

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

1. Welche besonderen Eigenschaften hat das Lichtspektrum einer Wasserstoffgasentladungsröhre? Was versteht man unter den verschiedenen Serien des Wasserstoffspektrums? Wie entsteht das Lichtspektrum des angeregten Wasserstoffs? (5)

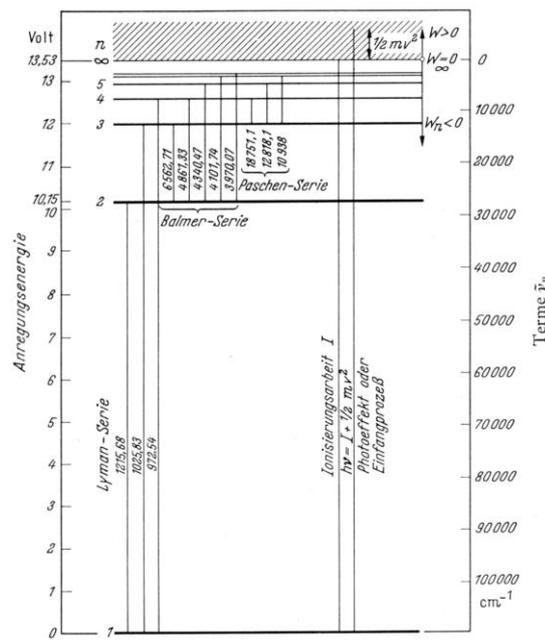
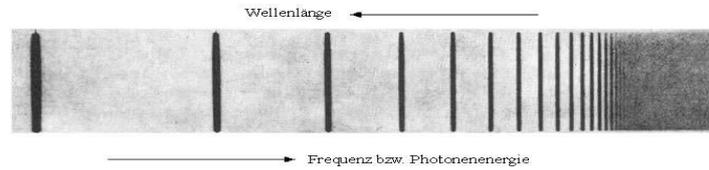
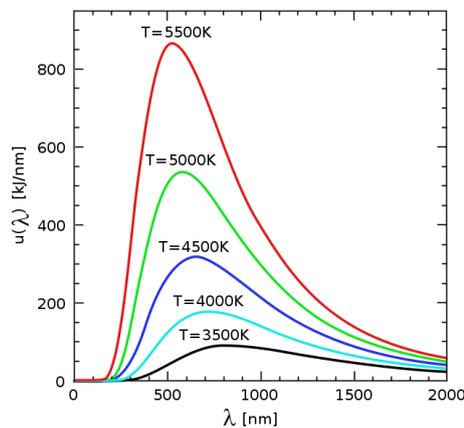


Abb. 15. Termschema des H-Atoms. Wellenlängen der Übergänge in Å

2. Wodurch unterscheiden sich die Strahlungsspektren „schwarzer Körper“ von den Spektren der Gasentladungsröhren? Skizzieren Sie die spektrale Intensität $dI/d\lambda$ als Funktion der Wellenlänge λ . (3)



3. Ordnen Sie die folgenden elektromagnetischen Strahlungsarten nach aufsteigender Energie (es reicht, die Kurzbezeichnung zu verwenden).
Radarstrahlung (RA), Röntgenstrahlung (XR), IR-Strahlung (IR), UV-Strahlung (UV), sichtbares Licht (SL), γ -Strahlung aus radioaktivem Zerfall (γR), Radiostrahlung (UKW). (5)

4. Röntgenstrahlung besitzt Energien von ca. 5 keV bis 400 keV. Welchem Wellenlängenbereich entspricht dieser Energiebereich? Berechnen Sie Wellenlängenwerte für die Ober- und die Untergrenze. (8)

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Für $E = 5 \text{ keV}$ gilt:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,62606896 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 299792458 \text{ m s}^{-1}}{5 \cdot 10^3 \text{ eV}}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,62606896 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 299792458 \text{ m s}^{-1}}{5 \cdot 10^3 \cdot 1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ AsV}}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = 2,481 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Js} \cdot \text{m}}{\text{AVs}^2} = 2,481 \cdot 10^{-9} \frac{\text{J} \cdot \text{m}}{\text{W s}}$$

Ergebnis für $E = 5 \text{ keV}$ gilt:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = 0,2481 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,25 \text{ nm}$$

Ergebnis für $E = 400 \text{ keV}$ gilt:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = 3,099 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 3,1 \text{ pm}$$

5. Wie ist die "relative Atommasse" A_{rel} definiert? Welche relative Atommasse hat das Element Aluminium? Bestimmen Sie die Masse von 10^{25} Al-Atomen. (6)

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

$$A_{\text{rel}}(\text{Al}) = 26,981538 \text{ g mol}^{-1}$$

$$1 \text{ kg enthält } n = \frac{1 \text{ kg}}{26,981538 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = 37,062379 \text{ mol}$$

$$m = A_{\text{rel}} \cdot \frac{N}{N_A} = 26,981538 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot \frac{10^{25}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 448,04 \text{ g}$$

6. Wie ist die Größe „mass excess“ $m_{\text{exc}}(Z, A) \cdot c^2$ definiert? In welcher Einheit wird die Größe üblicherweise in Tabellen angegeben? (3)

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

Einheit: 1 keV

7. Bestimmen Sie mit Hilfe der Mass Excess Table (siehe Anhang) die exakte Masse eines stabilen Al-Atoms in der Einheit $1 \text{ eV}/c^2$. Welchem Wert in der Einheit 1 kg entspricht die exakte Masse des Al-Atoms. (6)

$$m(Z, A) = A \cdot u + m_{\text{exc}}(Z, A)$$

Exakt:

$$m(13, 27) = (27 \cdot 931,494043 + (-17,196658)) \frac{\text{MeV}}{c^2} = 25133,1425 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

$$m(13, 27) = 25133,1425 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot \frac{1,66053886 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{931,494043 \text{ MeV} / c^2} = 4,4803893 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$



8. Bestimmen Sie die Bindungsenergie $B(Z,A)$ und die Bindungsenergie pro Nukleon $B(Z,A)/A$ für ^{27}Al . (10)

Masse des ^{27}Al : $m(Z, A) = A \cdot u + m_{exc}(Z, A)$ (1)

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

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

für m_H und m_n gilt: $m_H = u + m_{exc,H}$ und $m_n = u + m_{exc,n}$. (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: $B(Z, A) = Z \cdot m_{exc,H} + N \cdot m_{exc,n} - m_{exc}(Z, A)$

Für $^{27}_{13}\text{Al}_{14}$ gilt: $B(13, 27) = (13 \cdot 7,2889705 + 14 \cdot 8,0713171 - (-17,196658)) \text{ MeV}$

$$B(13, 27) = 224,951714 \text{ MeV}$$

Bindungsenergie pro Nukleon: $\frac{B(13, 27)}{A = 27} = \frac{224,951714 \text{ MeV}}{27} = 8,33154496 \text{ MeV}$

9. Zur Verbesserung der Zündeigenschaften können die beim Wolframinertgas- (WIG)-Schweißen verwendeten W-Elektroden Zusätze von Thoriumdioxid (ThO_2) enthalten. Bei WIG-Elektroden vom Typ WT40 sind zwischen 3,8 und 4,2 % ThO_2 enthalten. Man nehme an, dass eine typische WT40 Elektrode einen Durchmesser von 2,4 mm, eine Länge von 175 mm und eine Dichte von $\rho_{\text{WT40}} \cong 19,0 \text{ g cm}^{-3}$ besitzt und der Anteil des ThO_2 in der Elektrode $\sim 4,0$ Gew.% beträgt. Bestimmen Sie die Aktivität dieser Elektrode. (12)

Volumen der Elektrode: $V_{\text{Elektrode}} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot L = 0,7916 \text{ cm}^3$

Masse der Elektrode: $m_{\text{Elektrode}} = \rho \cdot V = 19,0 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,7916 \text{ cm}^3 = 15,04 \text{ g}$

Rel. Atommasse W: $A_{\text{rel,W}} = 183,84 \text{ g mol}^{-1}$

Rel. Molekülmasse ThO_2 : $A_{\text{rel,ThO}_2} = (232,9038 + 2 \cdot 15,999) \text{ g mol}^{-1} = 264,036 \text{ g mol}^{-1}$

In einer Masse von 1 g der WT40 Elektrode sind 0,96 g des W und 0,04 g des ThO_2 . Dividiert man die Massenwerte durch die relativen Atom-/Molekülmassen, erhält man die

Molzahl für W: $n_W = \frac{15,04 \text{ g} \cdot 0,96}{183,84 \text{ g mol}^{-1}} = 7,853786 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

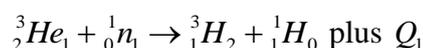
Molzahl für ThO_2 : $n_{\text{ThO}_2} = \frac{15,04 \text{ g} \cdot 0,04}{264,036 \text{ g mol}^{-1}} = 2,278477 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

Zahl der Th-Atome: $N_{\text{Th}} = 2,278477 \cdot 10^{-4} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 1,372 \cdot 10^{21}$

Zerfallskonstante: $\lambda_{\text{Th}} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1,405 \cdot 10^{10} \cdot 365,25 \cdot 86400 \text{ s}} = 1,56331 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$

Aktivität: $A = -\lambda_{\text{Th}} \cdot N_{\text{Th}} = -1,56331 \cdot 10^{-18} \cdot 1,372 \cdot 10^{21} = 2,15 \text{ kBq}$

10. Zum Nachweis von Neutronenstrahlung verwendet man Proportionalzählrohre, die mit ^3He Gas gefüllt sind. Die ungeladenen, und deshalb nicht direkt im Proportionalzähler nachweisbaren Neutronen, erzeugen in ^3He -Gas eine Kernreaktion bei der die Wasserstoffionen $^3\text{H}^+$ und $^1\text{H}^+$ entstehen. Berechnen Sie die Reaktionsenergie (Q -Wert) für diese Kernreaktion. Wie lautet die exakte Reaktionsgleichung? (6)



$$Q_1 = (m_{exc}(2, 3) + m_{exc}(0, 1) - m_{exc}(1, 3) - m_{exc}(1, 1)) \cdot c^2$$



$$Q_1 = (14931,21475 + 8071,3171 - 14949,806 - 7288,9705) \text{ MeV}$$

$$Q_1 = 763,75535 \text{ keV}$$

11. Für nuklearmedizinische Untersuchungen (z. B. des Herzens) kann man das Radionuklid ^{201}Tl verwenden. Das Element Thallium ist chemisch stark toxisch. Die tödliche Dosis auf Grund der chemischen Toxizität beträgt für einen Erwachsenen 800 mg. Ist die Masse des verabreichten Radiopharmakons mit der Aktivität $A = 100 \text{ MBq}$ im Hinblick auf eine chemische Toxizität kritisch? (6)

Differentielles Zerfallsgesetz:
$$A(t) = -\lambda \cdot N = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{N_A \cdot m}{A_r(^{201}\text{Tl})}$$

$$m = -\frac{T_{1/2} \cdot A_r(^{201}\text{Tl})}{\ln 2 \cdot N_A} \cdot A$$

Für $A = 100 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$
$$m = \frac{73,1 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} \cdot 201 \text{ g mol}^{-1}}{\ln 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 10^8 \text{ g}$$

$$m = 1,26 \cdot 10^{-8} \text{ g}$$

Verhältnis zur toxischen Masse:
$$\frac{m}{m_{\text{krit}}} = \frac{1,26 \cdot 10^{-8} \text{ g}}{800 \text{ mg}} = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ also unkritisch.}$$

12. Beschreiben Sie die Zerfallseigenschaften des ^{201}Tl . Welchen Energiewert hat die γ -Strahlung höchster Energie? (5)

^{201}Tl zerfällt mit einer Halbwertszeit $T_{1/2} = 72,912 \text{ h}$ durch EC-Zerfall in das stabile ^{201}Hg . Die Q_{EC} -Energie beträgt 483 keV. Dieser Wert ist so gering, dass nur EC und kein β^+ -Zerfall möglich ist. 43,6% der Zerfälle speisen den 4ten Anregungszustand des ^{201}Hg mit 167,45 keV. 13,3 % den 3ten Anregungszustand mit 32,138 keV, 0,26% den 2ten Anregungszustand mit 26,269 keV und 43% den ersten Anregungszustand bei 1,556 keV. Es werden neun verschiedene γ -Strahlungen mit Energien zwischen 167,43 keV (maximal) und 1,556 keV (minimal) ausgesandt.

13. Welche Wandstärke sollte ein Transportbehälter aus Blei haben, um die Strahlung des ^{201}Tl mit höchster Energie auf (1/1000) zu schwächen? (8)

Berechnung von (μ/ρ) aus Tabelle (siehe Anlage A2):

E / MeV	(μ/ρ) / (cm ² /g)	ln(E)	ln (μ/ρ)
1,500E-01	2,014E+00	-1,89711998	0,70012279
2,000E-01	9,985E-01	-1,60943791	-0,00150113
1,674E-01	1,540E+00	-1,78718993	0,43201586

Massenschwächungskoeffizient für $E_\gamma = 0,16743 \text{ MeV}$ in Pb:

$$\frac{\mu}{\rho} = 1,540 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Schwächungskoeffizient für $E_\gamma = 0,16743 \text{ MeV}$ in Pb:

$$\mu = \frac{\mu}{\rho} \cdot \rho = 1,540 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 11,3 \text{ g cm}^{-3} = 17,402 \text{ cm}^{-1}$$

Schwächung:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot z}$$



Lösung für z :
$$z = -\frac{1}{\mu} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = 0,3969 \text{ cm} \cong 4 \text{ mm}$$

14. Bei guter Transportlogistik kann das Radionuklid ^{18}F für die Positron Emission Tomographie (PET) bis zu 1000 km transportiert werden. Nehmen Sie an, dass ein Transport fünf Stunden dauert, und dass für eine Untersuchung 500 MBq pro Patient benötigt werden. Welche Aktivität muss für zehn Patienten bestellt werden? (5)

Radioaktives Zerfallsgesetz:
$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Benötigte Aktivität A_0 für einen Patient:

$$A_0 = A(t) \cdot e^{+\lambda \cdot t} = 500 \text{ MBq} \cdot 10^6 \cdot e^{\frac{\ln 2 \cdot 5 \cdot 60 \cdot 60 \cdot s}{109,7 \cdot 60 \cdot s}}$$

$$A_0 = 3328 \cdot \text{MBq} = 3,328 \text{ GBq pro Patient}$$

Gesamtmenge:
$$A_{0,ges} = 10 \cdot 3,328 \text{ GBq} = 33,28 \text{ GBq}$$

15. Warum gibt es in den meisten der heute betriebenen Kernspaltungsreaktoren ein Nachwärmeproblem? Wodurch entsteht die Nachwärme? Worin besteht das Problem? Welche technischen Gegenmaßnahmen gibt es? Welche quantitativen Aussagen können Sie zum Nachwärmeproblem bei einem Leistungsreaktor mit $P_{el} = 1200 \text{ MW}$ machen? (5)

Nachwärme entsteht unvermeidbar durch die radioaktiven Spaltprodukte. Die Halbwertszeiten der Spaltprodukte bestimmen die Abklingkurve der Wärmeproduktion und sind durch physikalische-technische Maßnahmen nicht beeinflussbar. Die Nachwärme muss bei einem Leichtwasserreaktor aktiv aus dem Reaktorgefäß entfernt werden (aktive Kühlungseinrichtungen) Bei einem 1200 MW_{el} Reaktor, der etwa 4000 MW thermische Leistung hat, beträgt die Nachwärmeproduktion einige Minuten nach dem Ausschalten knapp 100 MW, nach 100 Tagen ist sie auf 2-3 MW abgeklungen. Nach dieser Zeit reicht normalerweise auch eine passive Kühlung.

16. 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? (10)



$$\text{Es muss gelten: } Q_{\text{EC}} = Q_{\beta^+} + 1022 \text{ keV}$$

17. Beschreiben Sie die spektralen Energieverteilungen (Spektren) der α -, β^- -, β^+ - und EC-Radioaktivität. (8)

α -Zerfall: Diskrete Spektren

β^- -Zerfall: Kontinuierliche Spektren

β^+ -Zerfall: Kontinuierliche Spektren

EC-Zerfall: Neutrino hat diskretes Spektrum

18. Auf welche Weise kann man experimentell die Ladungsart (positiv, negativ und neutral)



von Elementarteilchen bestimmen? (3)

Ablenkung in magnetischen Feldern: Aus der Ablenkungsrichtung kann auf das Ladungsvorzeichen geschlossen werden.

19. Beschreiben Sie die Eigenschaften eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Nennen Sie insbesondere die Unterschiede zum Proportionalzählrohr und zur Ionisationskammer. (5)

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.

20. Erläutern Sie die Funktionsweise eines NaJ(Tl)-Detektors. (5)

Ionisierende Strahlung erzeugt in NaJ-Einkristallen Licht. Dabei ist eine Dotierung (geringfügige Verunreinigung) mit dem Element Tl erforderlich. Das Licht kann nicht ohne weiteres mit dem Auge wahrgenommen werden, da die Intensität sehr gering ist. Zum Nachweis des Lichts koppelt man den NaJ-Kristall mit einem Photomultiplier. Der Photomultiplier ist eine Röhre zur Verstärkung sehr kleiner Lichtintensitäten. Nach der Verstärkung erhält man für die im Kristall nachgewiesenen Strahlungsquanten elektronische Impulse, die anschließend elektronisch weiter verarbeitet und z. B. gezählt werden können.

21. Basis der Dosimetrie der ionisierenden Strahlung ist die "Energiedosis". Wie ist die Energiedosis definiert, in welcher Einheit wird sie angegeben? (3)

Energiedosis: $D = \frac{dE}{dm}$ in der Einheit: $1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

22. In einem Vorlesungsversuch wurde die Schwächung von γ -Strahlung der Energie $E_\gamma = 662 \text{ keV}$ (^{137}Cs) in Blei untersucht. (15)

Absorberdicke	$E_\gamma = 661,6 \text{ keV}$
x / cm	$N / 12 \text{ s}$
0,4	6393
4,0	67

Die Untergrundzählrate betrug 5,5 Ereignisse in einer Messzeit von 12 s. Ohne Absorber wurden drei Messungen durchgeführt, die 9885, 9898, 9727 und 9813 Ereignisse in 12 s lieferten.

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

(Dichte Blei $\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$, rel. Atommasse: $A_{\text{rel,Pb}} = 207,2 \text{ g mol}^{-1}$, Avogadro Zahl: $N_A = 6,02214129 \cdot 10^{23} \text{ g mol}^{-1}$)

$$\bar{N}_0 = \frac{1}{4}(9885 + 9898 + 9727 + 9813) = 9831 \text{ in } 12 \text{ s}$$



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

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{67 - 5,5}{9831 - 5,5}\right) - \ln\left(\frac{6393 - 5,5}{9831 - 5,5}\right)}{4,0 - 0,4} = -1,2897 \text{ cm}^{-1}$$

Massenschwächungskoeffizient:
$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1,2897 \text{ cm}^{-1}}{11,3 \text{ g cm}^{-3}} = 0,1141 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Wirkungsquerschnitt:
$$\sigma = \frac{A_{rel}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{207,2 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 0,1141 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

$$\sigma = \frac{A_{rel}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = 3,93 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^2 = 39,3 \text{ barn}$$

23. Vergleichen Sie das experimentelle Ergebnis des Massenschwächungskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$ mit Werten aus der Literatur (siehe Anlage). (8)

Berechnung von (μ/ρ) aus Tabelle (siehe Anlage A2):

E / MeV	(μ/ρ) / (cm ² /g)	ln(E)	ln(μ/ρ)
6,000E-01	1,248E-01	-0,51082562	-2,08104282
8,000E-01	8,870E-02	-0,22314355	-2,42249539
6,616E-01	1,111E-01	-0,41309414	-2,19704125

Massenschwächungskoeffizient für $E_\gamma = 0,662 \text{ MeV}$ in Pb:

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,1111 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Abweichung:
$$\frac{\Delta(\mu/\rho)}{(\mu/\rho)} = \frac{0,0030}{0,1111} = 2,7\%$$

Schwächungskoeffizient für $E_\gamma = 0,662 \text{ MeV}$ in Pb:

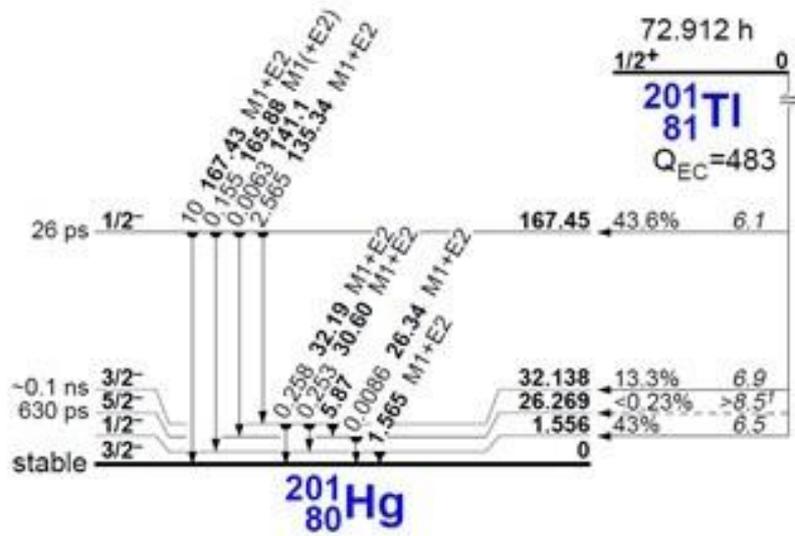
$$\mu = \frac{\mu}{\rho} \cdot \rho = 0,1111 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 11,3 \text{ g cm}^{-3} = 1,25543 \text{ cm}^{-1}$$

Wirkungsquerschnitt:
$$\sigma = \frac{A_{rel}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{207,2 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 0,1111 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

$$\sigma = \frac{A_{rel}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = 3,82 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^2 = 38,2 \text{ barn}$$

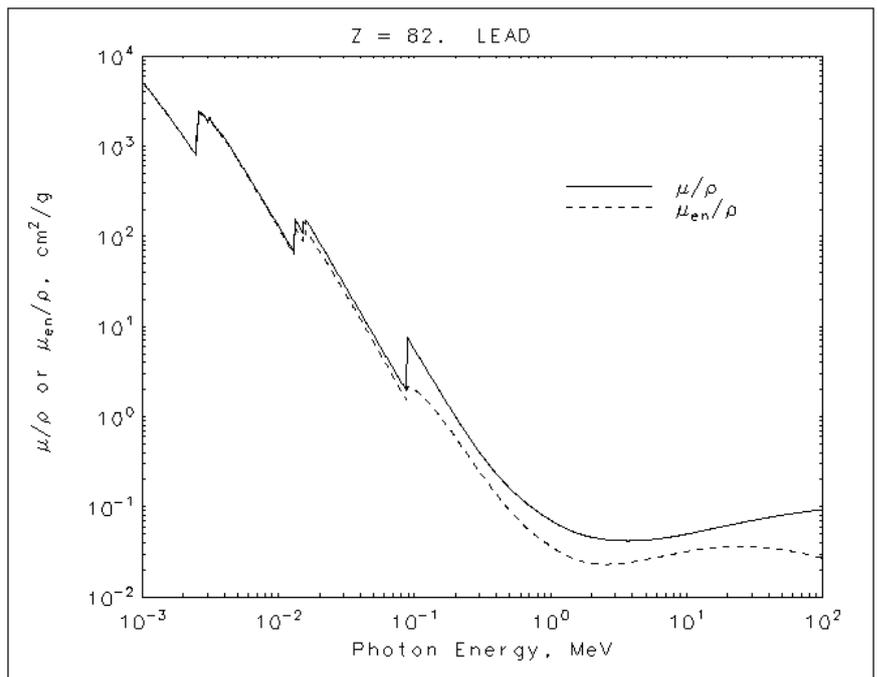


Anlage A1: Zerfallsschemata des ^{201}Tl



Anlage A2 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: $\rho_{Pb} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$

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



