

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

- 1a. Beschreiben Sie (vereinfacht) den Atomaufbau auf Basis des Bohrschen Atommodells.
 - b. Was sind „Elektronenschalen“, wie werden sie bezeichnet?
 - c. Wie viele Elektronen können die verschiedenen „Elektronenschalen“ aufnehmen?
2. Milikan verwendete in seinem historischen Experiment zur Bestimmung der elektrischen Elementarladung Öltröpfchen mit Radien von ca. $2 \mu\text{m}$, die mit einer einzigen Elementarladung versehen, durch ein elektrisches Feld angehoben werden konnten (das gleiche Prinzip dient in einem industriellen Elektrofiltern zur Abscheidung von Stäuben).
- a. Betrachten Sie ein Tröpfchen aus Ölsäure der Dichte $0,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ und der Molmasse $282 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Wie viele Ölsäuremoleküle enthält das Tröpfchen?

Volumen des Öltröpfchens

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 33,51 \mu\text{m}^3 = 3,351 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^3$$

Masse des Öltröpfchens:

$$m = \rho \cdot V = 0,9 \text{ g cm}^{-3} \cdot 3,351 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^3 = 3,016 \cdot 10^{-11} \text{ g}$$

Anzahl der Mole:

$$n = \frac{m}{A_{\text{Mol}}} = \frac{3,016 \cdot 10^{-11} \text{ g}}{282 \text{ g mol}^{-1}} = 1,0695 \cdot 10^{-13} \text{ mol}$$

Anzahl der Moleküle:

$$N = n \cdot N_A = 1,0695 \cdot 10^{-13} \text{ mol} \cdot 6,02214179 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$
$$N = 6,441 \cdot 10^{10}$$

- b. Welche Spannung muss an einen Plattenkondensator gelegt werden, um ein mit einer Elementarladung geladenes $2 \mu\text{m}$ großes Öltröpfchen im elektrischen Feld eines Kondensators (Plattenabstand 1 mm) zum Schweben zu bringen?

Coulombkraft = Auftriebskraft:

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

Homogener Plattenkondensator:

$$E = U / d$$

Lösung:

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

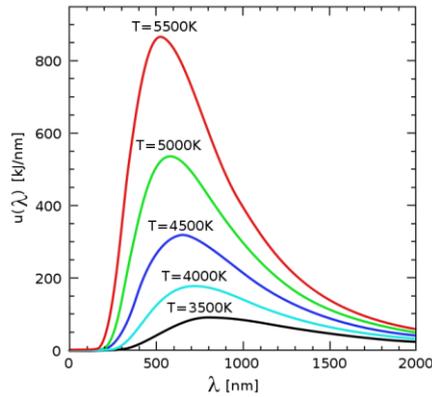
$$U = \frac{3,01610^{-11} \text{ g} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 1 \text{ mm}}{1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ As}}$$

$$U = \frac{3,016 \cdot 10^{-14} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 10^{-3} \text{ m}}{1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ As}}$$

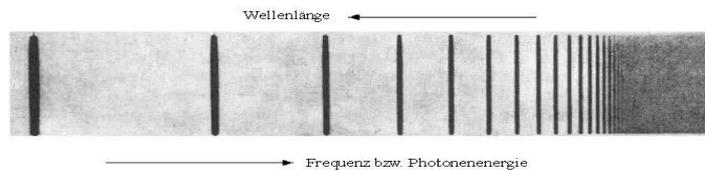
$$U = 1847 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3 \text{ A}} = 1847 \frac{\text{W}}{\text{A}} = 1847 \text{ V}$$



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



4. Beschreiben Sie das Strahlungsspektrum einer Wasserstoffgasentladungsröhre?



5. Was versteht man unter "Photoeffekt" des Lichtes? Erklären Sie die Einsteinschen Deutung des Photoeffekts?
6. 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 (Gamma), Radiostrahlung (UKW).

UKW < RA < IR < SL < UV < XR < Gamma

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

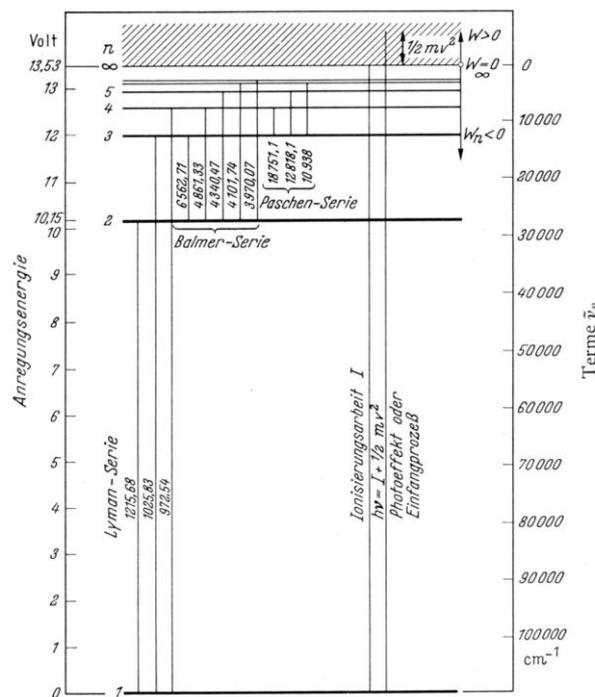


Abb. 15. Termschema des H-Atoms. Wellenlängen der Übergänge in Å



8. Röntgenstrahlung besitzt Energien von ca. 5 keV bis 400 keV. Welchem Wellenlängenbereich entspricht dieser Energiebereich?

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

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:

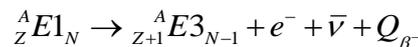
$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = 3,099 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 3,1 \text{ pm}$$

9. Erklären Sie die Begriffe: Isotope, Isobare, Isotone.
10. Welche Umwandlungsreaktionen beschreiben den α -, β^- , β^+ - und den EC-Zerfall (EC-electron capture). Welche Bedingung muss für die Zerfallsenergie gelten, damit ein EC-Zerfall bzw. ein β^+ -Zerfall möglich ist?

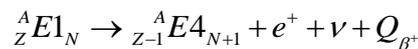
α -Zerfall:



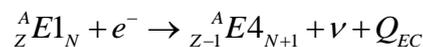
β^- -Zerfall:



β^+ -Zerfall:



EC -Zerfall:



Es muss gelten:

$$Q_{EC} = Q_{\beta^+} + 1022 \text{ keV}$$

11. Erklären Sie die Begriffe: "Spontanspaltung", "neutroneninduzierte Spaltung" und "Spaltbarriere"?
12. Wie ist die Bindungsenergie $B(Z,A)$ eines Atoms definiert?

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

13. Wie ist der Massenexzess (Mass Excess) $m_{\text{exc}}(Z,A) \cdot c^2$ definiert? In welcher Einheit wird $m_{\text{exc}}(Z,A) \cdot c^2$ üblicherweise in Massentabellen angegeben?

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

Einheit: 1 keV

14. Beschreiben Sie die Zerfallseigenschaften des ${}^{65}\text{Zn}$ anhand seines Zerfallsschemas (siehe dazu Anhang A1). Welche Energie hat die γ -Strahlung mit der höchsten Intensität?
15. Welche (exakte) Masse hat ein neutrales ${}^{65}\text{Zn}$ Atom, wenn der Massenexzesswert



$m_{exc}({}^{65}\text{Zn}) \cdot c^2 = -65911,599 \text{ keV}$ beträgt? Geben Sie die Masse sowohl in der Einheit 1 kg als auch in der Einheit $1 \text{ eV}/c^2$ an.

Massenexcess des ${}^{65}\text{Zn}$

$$m_{exc}(30,65) = m_{exc}({}^{65}\text{Zn}) = -65911,599 \text{ keV} / c^2$$

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

$$m({}^{65}\text{Zn}) = m(30,65) = m_{exc}(30,65) + 65 \cdot u$$

Ergebnis:

$$m({}^{65}\text{Zn}) = m(30,65) = 60481,2012 \text{ MeV} / c^2$$

Mit

$$1 \text{ eV} = 1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

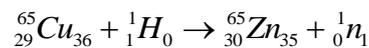
und

$$c = 299792458 \text{ ms}^{-1}$$

folgt:

$$m({}^{65}\text{Zn}) = m(30,65) = 1,07818 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

- 16a.** Stellen Sie die Kernreaktionsgleichung auf, die die Erzeugung des ${}^{65}\text{Zn}$ durch Bestrahlung des Elements Cu mit energiereichen ${}^1\text{H}^+$ -Ionen beschreibt.



- b.** Wie groß ist die Reaktionsenergie?

$$m_{exc}({}^{63}\text{Cu}) \cdot c^2 = -65579,531 \text{ keV}, m_{exc}({}^{65}\text{Cu}) \cdot c^2 = -67263,661 \text{ keV}$$

$$Q = (m_{exc}(29,65) + m_{exc}(1,1) - m_{exc}(30,65) - m_{exc}(0,1)) \cdot c^2$$

$$Q = (-67263,661 + 7288,9705 - (-65911,599) - 8071,3171) \text{ keV}$$

$$Q = -2134 \text{ keV}$$

- c.** Ist die Reaktion endotherm oder exotherm?

Die Reaktion ist endotherm.

- 17.** Wie dick muss eine Betonabschirmung (Dichte $\rho = 2,3 \text{ g cm}^{-3}$) sein, um die γ -Strahlung (höchster Intensität) des ${}^{65}\text{Zn}$ auf 1/1000 der Ausgangsintensität schwächen zu können.

Bestimmung von $\frac{\mu}{\rho}$

E / Mev	mü/rho	ln E	ln(mü/rho)
	cm ² g ⁻¹		
1,000	6,495E-02	0,00000	-2,73414
1,250	5,807E-02	0,22314	-2,84611
1,115	6,150E-02	0,1088544	-2,7887583

Massenschwächungskoeffizient: $\frac{\mu}{\rho} = 0,0615 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

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

Schwächungskoeffizient: $\mu = 0,0615 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 2,3 \text{ g cm}^{-3} = 0,14145 \text{ cm}^{-1}$

Schwächungsgesetz: $\frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot x} = \frac{1}{1000}$

Es folgt: $\mu \cdot x = \frac{\ln(1000)}{\mu} = \frac{6,9077}{0,14145 \text{ cm}^{-1}} = 48,8 \text{ cm}$



18. Im Strukturmaterial eines Teilchenbeschleunigers wird eine radioaktive ^{65}Zn Kontamination gemessen, die eine mittlere spezifische Aktivität von 5700 Bq/kg aufweist. Nach Strahlenschutzverordnung darf man das Material nur dann ohne weitere Einschränkungen entsorgen, wenn die mittlere spezifische Aktivität einen Wert von $0,5 \text{ Bq/g}$ unterschreitet. Wie lange dauert es, bis nach Abschalten der Anlage dieser Wert erreicht wird?

Halbwertszeit laut Zerfallsschema: $T_{1/2} = 244,26 \text{ d} = 244,26 \cdot 86400 \text{ s} = 2,110406 \cdot 10^7 \text{ s}$

Gesucht ist die Zeit t_1 , in der die Aktivität von A_0 auf $A(t_1)$ abgenommen hat.

Ausgangsaktivität: $A_0 = 5700 \text{ Bq/kg} = 5,7 \text{ Bq/g}$

Endaktivität: $A(t_1) = 0,5 \text{ Bq/g}$

Es gilt: $A(t_1) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t_1}{T_{1/2}}}$

Für t_1 folgt: $t_1 = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \left(\frac{A_0}{A(t_1)} \right) = 857,59 \text{ d} = 2,35 \text{ a}$

19. In einem Versuch wurde die Schwächung von γ -Strahlung des ^{137}Cs der Energie $E_\gamma = 662 \text{ keV}$ (^{137}Cs) in Aluminium (Dichte $\rho = 2,699 \text{ g cm}^{-3}$) untersucht. Ohne Absorber wurden 12378 Ereignisse in 10 s gemessen.

Absorberdicke	$E_\gamma = 661,6 \text{ keV}$
x / cm	$N / 10 \text{ s}$
5	5263
10	2236

Bestimmen Sie

- a. den Schwächungskoeffizienten μ ,

Schwächungskoeffizient μ : $\mu = \frac{\ln(2236) - \ln(5263)}{(10 - 5) \text{ cm}^{-1}} = 0,171 \text{ cm}^{-1}$

- b. den Massenschwächungskoeffizienten $\frac{\mu}{\rho}$

Massenschwächungskoeffizient: $\mu = \frac{0,171 \text{ cm}^{-1}}{2,699 \text{ g cm}^{-3}} = 0,06343 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

- c. den Wirkungsquerschnitt σ .

Wirkungsquerschnitt: $\sigma = \frac{A_{\text{rel}}}{N_A} \left(\frac{\mu}{\rho} \right) = \frac{26,982 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 0,06343 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$
 $\sigma = 2,84 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2 = 2,84 \text{ b}$

20. Welche Aktivität besitzt ein Sack mit 50 kg Kalidünger der Sorte Kali 60% (die K_2O zu 60% enthält).

Der 50 kg Sack Kalidünger soll zu 60% aus K_2O bestehen, also beträgt die K_2O Masse 30 kg. Die Massenanteil des Kaliums beträgt:

$$\frac{2 \cdot A_r(K)}{2 \cdot A_r(K) + 1 \cdot A_r(O)} = \frac{2 \cdot 39,0983}{2 \cdot 39,0983 + 1 \cdot 15,994} = 0,8302$$

Gesamtmasse Kalium: $m(K) = 0,8303 \cdot 30 \text{ kg} = 24,91 \text{ kg}$



Gesamtmasse ^{40}K :

$$m(^{40}\text{K}) = 0,000117 \cdot 24,91 \text{ kg} = 2,914 \text{ g}$$

Zahl der ^{40}K Atome:

$$N(^{40}\text{K}) = N_A \frac{2,914 \text{ g}}{40 \text{ g}} = 4,4 \cdot 10^{22}$$

Aktivität:

$$A = -\lambda \cdot N = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N$$

$$A = -\frac{\ln 2 \cdot 4,4 \cdot 10^{22}}{1,28 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 86400 \text{ s}} = -7,55 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$$

$$A = 755 \text{ kBq}$$

Dichte Aluminium: $\rho_{\text{Al}} = 2,669 \text{ g cm}^{-3}$, rel. Atommasse Aluminium: $A_{\text{rel,Al}} = 26,981 \text{ g mol}^{-1}$

Dichte Blei: $\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}$, rel. Atommasse Blei: $A_{\text{rel,Pb}} = 207,2 \text{ g mol}^{-1}$,

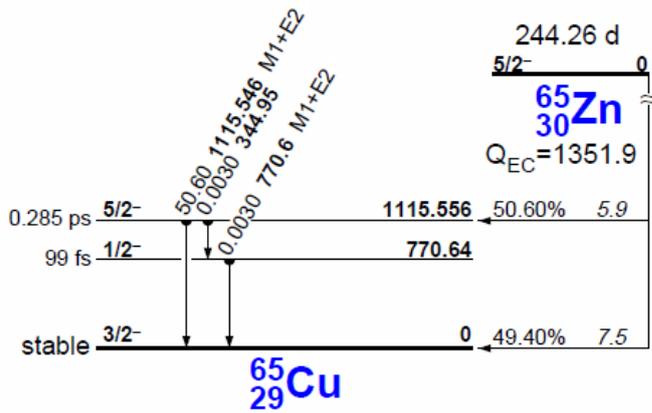
Avogadro Zahl: $N_A = 6,02214179 \cdot 10^{23} \text{ g mol}^{-1}$,

Plancksches Wirkungsquantum: $h = 6,62606896 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Elektrische Elementarladung: $e = 1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

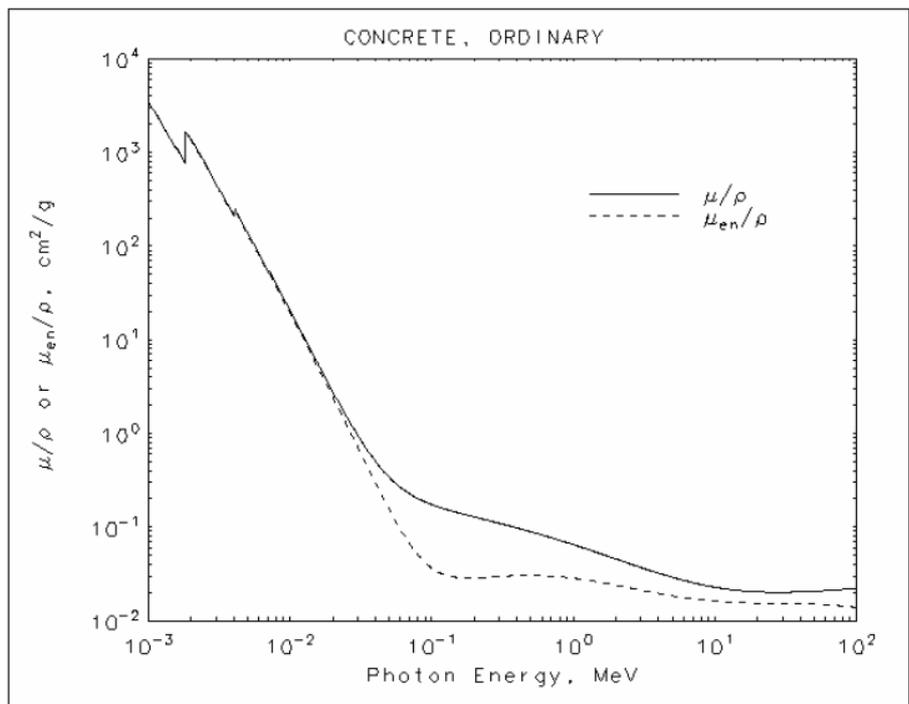


Anlage A1: Zerfallsschemata des ⁶⁵Zn



Anlage A3 Mass attenuation coefficient / Massenschwächungskoeffizient

E	μ/ρ
MeV	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
2,000E+01	2,030E-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



