

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

- 1a. Welche vereinfachten Modellvorstellungen (gemeint sind physikalische Ansätze) werden im Rahmen des Bohrschen Atommodells verwendet.
 - b. Welche Kraft wirkt zwischen Atomkern und Hüllenelektron? Welche Nebenbedingung muss für den Bahndrehimpuls des Elektrons gelten?
 - c. Wie werden die verschiedenen Elektronenschalen, wie deren Unterschalen bezeichnet?
 - d. Wie viele Elektronen können die verschiedenen Elektronenschalen aufnehmen?
2. Industrielle Staubfilter basieren auf ähnlich Prinzipien, wie das historische Millikan-Experiment zur Bestimmung der elektrischen Elementarladung. Betrachten Sie Öltröpfchen mit Radien von ca. 1 μm , die mit einer einzigen Elementarladung versehen sind und durch ein elektrisches Feld angehoben werden.
- a. Das Tröpfchen soll aus Ölsäure der Dichte $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ und der Molmasse von 282 g mol^{-1} bestehen. Wie viele Ölsäuremoleküle enthält ein Tröpfchen mit Radius von $1 \mu\text{m}$?
 - b. Welche Spannung muss an einen Plattenkondensator gelegt werden, damit ein $1 \mu\text{m}$ großes Öltröpfchen mit einer Elementarladung im elektrischen Feld eines Kondensators (Plattenabstand 1 mm) zum Schweben gebracht werden kann?

Masse:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$m = 0,9 \text{ g cm}^{-3} \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot (1 \cdot 10^{-4})^3 \text{ cm}^3$$

$$m = 3,7699 \cdot 10^{-12} \text{ g}$$

Zahl der Ölsäuremoleküle:

$$N = N_A \cdot \frac{m}{M}$$

$$N = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot \frac{3,7699 \cdot 10^{-12} \text{ g}}{282 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$N = 8,050 \cdot 10^9$$

Coulombkraft = Auftriebskraft:

$$q \cdot E = m \cdot g$$

Homogener Plattenkondensator:

$$E = U / d$$

Lösung:

$$U = \frac{m \cdot g \cdot d}{e}$$

$$U = \frac{3,76 \cdot 10^{-15} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{1,60210^{-19} \text{ As}} = 230 \text{ V}$$

3. Schätzen Sie aus der Dichte $\rho_{\text{Mn}} = 7,44 \text{ g cm}^{-3}$, der Molmasse $A_{\text{rel}} = 54,94 \text{ g mol}^{-1}$ und der Avogadro-Konstante $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ den Atomradius eines Mn Atoms.

$$V_{\text{Atom}} = \frac{m_{\text{Atom}}}{\rho} = \frac{A_r}{N_A \cdot \rho}$$

$$V_{\text{Atom}} = \frac{4}{3} \pi R_{\text{Atom}}^3$$

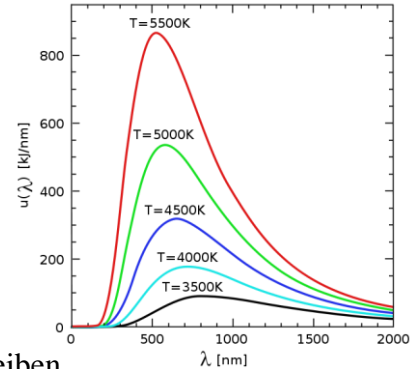


$$R_{Atom} = \sqrt[3]{\frac{3 A_r}{4\pi N_A \cdot \rho}}$$

$$R_{Atom} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 54,94 \text{ g mol}^{-1}}{4\pi \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 7,44 \text{ g cm}^{-3}}}$$

$$R_{Atom} = 1,43 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 0,143 \text{ nm}$$

4. Skizzieren Sie die spektrale Intensität $dI/d\lambda$ eines „schwarzen Körpers“ als Funktion der Wellenlänge λ für verschiedene Temperaturen.



5. Was versteht man unter dem "Photoeffekt" des Lichtes? Beschreiben Sie die Einsteinsche Deutung des Photoeffekts?
6. Ordnen Sie die folgenden elektromagnetischen Strahlungsarten nach aufsteigender Energie (es reicht, die Kurzbezeichnung zu verwenden).
IR-Strahlung (IR), UV-Strahlung (UV), Radarstrahlung (RA), sichtbares Licht (SL), γ -Strahlung aus radioaktivem Zerfall (GA), Radiostrahlung (UKW), kosmische Höhenstrahlung (KS), Röntgenstrahlung(XR).

$$UKW < RA < IR < SL < UV < XR < GA < KS.$$

7. Sichtbares Licht besitzt Wellenlängen von 380 nm bis 780 nm. Welchen Energiewerten in der Einheit 1 eV entsprechen diese beiden Werte?

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

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 2,997 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{380 \text{ nm}} = 3,26 \text{ eV}$$

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 2,997 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{780 \text{ nm}} = 1,59 \text{ eV}$$

8. Skizzieren Sie das Energieniveauschema des Elektrons in einem neutralen Wasserstoffatom?

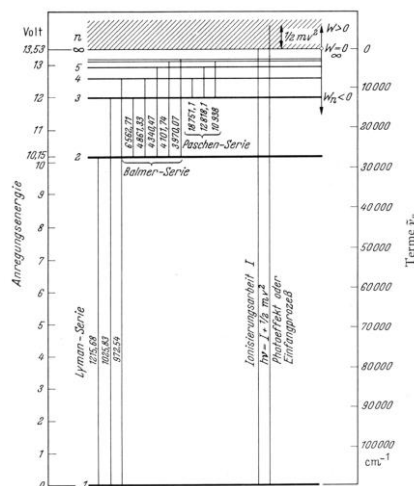


Abb. 15. Termschema des H-Atoms. Wellenlängen der Übergänge in Å



9. Erklären Sie die Begriffe: Isotope, Isobare, Isotone.
10. Welche Umwandlungsreaktionen beschreiben den α -, β^- -, β^+ - und den EC-Zerfall (EC = electron capture). Wie groß muss für die Zerfallsenergie sein, damit zusätzlich zum EC auch β^+ -Zerfall möglich ist?
11. Erklären Sie die Begriffe: "Spontanspaltung", "neutroneninduzierte Spaltung" und "Spaltbarriere"?
12. Wie ist der Massenexzess (mass excess) $m_{exc}(Z,A) \cdot c^2$, wie die Bindungsenergie $B(Z,A)$ definiert? In welcher Einheit wird $m_{exc}(Z,A) \cdot c^2$ üblicherweise in Massentabellen angegeben?

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

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

Einheit: 1 keV

13. Berechnen Sie die exakte Masse $m(Z,A)$ eines neutralen Deuteriumatoms (^2H). Geben Sie das Ergebnis sowohl in der Einheit MeV als auch in der Einheit kg an.

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

$$m(Z=1, A=2) \cdot c^2 = 13135,72158 \text{ keV} + 2 \cdot 931,494043 \text{ MeV}$$

$$m(1,2) \cdot c^2 = 1876,123808 \text{ MeV}$$

Umrechnung:

$$1u = 1,66053886 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

entspricht:

$$1u \cdot c^2 = 931,494043 \text{ MeV}$$

$$m(1,2) \cdot c^2 = 3,344494269 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

14. Berechnen Sie die Bindungsenergie $B(Z,A)$ von Deuterium (^2H).

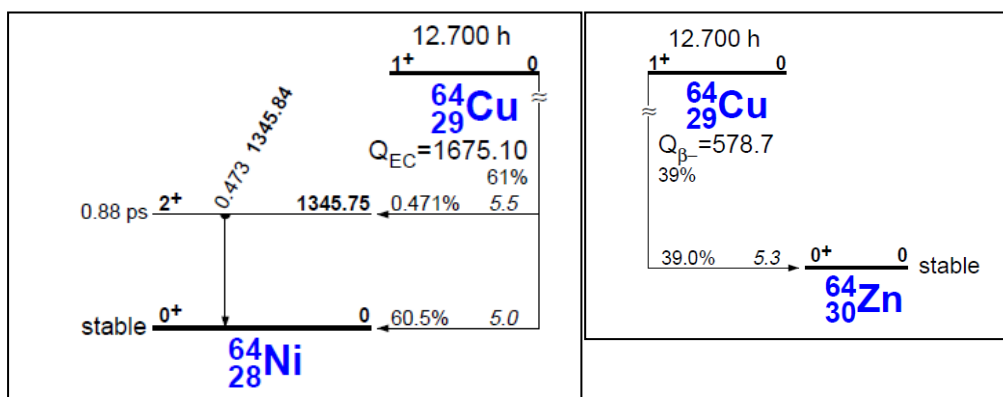
$$B(Z,A) = (Z \cdot m_H + (A - Z) \cdot m_n - m(Z,A)) \cdot c^2$$

$$B(Z,A) = (Z \cdot m_{exc,H} + (A - Z) \cdot m_{exc,n} - m_{exc}(Z,A)) \cdot c^2$$

$$B(1,2) = (1 \cdot 7288,9705 + 1 \cdot 8071,3171 - 13135,72158) \text{ keV}$$

$$B(1,2) = 2224,56602 \text{ keV}$$

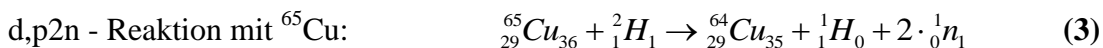
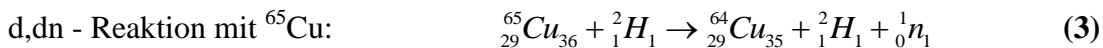
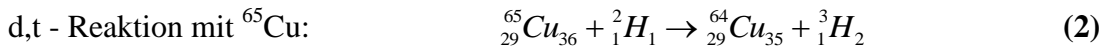
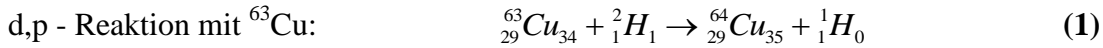
15. Die Abbildung zeigt die Zerfallsschemata des dualen Zerfalls von ^{64}Cu (vergleiche Nuklidkarte). Beschreiben Sie die Zerfalleigenschaften. Welche Energie und welche Intensität pro Zerfall hat die γ -Strahlung höchster Energie?



16. Man kann das radioaktive Isotop ^{64}Cu durch eine Kernreaktion erzeugen, bei der man natürliches Kupfer mit Deuterium-Ionen bestrahlt.



a. Stellen Sie die möglichen Reaktionsgleichungen auf. (Hinweis: Es gibt vier Möglichkeiten)



b. Berechnen Sie die Reaktionsenergien. Sind die Reaktionen endotherm oder exotherm?

(1) $(-65579,531 + 13135,72158 - (-65424,243) - 7288,9705) \text{keV} = +5691,45858 \text{keV}$

(2) $(-67263,661 + 13135,72158 - (-65424,243) - 14949,806) \text{keV} = -3653,50242 \text{keV}$

(3) $(-67263,661 + 13135,72158 - (-65424,243) - 13135,72158 - 8071,3171) \text{keV}$
 $= -9128,3885 \text{keV}$

(4) $(-67263,661 + 13135,72158 - (-65424,243) - 7288,9705 - 2 \cdot 8071,3171) \text{keV}$
 $= -11352,9545 \text{keV}$

Reaktion (1) ist exotherm, die Reaktionen (2), (3) und (4) sind endotherm.

17. Eine Kupferfolie mit Querschnittsfläche von 1 cm^2 und der Dicke $0,1 \text{ mm}$ (mit natürlicher Isotopenverteilung und Dichte $\rho_{\text{Cu}} = 8,960 \text{ g cm}^{-3}$) soll so lange mit Deuterium-Ionen bestrahlt werden, bis das Reaktionsprodukt ^{64}Cu eine Aktivität von $A(^{64}\text{Cu}) = 5,0 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$ besitzt. Welche relative Atomanzahl besitzt das Isotop ^{64}Cu dann in der Kupferfolie?

Vor der Bestrahlung besteht die Kupferfolie zu $69,15\%$ aus ^{63}Cu und zu $30,85\%$ aus ^{65}Cu .

Masse der Kupferfolie:

$$m_{\text{Cu}} = \rho_{\text{Cu}} \cdot V = \rho_{\text{Cu}} \cdot A \cdot d$$

$$m_{\text{Cu}} = 8,96 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 1 \text{ cm}^2 \cdot 0,01 \text{ cm} = 0,0896 \text{ g}$$

Es gilt:

$$m_{\text{Cu}} = N_{63} \cdot m_{\text{Atom } ^{63}\text{Cu}} + N_{65} \cdot m_{\text{Atom } ^{65}\text{Cu}}$$

$$m_{\text{Cu}} = N_{\text{ges}} \cdot (0,6915 \cdot m_{\text{Atom } ^{63}\text{Cu}} + 0,3985 \cdot m_{\text{Atom } ^{65}\text{Cu}}).$$

Näherungsweise kann man die Atommasse des ^{63}Cu mit $m_{\text{Atom } ^{63}\text{Cu}} = A_{\text{rel}}(^{63}\text{Cu}) \cdot 1u = 63u$ und die Atommasse von ^{65}Cu mit $m_{\text{Atom } ^{65}\text{Cu}} = A_{\text{rel}}(^{65}\text{Cu}) \cdot 1u = 65u$ verwenden.

$$m_{\text{Cu}} = N_{\text{ges}} \cdot (0,6915 \cdot 63 + 0,3985 \cdot 65) \cdot 1u$$

Es folgt:

$$N_{\text{ges}} = \frac{m_{\text{Cu}}}{(0,6915 \cdot 63 + 0,3985 \cdot 65) \cdot u}$$

Gesamtzahl der Atome:

$$N_{\text{ges}} = \frac{0,0896 \text{ g}}{69,467 \cdot 1,66053886 \cdot 10^{-24} \text{ g}} = 7,767 \cdot 10^{20}$$

Aktivität der ^{64}Cu Atome:

$$A(^{64}\text{Cu}) = -\lambda \cdot N_{64} = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_{64}$$

Zahl der ^{64}Cu Atome:

$$N_{64} = \frac{A(^{64}\text{Cu}) \cdot T_{1/2}}{\ln 2}$$

$$N_{64} = \frac{5 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1} \cdot 12,700 \cdot 3600 \text{ s}}{\ln 2} = 3,298 \cdot 10^{14}$$

Relative Atomanzahl des ^{64}Cu :

$$\frac{N_{64}}{N_{\text{ges}} - N_{64}} = \frac{3,298 \cdot 10^{14}}{7,767 \cdot 10^{20} - 3,298 \cdot 10^{14}} = 4,25 \cdot 10^{-7}$$



18. Schätzen Sie mit Hilfe der Reichweitenkurve in Anlage A2 die maximale Reichweite der β Strahlung in Eisen (Dichte von Eisen: $\rho_{Fe} = 7,874 \text{ g cm}^{-3}$).
19. Wie dick muss eine Abschirmung aus Eisen sein, um die Intensität der γ -Strahlung des ^{64}Cu auf 10^{-4} der Ausgangsintensität zu schwächen (siehe Anlage A3).

Berechnung von $\frac{\mu}{\rho}$ für $E_\gamma = 1345,75 \text{ keV}$

E / MeV	mü/rho		
1,250E+00	5,350E-02	0,223144	-2,928074
1,500E+00	4,883E-02	0,405465	-3,019410
1,346E+00	5,156E-02	0,296951	-2,965049

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

$$z = -\frac{1}{\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho} \ln\left(\frac{I(z)}{I_0}\right)$$

$$z = -\frac{1}{0,05156 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 7,874 \text{ g cm}^{-3}} \cdot \ln(10^{-4})$$

Abschirmungsdicke:

$$z = 22,69 \text{ cm}$$

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

Absorberdicke	$E_\gamma = 661,6 \text{ keV}$
x / cm	$N / 10 \text{ s}$
0,4	7578
4,4	934

Die Untergrundzählrate betrug 11 Ereignisse in einer Messzeit von 10 s. Ohne Absorber wurden 9334 Ereignisse in 10 s gemessen.

Bestimmen Sie den Schwächungskoeffizienten μ , den Massenschwächungskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$

und den Wirkungsquerschnitt σ .

(Dichte Eisen $\rho_{Fe} = 7,874 \text{ g cm}^{-3}$, rel. Atommasse: $A_{rel, Fe} = 55,845 \text{ g mol}^{-1}$)

Bestimmung von μ :

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

Massenschwächungskoeffizient:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1,270 \text{ cm}^{-1}}{7,874 \text{ g cm}^{-3}} = 0,161 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Wirkungsquerschnitt:

$$\sigma = \frac{A_{rel}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{55,845 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 0,161 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$



Naturkonstanten:

Lichtgeschwindigkeit:

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Elektrische Feldkonstante

$$\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$$

Plancksches Wirkungsquantum

$$h = 6,62606896(33) \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

Elektrische Elementarladung

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Avogadro-Konstante

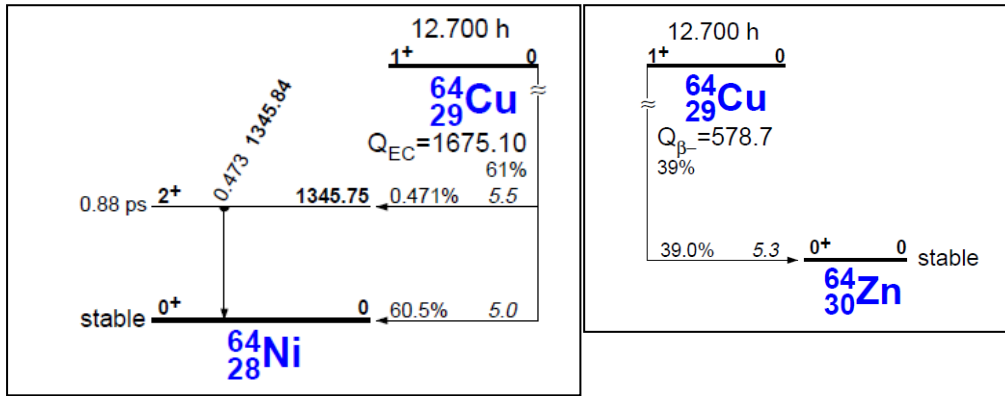
$$N_A = 6,02214179(30) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Faraday-Konstante

$$F = N_A \cdot e = 96485,3399(24) \text{ C mol}^{-1}$$



Anlage A1: Zerfallsschemata des ^{40}K



Anlage A2. Reichweite von β -Strahlung in Materie

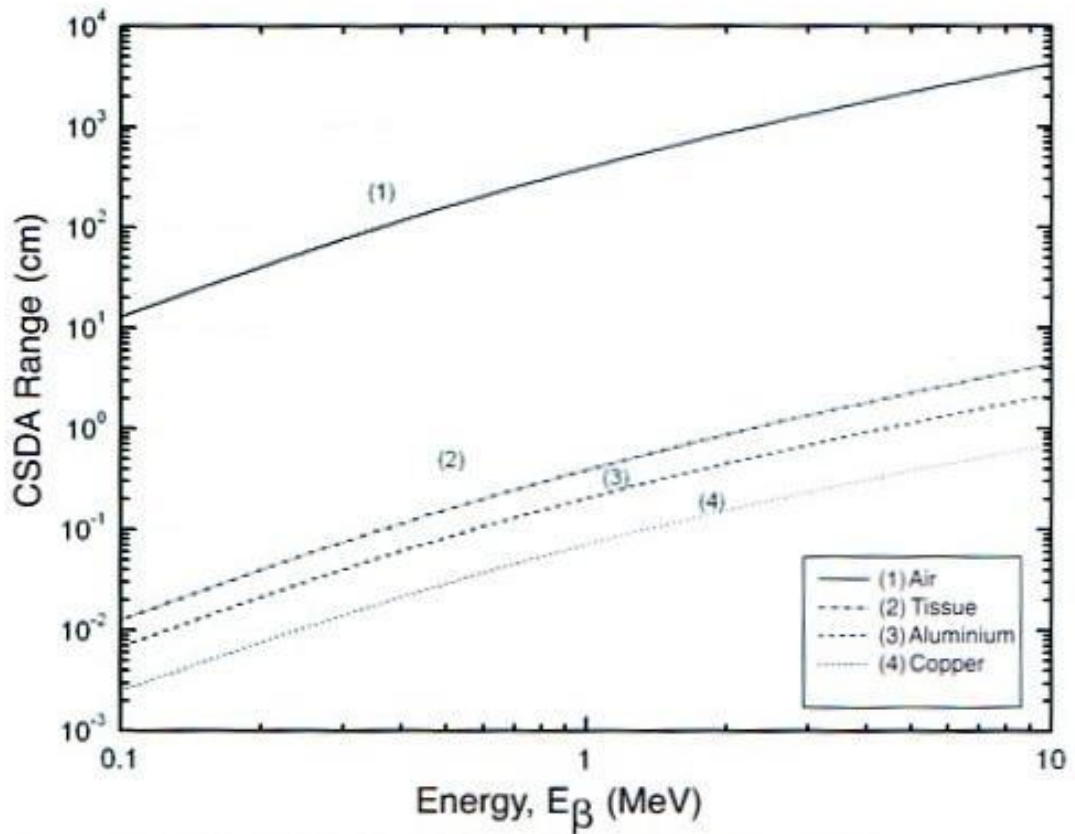


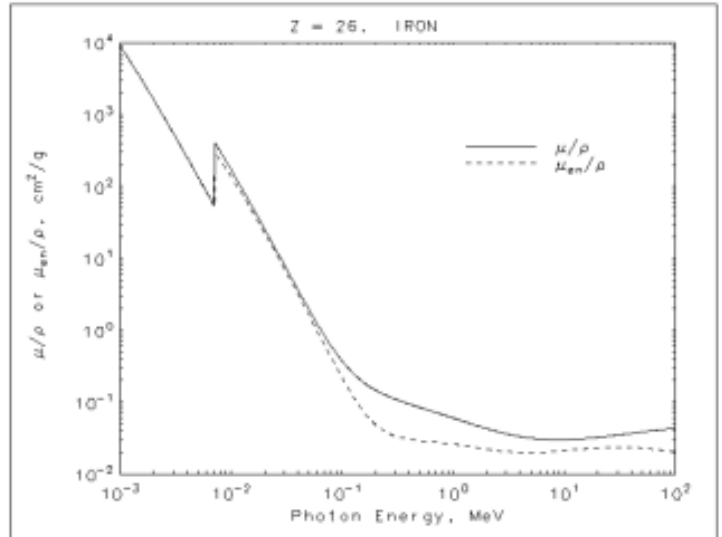
Abb.1 Reichweite (CSDA Range) von β -Strahlung in Materie.

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



Anlage A3 Mass attenuation coefficient / Massenschwächungskoeffizient

Iron		
Z = 26		
Energy	μ/ρ	
(MeV)	(cm ² /g)	
1,000E-03	9,085E+03	
1,500E-03	3,399E+03	
2,000E-03	1,626E+03	
3,000E-03	5,576E+02	
4,000E-03	2,567E+02	
5,000E-03	1,398E+02	
6,000E-03	8,484E+01	
7,112E-03	5,319E+01	
K	7,112E-03	4,076E+02
8,000E-03	3,056E+02	
1,000E-02	1,706E+02	
1,500E-02	5,708E+01	
2,000E-02	2,568E+01	
3,000E-02	8,176E+00	
4,000E-02	3,629E+00	
5,000E-02	1,958E+00	
6,000E-02	1,205E+00	
8,000E-02	5,952E-01	
1,000E-01	3,717E-01	
1,500E-01	1,964E-01	
2,000E-01	1,460E-01	
3,000E-01	1,099E-01	
4,000E-01	9,400E-02	
5,000E-01	8,414E-02	
6,000E-01	7,704E-02	
8,000E-01	6,699E-02	
1,000E+00	5,995E-02	
1,250E+00	5,350E-02	
1,500E+00	4,883E-02	
2,000E+00	4,265E-02	
3,000E+00	3,621E-02	
4,000E+00	3,312E-02	
5,000E+00	3,146E-02	
6,000E+00	3,057E-02	
8,000E+00	2,991E-02	
1,000E+01	2,994E-02	
1,500E+01	3,092E-02	
2,000E+01	3,224E-02	



Dichte: $\rho_{Fe} = 7,874 \text{ g cm}^{-3}$;

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 =		
			$u = 1,660\ 538\ 86\ 10^{-27}$ kg $uc^2 = 931,494\ 043$ 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#				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 =		



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	#NAME?	-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 =	

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

