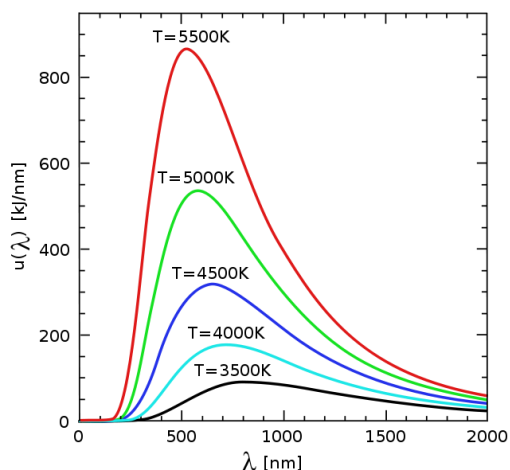


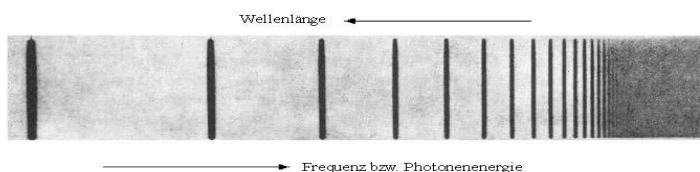
Name:.....Vorname:.....Mtrl. Nr:.....

1. Was sind Atome? Woraus bestehen sie? Wie groß sind Atome, wie groß sind Atomkerne? (5)

2. Beschreiben Sie das Strahlungsspektrum „schwarzer Körper“? Skizzieren Sie die spektrale Intensität  $dI/d\lambda$  als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$ . (5)



3. Beschreiben Sie das Strahlungsspektrum der Gasentladungsröhre? Beschreiben Sie charakteristische Merkmale des Lichtspektrums einer Wasserstofflampe? (5)



4. Erklären Sie den Begriff "Photoeffekt" des Lichtes? Was versteht man unter der Einsteinschen Deutung des Photoeffekts? (5)

(20 Punkte)



5. Ordnen Sie die genannten elektromagnetischen Strahlungsarten nach aufsteigender Energie (es reicht, die Kurzbezeichnung zu verwenden).

Radarstrahlung (RA), Röntgenstrahlung (XR), IR-Strahlung, Langwelle (LW), UKW, Mikrowellen (MW), UV-Strahlung, sichtbares Licht (SL), UMTS,  $\gamma$ -Strahlung aus radioaktivem Zerfall ( $\gamma$ R),  $\gamma$ -Strahlung der kosmische Strahlung ( $\gamma$ K).

(5)

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

6. Welche Frequenz hat die elektromagnetische Strahlung mit der Wellenlänge  $\lambda = 0,1 \text{ nm}$ ? Welche Energie in der Einheit 1 eV besitzt sie?

(5)

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 1,98645 \cdot 10^{-15} \text{ J} = 12398 \text{ eV}$$

7. Skizzieren Sie das Energieniveauschema des Wasserstoffatoms?

(5)

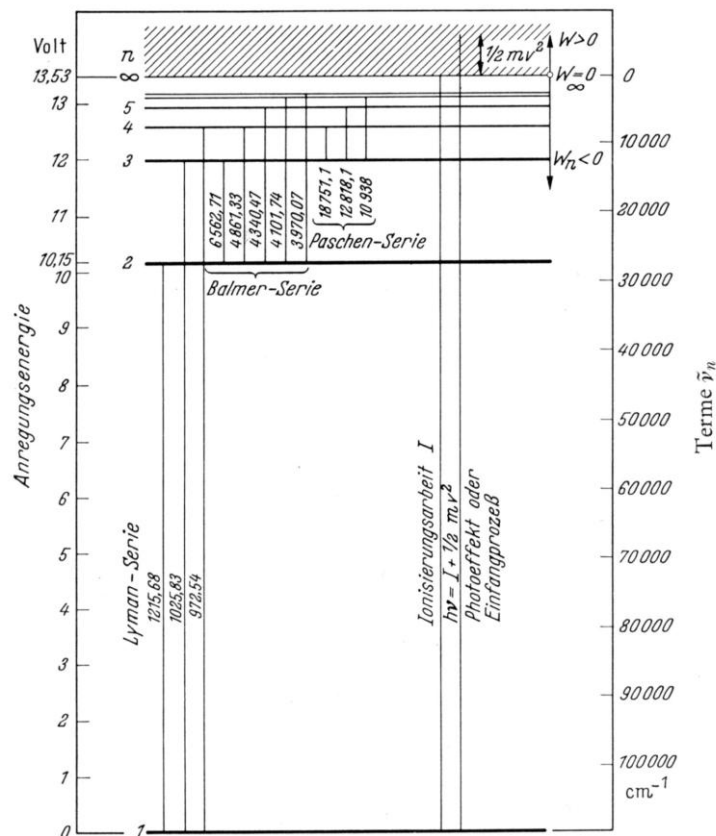


Abb. 15. Termschema des H-Atoms. Wellenlängen der Übergänge in Å

(15 Punkte)



8. Was versteht man unter Isotopen, Isotonen und Isobaren? (5)

9. Wie ist die "relative Atommasse"  $A_{rel}$  definiert? (5)

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

10. Wie ist die Bindungsenergie  $B(Z,A)$  eines Atomkerns definiert? (5)

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

11. Wie ist die Größe Mass Excess  $m_{exc}(Z,A) \cdot c^2$  definiert? In welcher Einheit wird die Größe üblicherweise in den Tabellen angegeben? (5)

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

Einheit: 1 keV

12. Welche (exakte) Masse hat ein neutrales  $^{22}\text{Na}$  Atom? (5)

Exakt: 
$$(22 \cdot 931,494061 - (-5,182436)) \frac{\text{MeV}}{c^2} = 20498,0518 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

13. Berechnen Sie für  $^{22}\text{Na}$  die Bindungsenergie pro Nukleon  $B(Z, A) / A$ . (10)

Masse des  $^{22}\text{Na}$  
$$m(Z, A) = A \cdot u + m_{exc}(Z, A)$$

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

$$B(Z, A) = Z \cdot m_H + (A - Z) \cdot m_n - A \cdot m_u - m_{exc}(Z, A)$$

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

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

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

$$B(Z, A) = (11 \cdot 7,28897 + 11 \cdot 8,07132 - (-5,18244)) \text{MeV}$$

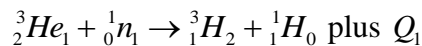
$$B(Z, A) = 174,1456 \text{ MeV}$$

Bindungsenergie pro Nukleon: 
$$\frac{B(Z, A)}{A} = \frac{174,1456 \text{ MeV}}{22} = 7,916 \text{ MeV}$$

(35 Punkte)



14. Berechnen Sie die Reaktionsenergie ( $Q$ -Wert) für die Kernreaktion von  ${}^3\text{He}$  mit Neutronen, bei der  ${}^3\text{H}$  und  ${}^1\text{H}$  entsteht. Wie lautet die Reaktionsgleichung? (10)



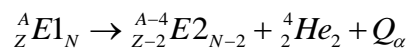
$$Q_1 = (m_{\text{exc}}(2,3) + m_{\text{exc}}(0,1) - m_{\text{exc}}(1,3) - m_{\text{exc}}(1,1)) \cdot c^2$$

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

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

15. Erklären Sie die Begriffe "Spontanspaltung", "neutroneninduzierte Spaltung" und "Spaltbarriere"? (5)

16. Durch welche Reaktionsgleichungen kann man den  $\alpha$ -Zerfall des Nuklides  ${}^A_Z\text{E}1_N$  beschreiben? (5)



17. Bestimmen Sie die Energiedifferenz von  ${}^7\text{Be}$  und  ${}^7\text{Li}$ . Welche radioaktive Zerfallsart ist für den Übergang von  ${}^7\text{Be}$  nach  ${}^7\text{Li}$  möglich? Begründung! (10)

$${}^7\text{Li}: m_{\text{exc}}(3,4) = 14908,141 \text{ keV} / c^2$$

$${}^7\text{Be}: m_{\text{exc}}(4,3) = 15770,034 \text{ keV} / c^2$$

Energiedifferenz von  ${}^7\text{Be}$  und  ${}^7\text{Li}$ :

$$\Delta m = (15770,034 - 14908,141) \text{ keV} / c^2 = 861,893 \text{ keV} / c^2$$

Zerfalls art nur EC, weil Energiedifferenz kleiner als 1022 keV

18. Beschreiben Sie die Zerfallseigenschaften des  ${}^{40}\text{K}$  anhand der Information in Anlage A1. (10)

(40 Punkte)



19. Schätzen Sie anhand der Information der Anlagen A1 und A2 die Schichtdicke  $z$  aus Eisen, die mindestens erforderlich ist, um die  $\beta^-/\beta^+$ -Strahlung des  $^{40}\text{K}$  vollständig abzuschirmen. (10)

Die  $\beta^+$ -Strahlung kann vernachlässigt werden, da der  $Q_{\text{EC}}$  nur 1505 keV beträgt. Man muss also die Reichweite der  $\beta^-$ -Strahlung abschätzen.  $Q_{\beta^-} = 1311 \text{ keV}$ .

Reichweite in Al etwa 3 mm, Reichweite in Cu etwa 1 mm.

Interpolation liefert für Eisen:  $\sim 1,3 \text{ mm}$

20. Unter der Nachweiswahrscheinlichkeit eines Detektors versteht man das Verhältnis der im Detektor nachgewiesenen Strahlungsintensität zur Strahlungsintensität, die den Detektor getroffen hat. Zur Kalibrierung der Nachweiswahrscheinlichkeit benötigt man deshalb eine Quelle mit bekannter Aktivität. Man kann dazu zum Beispiel normales (reines) Kaliumoxid verwenden, da natürlich vorkommendes Kalium das radioaktive Isotop  $^{40}\text{K}$  mit einem Anteil von 0,0117% enthält. Bestimmen Sie die Aktivität von 1 g  $\text{K}_2\text{O}$ . (relative Atommassen:  $A_{\text{rel,K}} = 39,0983 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $A_{\text{rel,O}} = 15,9994 \text{ g mol}^{-1}$ ) (15)  
Zahl der K Atome in 1g:

$$N_{\text{K-Atom}} = \frac{1}{A_{\text{rel}}} \cdot N_A = \frac{1 \text{ g}}{39,0983 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 6,02214129 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$N_{\text{K-Atom}} = 1,5402565 \cdot 10^{22}$$

Zahl der  $^{40}\text{K}$  Atome:  $N_{\text{K-Atom}} = 1,5402565 \cdot 10^{22} \cdot 0,000117 = 1,802100 \cdot 10^{18}$

Zerfallskonstante:  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1,277 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 86400 \text{ s}} = 1,72001 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$

Aktivität:  $A_{^{40}\text{K}} = -\lambda \cdot N_{^{40}\text{K}} = -1,77002 \cdot 10^{-17} \cdot 1,802100 \cdot 10^{18}$

Aktivität für 1g K:  $A_{^{40}\text{K}} = -\lambda \cdot N_{^{40}\text{K}} = 31,8975 \text{ Bq}$

Die Aktivität von 1g  $\text{K}_2\text{O}$  ist um den Faktor  $\frac{2 \cdot 39,0983}{2 \cdot 39,0983 + 15,9994} = 0,83015$  kleiner.

Aktivität von 1g  $\text{K}_2\text{O}$ :  $A_{\text{K}_2\text{O}} = 31,8975 \text{ Bq} \cdot 0,83015 = 26,4796 \text{ Bq}$

21. Wie hoch war der relative Anteil des Isotops  $^{40}\text{K}$  vor 4,5 Milliarden Jahren, zum Zeitpunkt, als die Erde entstand? (15)

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2 \cdot 4,5 \cdot 10^9 \text{ a}}{1,277 \cdot 10^9 \text{ a}}} = 0,086937 = \frac{1}{11,5025}$$

Es gilt heute:  $\frac{N}{N_R + N} = 0,000117$ . Daraus folgt:  $N_R = \frac{1 - 0,000117}{0,000117} \cdot N$

Vor 4,5 Milliarden Jahren galt:

$$x = \frac{N \cdot 11,5025}{N_R + N \cdot 11,5025} = \frac{11,5025}{\frac{1 - 0,000117}{0,000117} + 11,5025} = 0,001344$$

Relativer Anteil des  $^{40}\text{K}$  vor 4,5 Milliarden Jahren: 0,1344%

(40 Punkte)



22. Der Bestrahlungsbunker im Labor für Radioökologie und Strahlenschutz besteht aus 72 cm dickem Beton (engl. ordinary concrete). Wie stark schwächt diese Materieschicht die  $\gamma$ -Strahlung einer  $^{60}\text{Co}$  ( $E_{\gamma,1} = 1173\text{keV}$  und  $E_{\gamma,2} = 1332\text{keV}$ )? (gesucht ist  $I/I_0$ , verwenden Sie die Information in der Anlage A3). (20)  
Interpolation:

E	mü/rho	lnE	ln(mü/rho)	E	mü/rho	lnE	ln(mü/rho)
MeV	$\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$			MeV	$\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$		
1,00	6,50E-02	0,00000	-2,73337	1,25	5,81E-02	0,22314	-2,84559
1,25	5,81E-02	0,22314	-2,84559	1,50	5,29E-02	0,40547	-2,93935
1,173	0,05999	0,15956	-2,81361	1,332	0,05623	0,28668	-2,87827

Für 1173 keV gilt: 
$$\frac{I}{I_0} = e^{-0,05999\text{cm}^2\text{g}^{-1} \cdot 2,3\text{gcm}^{-3} \cdot 72\text{cm}} = e^{-9,93397} = 4,85 \cdot 10^{-5}$$

Für 1332 keV gilt: 
$$\frac{I}{I_0} = e^{-0,05623\text{cm}^2\text{g}^{-1} \cdot 2,3\text{gcm}^{-3} \cdot 72\text{cm}} = e^{-9,31206} = 9,03 \cdot 10^{-5}$$

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

Absorberdicke	$E_\gamma = 661,6\text{keV}$
$x / \text{cm}$	$N / 10\text{s}$
0,4	5133
4,0	63

Die Untergrundzählrate betrug 8 Ereignisse in einer Messzeit von 10 s. Ohne Absorber wurden 8181 Ereignisse in 10 s gemessen.

Bestimmen Sie den Schwächungskoeffizienten  $\mu$ , den Massenschwächungskoeffizienten

$\frac{\mu}{\rho}$  und den Wirkungsquerschnitt  $\sigma$ .

(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:  $N_A = 6,02214129 \cdot 10^{23}\text{g mol}^{-1}$ )

Bestimmung von  $\mu$ : 
$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{N(z_2) - N_u}{N_0 - N_u}\right) - \ln\left(\frac{N(z_1) - N_u}{N_0 - N_u}\right)}{z_2 - z_1} = -1,270\text{cm}^{-1}$$

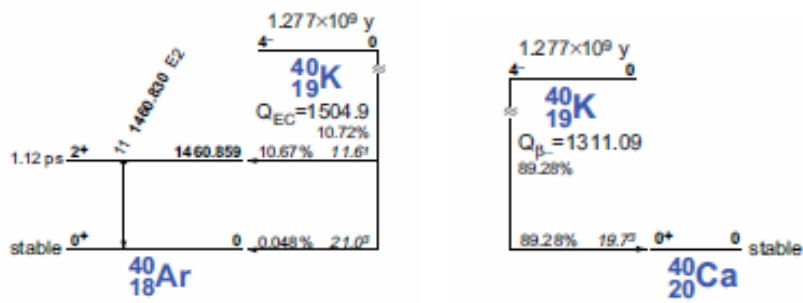
Massenschwächungskoeffizient: 
$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1,270\text{cm}^{-1}}{11,3\text{g cm}^{-3}} = 0,112\text{cm}^2\text{g}^{-1}$$

Wirkungsquerschnitt: 
$$\sigma = \frac{A_{\text{rel}}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{207,2\text{g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}} \cdot 0,112\text{cm}^2\text{g}^{-1}$$

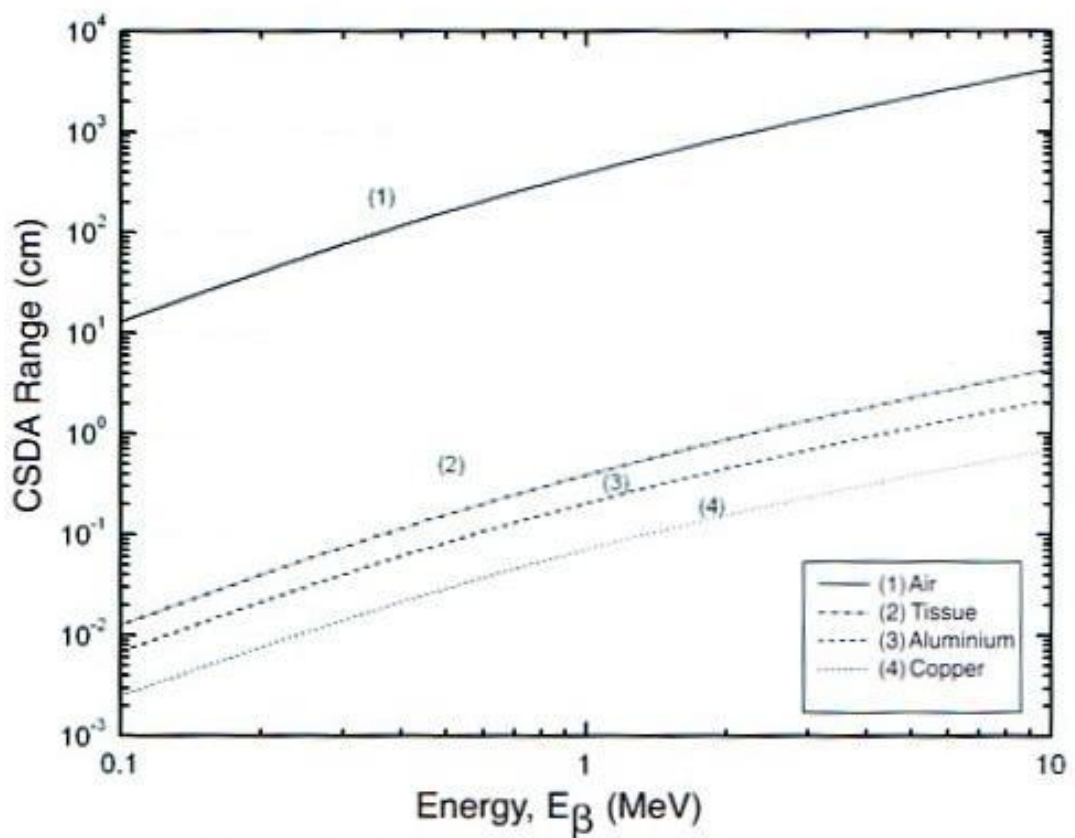
(35 Punkte)



## Anlage A1: Zerfallsschemata des $^{40}\text{K}$



## Anlage A2. Reichweite von $\beta$ -Strahlung in Materie



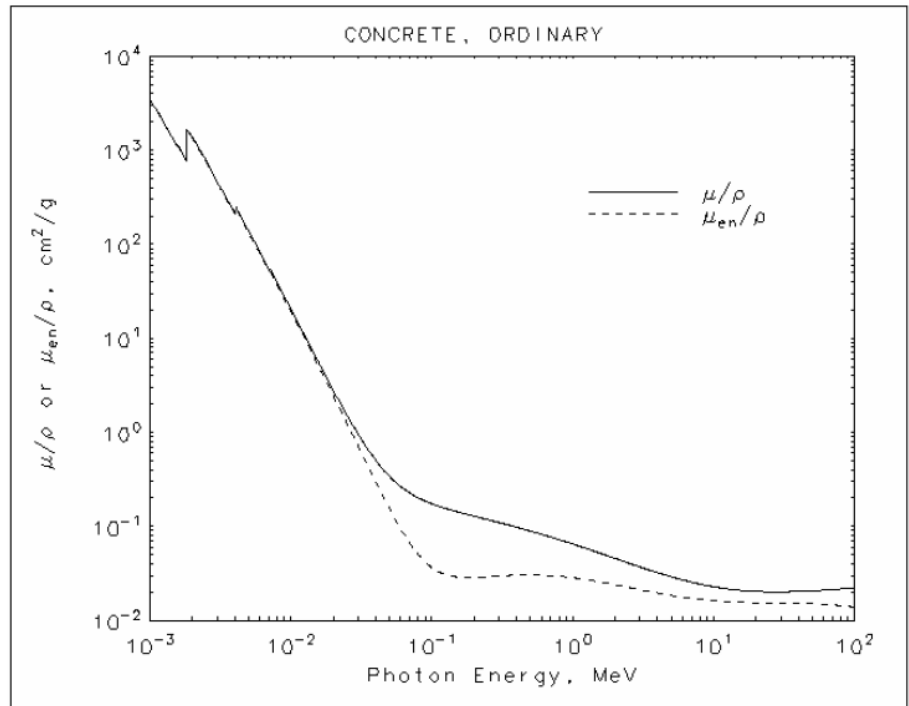
**Abb.1** Reichweite (CSDA Range) von  $\beta$ -Strahlung in Materie.

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



$E$	$\mu/\rho$
MeV	$\text{cm}^2/\text{g}$
1,00E-02	2,05E+01
1,50E-02	6,35E+00
2,00E-02	2,81E+00
3,00E-02	9,60E-01
4,00E-02	5,06E-01
5,00E-02	3,41E-01
6,00E-02	2,66E-01
8,00E-02	2,01E-01
1,00E-01	1,74E-01
1,50E-01	1,44E-01
2,00E-01	1,28E-01
3,00E-01	1,10E-01
4,00E-01	9,78E-02
5,00E-01	8,92E-02
6,00E-01	8,24E-02
8,00E-01	7,23E-02
1,00E+00	6,50E-02
1,25E+00	5,81E-02
1,50E+00	5,29E-02
2,00E+00	4,56E-02
3,00E+00	3,70E-02
4,00E+00	3,22E-02
5,00E+00	2,91E-02
6,00E+00	2,70E-02
8,00E+00	2,43E-02
1,00E+01	2,28E-02
1,50E+01	2,10E-02
2,00E+01	2,03E-02



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

**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#	<b>Mass excess = <math>m_{exc}c^2 = (m(Z,A) - A * u) * c^2</math> in keV</b>						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		<b>Mass excess values in keV</b>					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	N =		
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](http://ie.lbl.gov/mass/2003AWMass_3.pdf)



