468 \cdot 10^9 \text{ a} \quad \lambda_{238} = 4,91596 \cdot 10^{-14} \text{ s}^{-1}$$

Aktivität: $A = \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$ in 1 kg Natururan:

$$^{234}\text{U}: \text{Atom\%} = 0,0054 \quad N_{234} = 1,36620 \cdot 10^{20} \quad A_{234} = 1,22232 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$$

$$^{235}\text{U}: \text{Atom\%} = 0,7204 \quad N_{235} = 1,82262 \cdot 10^{22} \quad A_{235} = 5,68810 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$$

$$^{238}\text{U}: \text{Atom\%} = 99,2742 \quad N_{238} = 2,51164 \cdot 10^{24} \quad A_{238} = 1,23471 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$$

Gesamtaktivität des Natururan: $A_{natU} = 2,51391 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$

Abgereichertes Uran besteht nahezu aus reinem ^{238}U .

Relative Atommasse ist näherungsweise: $A_{rel}(^{238}\text{U}) = 238 \text{ g mol}^{-1}$



Zahl der ^{238}U Atome in der Masse 1 kg: $N_{238} = 2,53031 \cdot 10^{24}$

Aktivität von 1 kg abgereichertem Uran: $A_{238} = 1,24389 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$

15. Wie groß war der relative Anteil des Isotops ^{235}U im natürlichen Isotopengemisch von Uran vor 2 Milliarden Jahren, zum Zeitpunkt, als die Uranerzlagerstätten auf der Erde entstanden?

Verhältnis der Zahl der ^{235}U Atome heute ($N_{235\text{U}}$) zur Zahl der ^{235}U Atome vor $2 \cdot 10^9$ Jahren ($N_{0,235\text{U}}$).

$$\frac{N_{235\text{U}}}{N_{0,235\text{U}}} = e^{-\frac{\ln 2 \cdot 2,0 \cdot 10^9 \text{ a}}{7,038 \cdot 10^8 \text{ a}}} = 0,13949 = \frac{1}{7,1687}$$

Verhältnis der Zahl der ^{238}U Atome heute ($N_{238\text{U}}$) zur Zahl der ^{238}U Atome vor $2 \cdot 10^9$ Jahren ($N_{0,238\text{U}}$).

$$\frac{N_{238\text{U}}}{N_{0,238\text{U}}} = e^{-\frac{\ln 2 \cdot 2,0 \cdot 10^9 \text{ a}}{4,46800 \cdot 10^9 \text{ a}}} = 0,733247 = \frac{1}{1,36379}$$

Folgerung: Die Zahl der ^{235}U Atome war vor 2 Milliarden Jahren um den Faktor 7,1587, die Zahl der ^{238}U Atome um den Faktor 1,36379 höher. Da die Faktoren verschieden sind, verschieben sich die relativen Anteile. Heute hat ^{235}U einen Anteil von 0,7205% Atom%, ^{238}U von 99,2742%. Vor $2 \cdot 10^9$ Jahren galt:

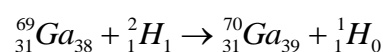
Atom% des ^{235}U $0,7204\% \cdot \frac{0,7204 \cdot 7,1687}{0,7204 \cdot 7,1687 + 99,7742 \cdot 1,363795} = 3,674\%$

Atom% des ^{238}U $99,2742\% \cdot \frac{99,2742 \cdot 1,3637}{0,7204 \cdot 7,1687 + 99,7742 \cdot 1,363795} = 96,325\%$

16. Das radioaktive Isotop ^{70}Ga kann durch Kernreaktionen von nat. Ga (natürliche Isotopenmischung) mit Deuteriumionen hergestellt werden. Überlegen Sie anhand der Nuklidkarte, welche Reaktionsgleichungen bei Beschuss von nat. Gallium mit Deuteriumionen zur Erzeugung von ^{70}Ga möglich sind. Nennen Sie eine der möglichen Reaktionen und berechnen Sie deren Reaktionsenergie.

Natürliches Ga besteht zu 60,1% aus ^{69}Ga und zu 39,9% aus ^{71}Ga .

Folgende Reaktionen mit Deuterium ($^2_1\text{H}_1$) -Ionen führen zur Entstehung von ^{70}Ga :

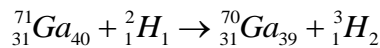


$$Q = (m_{\text{exc}}(31,69) + m_{\text{exc}}(1,2) - m_{\text{exc}}(31,70) - m_{\text{exc}}(1,1)) \cdot c^2$$

$$Q = ((-69327,758) + 13135,72158 - (-68910,089) - 7288,9705) \cdot \text{keV}$$



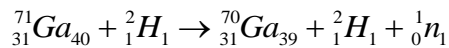
$$Q = (+5429,88) \cdot keV \quad \text{exotherm}$$



$$Q = (m_{exc}(31,71) + m_{exc}(1,2) - m_{exc}(31,70) - m_{exc}(1,3)) \cdot c^2$$

$$Q = ((-70140,242) + 13135,72158 - (-68910,089) - 14949,806) \cdot keV$$

$$Q = (-3043,43) \cdot keV \quad \text{endotherm}$$



$$Q = (m_{exc}(31,71) + m_{exc}(1,2) - m_{exc}(31,70) - m_{exc}(1,2) - m_{exc}(0,1)) \cdot c^2$$

$$Q = ((-70140,242) + 13135,72158 - (-68910,089) - 13135,72158 - 8071,3171) \cdot keV$$

$$Q = (-9300,66) \cdot keV \quad \text{endotherm}$$



$$Q = (m_{exc}(31,71) + m_{exc}(1,2) - m_{exc}(31,70) - m_{exc}(1,1) - m_{exc}(0,1) - m_{exc}(0,1)) \cdot c^2$$

$$Q = ((-70140,242) + 13135,72158 - (-68910,089) - 7288,9705 - 2 \cdot 8071,3171) \cdot keV$$

$$Q = (-11525,235) \cdot keV \quad \text{endotherm}$$

17. Bei der Aktivierung des radioaktiven ${}^{70}\text{Ga}$ durch eine Kernreaktion wird eine Aktivität von 3,5 MBq erzeugt. Wie groß ist die Aktivität 1,5 Stunde nach dem Ende der Aktivierung?

Die Halbwertszeit des ${}^{70}\text{Ga}$ beträgt $T_{1/2} = 21,14m$, die Zeit $t = 1,5h = 90m$.

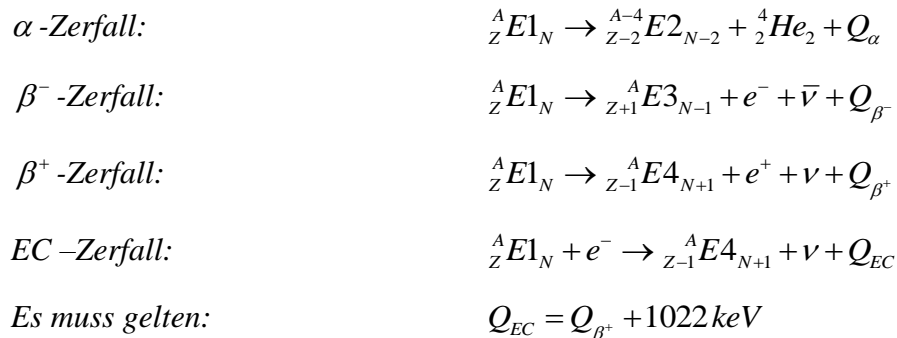
$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

$$A(t) = 3,5 \text{ MBq} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{21,14s} 90m} = 0,1830 \text{ MBq} = 183 \text{ kBq}$$

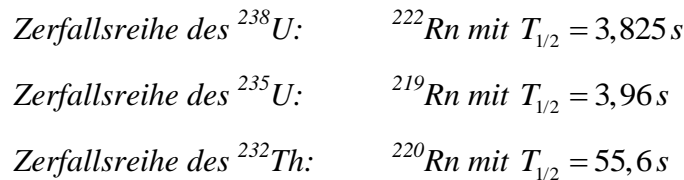
18. Erläutern Sie die Funktionsweise eines Kernreaktors und erläutern Sie in diesem Zusammenhang insbesondere die Begriffe „neutroneninduzierte Spaltung“, „stationäre Kettenreaktion“, „Moderator“ und „Spaltstoff“. Welche Energie wird bei der Spaltung eines Uranatoms frei? Zum Vergleich: Welche Energie wird beim Verbrennen eines Kohlenstoffatoms zu Kohlendioxid frei?



19. Mit welchen Reaktionsgleichungen können Sie die α -, β^- -, β^+ - und EC-Radioaktivität beschreiben? Unter welchen Bedingungen tritt eine EC-Umwandlung, unter welchen Bedingungen ein β^+ -Zerfall auf?



20. In den drei natürlichen Zerfallsreihen von ^{235}U , ^{238}U und ^{232}Th entstehen radioaktive Isotope des Elementes Radon. Welches Radonisotop aus diesen Zerfallsreihen hat die längste Halbwertszeit?



21. Welche radioökologische Bedeutung haben die Radon-Isotope und deren Folgeprodukte? Unter welchen Bedingungen können gesundheitliche Belastungen durch Radon und Folgeprodukte auftreten?

Die Radonisotope und ihre Folgeprodukte erzeugen die Radioaktivität in der Atmosphäre. Die Luftradioaktivität kann auf Grund meteorologischer Einflüsse stark variieren. Es gibt starke geographische Variationen, die durch die Schwankung der radioaktiven Stoffe des Bodens entstehen. Gesundheitliche Belastungen entstehen bei hohen Anteilen von Uran und Thorium im Boden insbesondere in schlecht belüfteten Bergwerken und Kellern.

22. Beschreiben Sie die Eigenschaften einer Ionisationskammer, eines Proportionalzählrohrs und eines Geiger-Müller-Zählrohrs.

Bei einer Gasentladungsröhre entsteht bei sehr hohen Gasverstärkungen ein Plateau., h.h. die Gasverstärkung ist als Funktion der Speisespannung in einem gewissen Bereich näherungsweise konstant. Dieser Bereich wird Geiger-Müller-Bereich genannt. Ursache ist, dass die Ladungslawine keine Ladungsvermehrung mehr erzeugen kann, weil keine Atome mehr verfügbar sind.



23. In einem Vorlesungsversuch wurde die Schwächung von γ -Strahlung der Energie $E_\gamma = 662 \text{ keV}$ (^{137}Cs) in Blei untersucht.

Absorberdicke	$E_\gamma = 661,6 \text{ keV}$
x / cm	$N / 10 \text{ s}$
1,2	2675
3,2	289

Die Untergrundzählrate betrug 17 Ereignisse in einer Messzeit von 10 s. Ohne Absorber wurden drei Messungen durchgeführt, die 9939, 9967, 10086, 10009 und 9820 Ereignisse in 10 s lieferten.

Bestimmen Sie den Schwächungskoeffizienten μ , den Massenschwächungskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$ und den Wirkungsquerschnitt σ .

(Dichte Blei $\rho_{\text{Al}} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$, rel. Atommasse: $A_{\text{rel,Pb}} = 207,2 \text{ g mol}^{-1}$, Avogadro Zahl: $N_A = 6,0221415 \cdot 10^{23} \text{ g mol}^{-1}$)

Bestimmung von μ :

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{N(z_2) - N_u}{N_0 - N_u}\right) - \ln\left(\frac{N(z_1) - N_u}{N_0 - N_u}\right)}{z_2 - z_1}$$

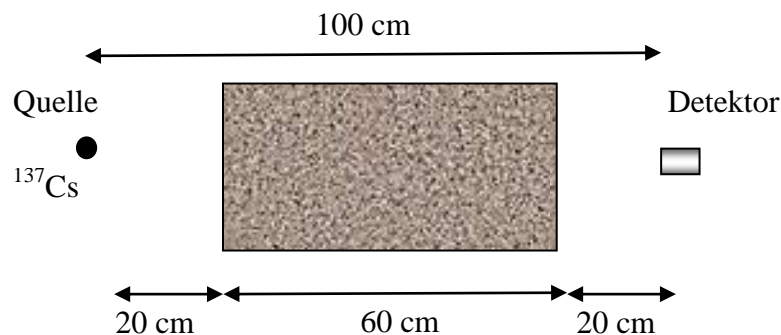
$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{289 - 17}{9964,2 - 17}\right) - \ln\left(\frac{2675 - 17}{9964,2 - 17}\right)}{(3,2 - 1,2) \text{ cm}} = -1,1398 \text{ cm}^{-1}$$

Massenschwächungskoeffizient: $\frac{\mu}{\rho} = \frac{1,270 \text{ cm}^{-1}}{11,3 \text{ g cm}^{-3}} = 0,07181 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

Wirkungsquerschnitt: $\sigma = \frac{A_{\text{rel}}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{207,2 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 1,1398 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

$$\sigma = \frac{A_{\text{rel}}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = 34,704 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2 = 34,7 \text{ b}$$

24. Der Bestrahlungsbunker des Labors für Radioökologie und Strahlenschutz besitzt 60 cm dicke Betonwände. Betrachten Sie eine Anordnung, bei der eine Strahlenquelle des ^{137}Cs ($E_\gamma = 661 \text{ keV}$) im Inneren des Bunkers in 20 cm Abstand vor der Wand positioniert wird und in einem Messpunkt außerhalb des Bunkers hinter der Betonwand im Abstand von 20 cm gemessen werden soll. Nach Strahlenschutzverordnung darf die Strahlungsdosisleistung außerhalb des Bunkers (auf Fluren und Gängen) $0,11 \mu\text{Sv/h}$ nicht überschreiten. Welche Dosisleistung darf die ^{137}Cs Strahlenquelle innerhalb des Bunkers im Abstand von 20 cm höchstens haben, damit der Grenzwert vor der Bunkerwand nicht überschritten werden kann?



E / MeV	$(\mu/\rho) / \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$	$\ln(E)$	$\ln(\mu/\rho)$
6,000E-01	8,236E-02	-0,51082562	-2,4966554
8,000E-01	7,227E-02	-0,22314355	-2,62734617
6,610E-01	7,882E-02	-0,41400144	-2,54064155

Der Massenschwächungskoeffizient von Gammastrahlung der Energie $E_\gamma = 661 \text{keV}$ in

Beton ist:
$$\frac{\mu}{\rho} = 0,0788 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$$

Der Schwächungskoeffizient von Gammastrahlung der Energie $E_\gamma = 661 \text{keV}$ in Beton ist:

$$\mu = 0,0788 \text{cm}^2 \text{g}^{-1} \cdot 2,3 \text{g cm}^{-3} = 0,1813 \text{cm}^{-1}$$

Die Schwächung in der 60 cm Betonwand ist:

$$\frac{I(z)}{I_0} = \exp(-\mu \cdot z) = \exp(-0,1813 \text{cm}^{-1} \cdot 60 \text{cm})$$

$$\frac{I(z)}{I_0} = 1,89 \cdot 10^{-5}$$

Die Quelle dürfte also im Abstand von 1 m (ohne Schwächung durch Absorber) eine Dosisleistung von:

$$\dot{H}(z = 1 \text{m}) = \frac{0,110 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}}{1,89 \cdot 10^{-5}} = 5,82 \frac{\text{mSv}}{\text{h}} \text{ haben.}$$

Die Dosisleistung in 20 cm ist $5^2 = 25$ mal höher:

$$\dot{H}(z = 0,2 \text{m}) = 5,82 \frac{\text{mSv}}{\text{h}} \cdot 25 = 146 \frac{\text{mSv}}{\text{h}}$$

- 25.** Wie groß ist die Halbwertsdicke von Beton für die γ -Strahlung des ^{137}Cs ($E_\gamma = 661 \text{keV}$)? Wie dick müsste eine Abschirmung aus Beton sein, um die Strahlungsintensität auf 1/10 (Zehntelwertsdicke) zu reduzieren?

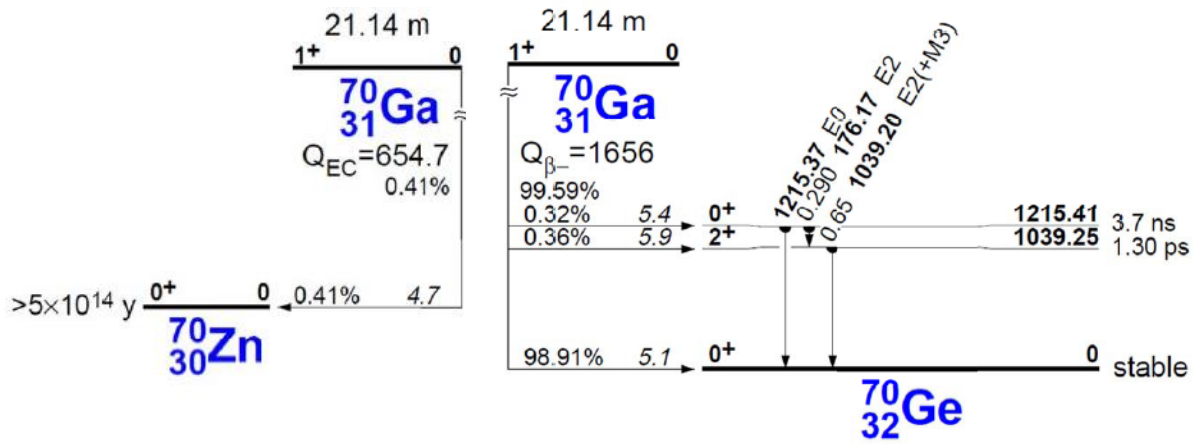
Schwächungskoeffizient:
$$\mu = 1,813 \cdot 10^{-1} \text{cm}^{-1}$$

Halbwertsdicke:
$$d_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\mu} = 3,823 \text{cm}$$

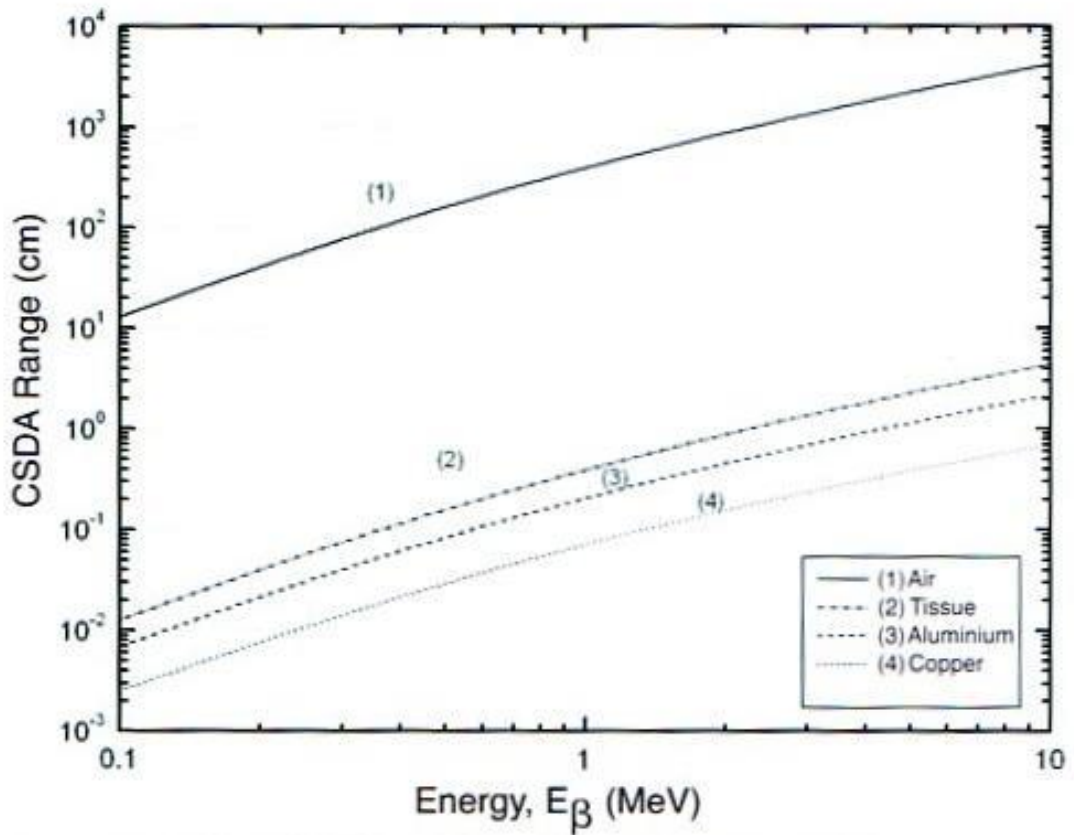
Zehntelwertsdicke:
$$d_{1/10} = \frac{\ln(10)}{\mu} = 12,7 \text{cm}$$



Anlage A1: Zerfallsschemata des ^{70}Ga



Anlage A2. Reichweite von β^-



Strahlung in Materie

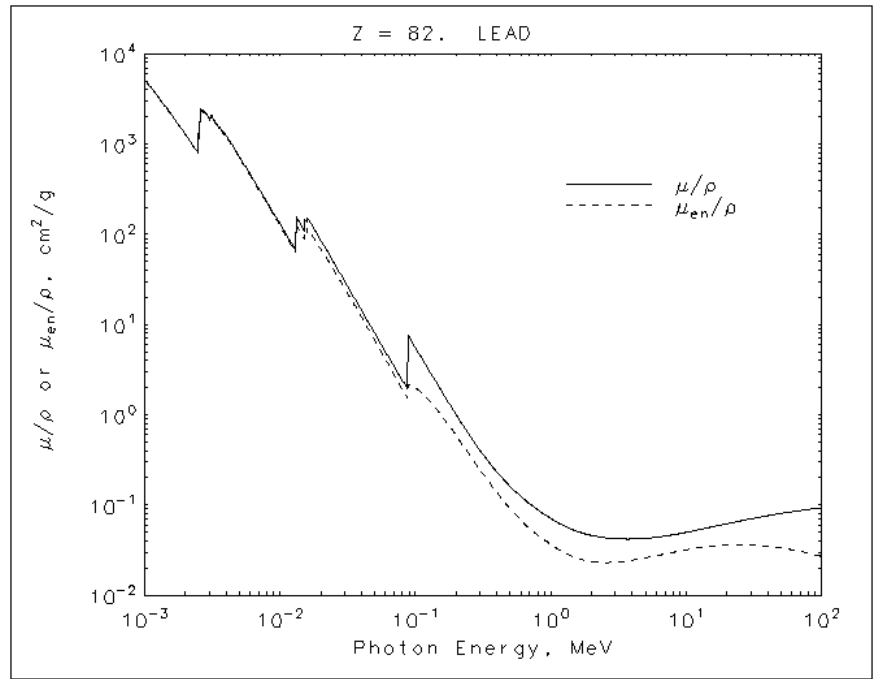
Abb.1 Reichweite (CSDA Range) von β^- -Strahlung in Materie.

Dichte: $\rho_{Air} = 1.293 \text{ kg m}^{-3}$, $\rho_{Tissue} = 1,060 \text{ g cm}^{-3}$, $\rho_{Al} = 2,699 \text{ g cm}^{-3}$, $\rho_{Cu} = 8,960 \text{ g cm}^{-3}$.



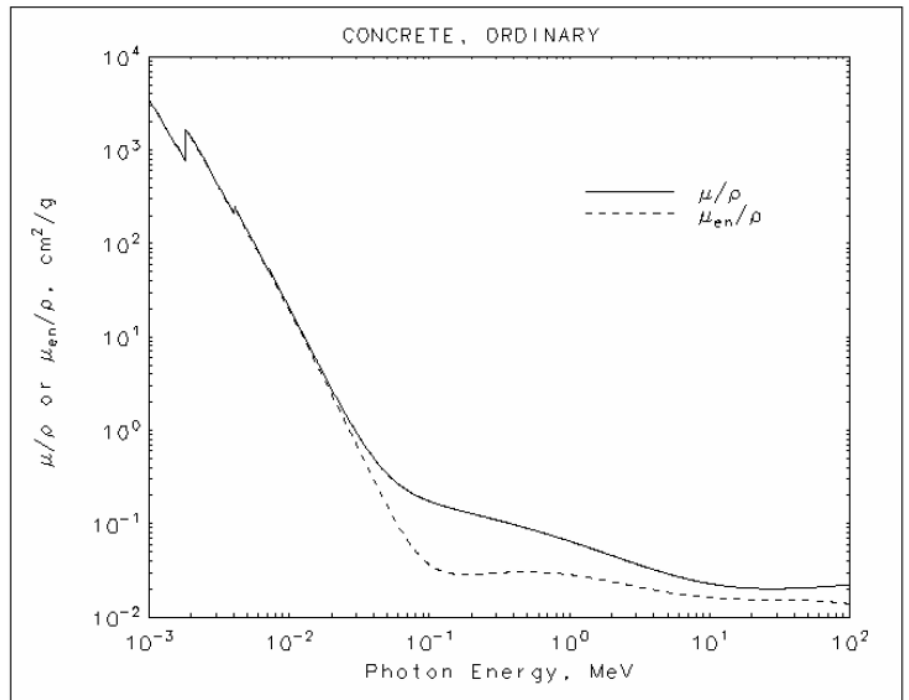
Anlage A3 Mass attenuation coefficient / Massenschwächungskoeffizient

E / MeV	(μ/ρ) cm^2g^{-1}
	Blei
3,0E-02	3,032E+01
4,0E-02	1,436E+01
5,0E-02	8,041E+00
6,0E-02	5,021E+00
8,0E-02	2,419E+00
8,8E-02	1,910E+00
8,8E-02	7,683E+00
1,0E-01	5,549E+00
1,5E-01	2,014E+00
2,0E-01	9,985E-01
3,0E-01	4,031E-01
4,0E-01	2,323E-01
5,0E-01	1,614E-01
6,0E-01	1,248E-01
8,0E-01	8,870E-02
1,0E+00	7,102E-02
1,3E+00	5,876E-02
1,5E+00	5,222E-02
2,0E+00	4,606E-02
3,0E+00	4,234E-02
4,0E+00	4,197E-02
5,0E+00	4,272E-02
6,0E+00	4,391E-02
8,0E+00	4,675E-02
1,0E+01	4,972E-02



Dichte: $\rho_{Pb} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$

E / MeV	(μ/ρ) / cm^2/g
1,000E-02	2,045E+01
1,500E-02	6,351E+00
2,000E-02	2,806E+00
3,000E-02	9,601E-01
4,000E-02	5,058E-01
5,000E-02	3,412E-01
6,000E-02	2,660E-01
8,000E-02	2,014E-01
1,000E-01	1,738E-01
1,500E-01	1,436E-01
2,000E-01	1,282E-01
3,000E-01	1,097E-01
4,000E-01	9,783E-02
5,000E-01	8,915E-02
6,000E-01	8,236E-02
8,000E-01	7,227E-02
1,000E+00	6,495E-02
1,250E+00	5,807E-02
1,500E+00	5,288E-02
2,000E+00	4,557E-02
3,000E+00	3,701E-02
4,000E+00	3,217E-02
5,000E+00	2,908E-02
6,000E+00	2,697E-02
8,000E+00	2,432E-02
1,000E+01	2,278E-02
1,500E+01	2,096E-02



Dichte: $\rho_{Concrete} = 2,3 \text{ g cm}^{-3}$



Quelle: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/cover.html>



N =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	N =		
n	0	8071,3171												n	0	
H	1	7288,9705	13135,72158	14949,806	25901,518	32892,44	41863,757	49135#	Mass excess = $m_{exc}c^2 = (m(Z,A) - A * u) * c^2$ in keV						H	1
He	2		14931,21475	2424,91565	11386,233	17595,106	26101,038	31598,044	40939,429	48809,203				He	2	
Li	3	28667#	25323,185	11678,886	14086,793	14908,141	20946,844	24954,264	33050,581	40797,31	50096#			Li	3	
Be	4		37996#	18374,947	15770,034	4941,672	11347,648	12606,67	20174,064	25076,506	33247,823	39954,498	49798#	57678#	Be	4
B	5		43603#	27868,346	22921,49	12415,681	12050,731	8667,931	13368,899	16562,166	23663,683	28972,278	37081,686	43770,816	B	5
C	6			35094,06	28910,491	15698,682	10650,342	0	3125,01129	3019,89305	9873,144	13694,129	21038,832	24926,178	C	6
N	7				38800,148	24303,569	17338,082	5345,481	2863,41704	101,43805	5683,658	7871,368	13114,466	15862,129	N	7
O	8					32047,954	23112,428	8007,356	2855,605	-4737,00141	-808,813	-781,522	3334,87	3797,462	O	8
F	9		Mass excess values in keV				32658#	16775,372	10680,254	1951,701	873,701	-1487,386	-17,404	-47,551	F	9
Ne	10							23996,462	16460,901	5317,166	1751,44	-7041,93131	-5731,776	-8024,715	Ne	10
N =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Na	11	
								24189,968	12926,808	6847,719	-2184,161	-5182,436	-9529,85358	Mg	12	
								33040,092	17570,348	10910,506	-396,963	-5473,766	-13933,567	Al	13	
N =	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	N =		
			$u = 1,660\ 538\ 86\ 10^{-27}\ \text{kg}$ $uc^2 = 931,494\ 043\ \text{MeV}$													
B	5	52322#	59364#							26119#	18183#	6769,57	-56,946	-8916,172	Al	13
C	6	32420,666	37557,61	45960#	53281#					32164#	23772#	10754,673	3824,318	-7144,632	Si	14
N	7	21765,11	25251,164	32038,675	38396#	47543#	56504#								P	15
O	8	8062,906	9284,152	14612,96	19070,4	27442#	35713#	44954#	53850#						S	16
F	9	2793,378	3329,747	7559,527	11272,706	18271,772	24926,86	33226#	40296#	48903#	56289#				Cl	17
Ne	10	-5154,045	-5951,521	-2108,075	429,611	7069,949	11244,601	18057,881	23102,025	30842#	37278#	45997#	53121#	25	Ar	18
Na	11	-8418,114	-9357,818	-6862,316	-5517,436	-989,247	2665,004	8361,09	12654,768	19064,478	24889,293	32761#	39582#	47953#	Na	11
Mg	12	-13192,826	-16214,582	-14586,651	-15018,641	-10619,032	-8910,672	-3217,38	-954,781	4894,07	8808,603	16152#	21424#	29249#	Mg	12
Al	13	-12210,309	-17196,658	-16850,441	-18215,322	-15872,419	-14953,628	-11061,966	-8529,377	-2932,495	-130,19	5781,974	9946,326	16050,594	Al	13
Si	14	-12384,301	-21492,79678	-21895,046	-24432,928	-22949,006	-24080,907	-20492,662	-19956,77	-14360,307	-12482,507	-6579,998	-4067,274	1928,205	Si	14
P	15	-7158,753	-16952,626	-20200,575	-24440,885	-24305,218	-26337,486	-24557,669	-24857,74	-20250,977	-18994,145	-14757,82	-12873,735	-8106,838	P	15
S	16	-3159,582	-14062,532	-19044,648	-26015,697	-26585,994	-29931,788	-28846,356	-30664,075	-26896,36	-26861,197	-23162,245	-22866,568	-19019,105	S	16
Cl	17	4443#	-7067,165	-13329,771	-21003,432	-24439,776	-29013,54	-29521,857	-31761,532	-29798,097	-29800,203	-27557,81	-27307,189	-24912,99	Cl	17
Ar	18	11293#	-2200,204	-9384,141	-18377,217	-23047,411	-30231,54	-30947,659	-34714,551	-33242,011	-35039,89602	-33067,467	-34422,675	-32009,808	Ar	18
K	19	20418#	6763#	-1481#	-11168,9	-17426,171	-24800,199	-28800,691	-33807,011	-33535,205	-35559,074	-35021,556	-36593,239	-35809,606	K	19
Ca	20		13153#	4602#	-6439,359	-13161,76	-22059,22	-27274,4	-34846,275	-35137,759	-38547,072	-38408,639	-41468,479	-40811,95	Ca	20
Sc	21			13898#	2841#	-4937#	-14168,021	-20523,228	-28642,392	-32121,239	-36187,929	-37816,093	-41067,792	-41757,115	Sc	21
Ti	22				9101#	1500#	-8850,275	-15700#	-25121,552	-29321,103	-37548,459	-39005,737	-44123,422	-44932,394	Ti	22
V	23					10330#	-205#	-8169#	-18024#	-24116,38	-31879,629	-37073,013	-42002,051	-44475,385	V	23
N =	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	N =		

Anlage 4: Mass Excess Table: G. Audi, A.H. Wapstra and C. Thibault, http://ie.lbl.gov/mass/2003AWMass_3.pdf

N =		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	N =
Cr 24		-50259,499	-51448,807	-55416,933	-55284,741	-56932,545	-55107,491	-55281,245	-52524,14	-51834,726	-47891,49	-46503,876	-42180,653	-40414,553	Cr 24
Mn 25		-48241,341	-50705,444	-54687,904	-55555,37	-57710,58	-56909,71	-57486,8	-55906,827	-55479,562	-53177,832	-51555,736	-48038,804	-46351,151	Mn 25
Fe 26		-48331,615	-50945,323	-56252,456	-57479,368	-60605,352	-60180,13	-62153,418	-60663,114	-61411,832	-58921,391	-58900,749	-55545,834	-54770,668	Fe 26
Co 27		-42644,824	-48009,541	-54027,557	-56039,352	-59344,204	-59845,868	-62228,412	-61649,012	-62898,422	-61431,505	-61840,387	-59792,686	-59169,934	Co 27
Ni 28		-39210,779	-45335,579	-53903,674	-56081,969	-60227,694	-61155,65	-64472,079	-64220,892	-66746,096	-65512,556	-67099,277	-65126,052	-66006,285	Ni 28
Cu 29		-31624#	-38601#	-47309,576	-51662,055	-56357,224	-58344,099	-61983,64	-62797,837	-65579,531	-65424,243	-67263,661	-66258,274	-67318,779	Cu 29
Zn 30		-25728#	-32800#	-42297,694	-47260,499	-54187,768	-56345,48	-61171,431	-62213,025	-66003,595	-65911,599	-68899,427	-67880,441	-70007,22	Zn 30
Ga 31		-15901#	-23986#	-34121#	-39998#	-47090,48	-52000,431	-56547,093	-58834,328	-62657,173	-63724,427	-66879,683	-67086,12	-69327,758	Ga 31
Ge 32		-8374#	-17000#	-27768#	-33729#	-42243#	-46910#	-54349,881	-56414,625	-61624,427	-62657,81	-66979,785	-67100,605	-70563,111	Ge 32
			-6399#	-18052#	-24964#	-33823#	-39521#	-46981#	-51502,304	-56647,81	-58899,233	-63086,666	-64343,111	-67894,336	As 33
N =		26	27	28	29	30	-32919#	-41722#	-46491#	-54214,814	-56301,531	-62046,216	-63116,336	-67894,407	Se 34
							31	-32798#	-38642#	-46476#	-51426#	-57063,323	-59015,201	-63628,936	Br 35
N =		39	40	41	42	43		32	-32435#	-41676#	-46923,323	-53940,919	-56551,751	-62331,509	Kr 36
							44		33	-32304#	-38117#	-46052#	-51917,05	-57221,677	Rb 37
Cr 24		-35527#	-33152#	-27796#	-24796#	-19049#		45		34	-31699#	-40697#	-46621,677	-54243,893	Sr 38
Mn 25		-42616,698	-40672,693	-36254#	-33403#	-28597#	-25299#		46		35		-38704#	-46905#	Y 39
Fe 26		-50877,951	-49573,517	-45692,348	-43128,173	-38396#	-35900#	-31000#	-28299#	47	48	36	37	-41703#	Zr 40
Co 27		-56111,332	-55061,049	-51350,415	-50002,598	-45643,206	-43873,368	-39300#	-37036#	-32248#	-29500#	49	50	38	N =
Ni 28		-63742,68	-63463,815	-59978,648	-59149,87	-55203,797	-53940,319	-49863#	-48372#	-43901#	-41610#	-36747#	-34298#	51	N =
Cu 29		-65567,035	-65736,213	-62976,127	-62711,127	-59782,999	-58986,595	-56006,205	-54119,802	-50975,985	-48577#	-44749#	-42327#	-36449#	Cu 29
Zn 30		-68417,973	-69564,648	-67326,897	-68131,38	-65410,343	-65708,883	-62469,023	-62136,64	-58722,344	-57342,57	-53420#	-51844,769	-46128#	Zn 30
Ga 31		-68910,089	-70140,242	-68589,38	-69699,335	-68049,585	-68464,58	-66296,64	-65992,344	-63706,57	-62509,526	-59135,169	-57983,308	-53104#	Ga 31
Ge 32		-69907,736	-72585,911	-71297,534	-73422,437	-71856,427	-73213,046	-71214,029	-71862,211	-69488,526	-69515,169	-66303,308	-65624,008	-60901#	Ge 32
As 33		-68229,809	-70956,701	-70859,967	-73032,41	-72289,504	-73916,577	-72817,419	-73636,526	-72159,286	-72533,308	-70324,008	-69880,657	-66082#	As 33
Se 34		-68217,642	-72212,735	-72169,018	-75252,05	-74599,594	-77026,086	-75917,602	-77759,936	-76389,519	-77594,008	-75340,657	-75951,829	-72428,267	Se 34
Br 35		-65306,081	-69139,018	-70289,169	-73234,914	-73452,302	-76068,514	-75889,472	-77974,839	-77496,465	-79008,93	-77799,335	-78610,267	-75639,57	Br 35
Kr 36		-64323,624	-69014,318	-70169,443	-74179,727	-74442,736	-77892,492	-77694,038	-80589,508	-79981,709	-82430,991	-81480,267	-83265,57	-80709,426	Kr 36
Rb 37		-60479,832	-64824,531	-66936,228	-70803,362	-72172,854	-75454,821	-76188,201	-79074,805	-79750,025	-82167,331	-82747,017	-84597,795	-82608,998	Rb 37
Sr 38		-57804,063	-63173,924	-65476,577	-70308,223	-71527,705	-76008,384	-76795,439	-80643,837	-81102,572	-84523,576	-84880,413	-87921,74	-86209,141	Sr 38
Y 39		-52527#	-58356,577	-61217,786	-66017,338	-68192,393	-72326,557	-74157,855	-77842,123	-79283,576	-83018,723	-84299,14	-87701,749	-86487,462	Y 39
Zr 40		-47357#	-55517,043	-58488,484	-64192#	-66458,557	-71492#	-73149,123	-77804,35	-79348,15	-83623,101	-84868,884	-88767,265	-87890,402	Zr 40
Nb 41			-47478#	-52974#	-58958,557	-61879#	-67149,123	-69826,35	-74183,15	-76073,101	-80650,386	-82656,265	-86632,442	-86448,337	Nb 41
Mo 42			Mass excess values in keV	-47748#	-55806#	-59103#	-64556,35	-67694,927	-72700,088	-75003,889	-80167,265	-82204,165	-86805,003	-86803,495	Mo 42
Tc 43				-47665#	-53207#	-59122#	-62710#	-67844#	-71206,603	-75984,165	-78934,648	-83602,533	-84153,961		Tc 43
N =		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	N =

