

Välikoe 2, 13.4.2012

Ohjeet:

Keskity oleelliseen ja pyri **lyhyisiin** vastauksiin.

1. (a) Täydennä seuraavat reaktiomerkinnot. Yhden reaktiokanavan maininta jokaista esimerkkiä kohti riittää, vaikka reaktio voisi edetä usealla tavalla:
 - i) $^{23}\text{Na}(p, \)^{23}\text{Mg}$,
 - ii) $^{58}\text{Ni} + \ \rightarrow \ ^{58}\text{Cu} + n$
 - iii) $^{58}\text{Ni}(^3\text{He}, \)^{58}\text{Zn}$
 - iv) $^{116}\text{Cd}(^{40}\text{Ar}, \)^{150}\text{Dy}$
 (b) Tarkastellaan reaktiota $^3\text{H}(^2\text{H},n)^4\text{He}$, jonka Q-arvo on +17.60 MeV. Deuteronin energian ollessa 10 MeV, havaitaan ulostulokanavan neutroni 90 asteen kulmassa 18.08 MeV:n energialla. Mikä on alfa-hiukkasen energia ja emissioikulma?

2. Fukushima ydinvoimalan ympäristössä on havaittu radioaktiivista ^{137}Cs -isotooppia, jonka puoliintumisaika on 30.07(3) vuotta. ^{137}Cs hajoaa β^- -hajoamisella ^{137}Ba :ksi (liitteenä olevassa kuvassa energiat keV:na).
 - a) Määritä ^{137}Ba :n gammasiirtymän multipolariteetti ja laske ^{137}Ba :n tilan puoliintumisaika. Ota huomioon, että siirtymän konversiokerroin on $\alpha=0.1124$. Vertaa kokeelliseen arvoon.
 - b) Mikä on ^{137}Cs :n gammasäteilyn todennäköisin vuorovaikutustapa lyijyssä ja alumiinissa? Miksi parinmuodostus ei tässä tapauksessa tule kyseeseen?
 - c) Määritä lyijykerroksen paksuus, joka riittää puolittamaan ^{137}Cs :n lähettämän gammasäteilyn intensiteetin.
 $[\mu_m=1.103 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{g}, \rho(\text{Pb})=11.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3]$.
 - d) Arvioi, kuinka paljon (minimissään) tarvitaan plexi-lasia, jotta ^{137}Cs :n beetasäteily vaimenee vähintään 90 %.
 - e) Hahmottele hyvällä germanium-ilmaisimella mitattu ^{137}Cs :n γ -spektri.

3. a) Mikä olisi neutronin sieppausreaktion taajuus, jos lämpötila on $T=10^9$ K, vaikutusala $\sigma = 1$ b ja neutronitiheys $n = 10^{22} \text{ 1/m}^3$? Voit käyttää $E=(3/2)kT$ oletusta. Olisiko tämä sopiva ympäristö s- vai r-prosessille?
 - b) Liitteenä on osa nuklidikarttaa. Hahmottele s-prosessin kulku ^{89}Y -isotoopista ^{103}Rh -isotooppiin.
 - c) Mitkä stabiileista isotoopeista Y- ja Rh-isotooppien välissä (mukaan lukien Y- ja Rh-isotoopit) ovat peräisin:
 - (i) vain s-prosessista
 - (ii) vain r-prosessista
 - (iii) p-prosessista?

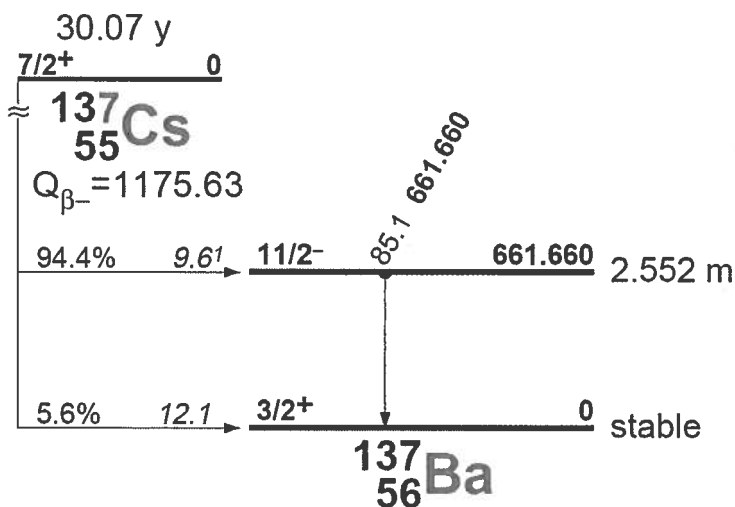
4. (a) Laske Q-arvo $n + {}^{235}\text{U}$ ja $n + {}^{238}\text{U}$ reaktioille. Reaktioissa syntyvissä välilytimissä fission korkeudet ovat 6.2 ja 6.6 MeV.
- Mikä on pienin fission johtava neutronin pommitusenergia eli kynnyenergia edellä mainituissa reaktioissa?
 - Jos neutroni korvataan protoni-ammuksella, tilanne muuttuu. Selitä lyhyesti, miksi ja millä tavoin. Laskuja ei tarvitse esittää.
- (b) Selitä lyhyesti PET – kuvausmenetelmä.
- (c) Listaa lyhyesti ydinreaktorin neutronitalouteen vaikuttavia tekijöitä. Mainitse listauksen yhteydessä, kuinka kyseinen ilmiö vaikuttaa neutronitalouteen.

Taustatietoja:

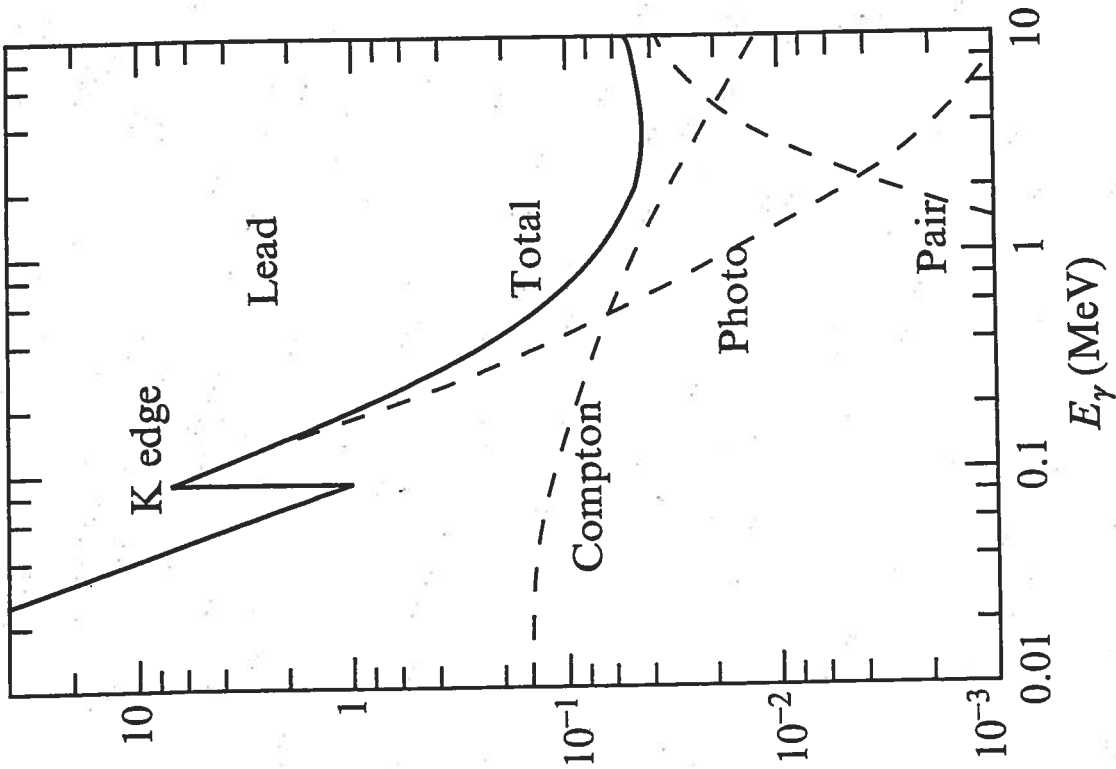
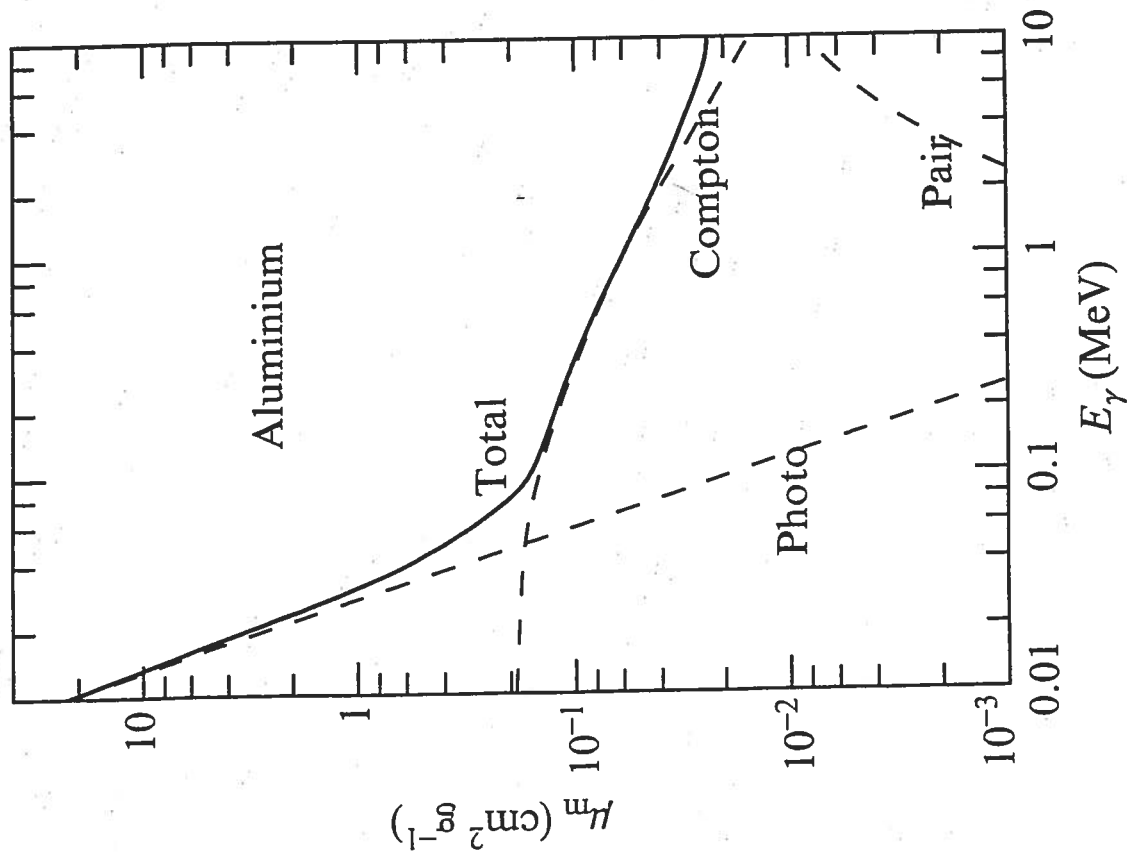
Massoja:	$m(n) =$	1.008665 u	$m(H) =$	1.007825 u
	$m({}^2\text{H}) =$	2.013553 u	$m({}^3\text{H}) =$	3.016049 u
	$m({}^3\text{He}) =$	3.016029 u	$m({}^4\text{He}) =$	4.002603 u
	$m({}^{235}\text{U}) =$	235.043924 u	$m({}^{236}\text{U}) =$	236.045563 u
	$m({}^{238}\text{U}) =$	238.050941 u	$m({}^{239}\text{U}) =$	239.054290 u

Taulukko: Yksihiukkasarviot (Weisskopfin arviot) sähkömagneettisten siirtymien hajoamisvakioille λ . E on siirtymäenergia MeV-yksiköissä, ja λ on annettu yksiköissä s^{-1} . A on massaluku.

Electric transitions	Magnetic transitions
$\lambda(E1) = 1.0 \cdot 10^{14} \cdot A^{2/3} \cdot E^3$	$\lambda(M1) = 3.1 \cdot 10^{13} \cdot E^3$
$\lambda(E2) = 7.3 \cdot 10^7 \cdot A^{4/3} \cdot E^5$	$\lambda(M2) = 2.2 \cdot 10^7 \cdot A^{2/3} \cdot E^5$
$\lambda(E3) = 34 \cdot A^2 \cdot E^7$	$\lambda(M3) = 10 \cdot A^{4/3} \cdot E^7$
$\lambda(E4) = 1.1 \cdot 10^{-5} \cdot A^{8/3} \cdot E^9$	$\lambda(M4) = 3.3 \cdot 10^{-6} \cdot A^2 \cdot E^9$
$\lambda(E5) = 2.4 \cdot 10^{-12} \cdot A^{10/3} \cdot E^{11}$	$\lambda(M5) = 7.4 \cdot 10^{-13} \cdot A^{8/3} \cdot E^{11}$



Quantity	Symbol, equation	Value	Uncert. (ppm)
speed of light in vacuum ⁴	c	2.997 924 58×10 ¹⁰ cm s ⁻¹	0
Planck constant	h	6.626 075 5(40)×10 ⁻²⁷ erg s	0.60
Planck constant, reduced	ħ = h/2π	1.054 572 66(63)×10 ⁻²⁷ erg s = 6.582 122 0(20)×10 ⁻²² MeV s	0.60 0.30
electron charge magnitude	e	4.803 206 8(15)×10 ⁻¹⁰ esu = 1.602 177 33(49)×10 ⁻¹⁹ coulomb	0.30 0.30
conversion constant	ħ c	197.327 053(59) MeV fm	0.30
conversion constant	(ħ c) ²	0.389 379 66(23) GeV ² mbarn	0.59
electron mass	m _e	0.510 998 946(15) MeV/c ² = 9.109 389 7(54)×10 ⁻²⁸ g	0.30, 0.59
proton mass	m _p	938.272 31(28) MeV/c ² = 1.672 623 1(10)×10 ⁻²⁴ g	0.30, 0.59
neutron mass	m _n	939.565 63(28) MeV/c ² = 1.674 928 6(10)×10 ⁻²⁴ g = 1.008 664 904(14) amu	0.30, 0.59 0.014
deuteron mass	m _d	1875.613 39(57) MeV/c ²	0.30
atomic mass unit (amu)	(mass C ¹² atom)/12 = (1 g)/N _A	931.494 32(28) MeV/c ² = 1.660 540 2(10)×10 ⁻²⁴ g	0.30, 0.59
electron charge to mass ratio	e/m _e	5.272 808 6(16)×10 ¹⁷ esu g ⁻¹ = 1.758 819 62(53)×10 ⁸ coulomb g ⁻¹	0.30 0.30
quantum of magnetic flux	h/e	4.135 669 2(12)×10 ⁻¹⁵ joule s coulomb ⁻¹	0.30
Josephson frequency-voltage ratio	2e/h	4.835 976 7(14)×10 ¹⁴ cycles s ⁻¹ V ⁻¹	0.30
Faraday constant	F	9.648 530 9(29)×10 ⁴ coulomb mol ⁻¹	0.30
fine-structure constant	α = e ² /ħ c	1/137.035 989 5(61)	0.045
classical electron radius	r _e = e ² /m _e c ²	2.817 940 92(38) fm	0.13
electron Compton wavelength	λ _e = ħ/m _e c = r _e α ⁻¹	3.861 593 23(35)×10 ⁻¹¹ cm	0.089
proton Compton wavelength	λ _p = ħ/m _p c	2.103 089 37(19)×10 ⁻¹⁴ cm	0.089
neutron Compton wavelength	λ _n = ħ/m _n c	2.100 194 45(19)×10 ⁻¹⁴ cm	0.089
Bohr radius (m _{nucleus} = ∞)	α ₋ = ħ ² /m _e e ² = r _e α ⁻²	0.529 177 249(24)×10 ⁻⁸ cm	0.045
Rydberg energy	hcR _∞ = m _e e ⁴ /2ħ ² = m _e c ² α ² /2	13.605 698 1(40) eV	0.30
Thomson cross section	σ _T = 8πr _e ² /3	0.665 246 16(18) barn	0.27
Bohr magneton	μ _B = eħ/2m _e c	5.788 382 63(52)×10 ⁻¹⁵ MeV gauss ⁻¹	0.089
nuclear magneton	μ _N = eħ/2m _p c	3.152 451 66(28)×10 ⁻¹⁶ MeV gauss ⁻¹	0.089
electron cyclotron frequency/field	ω _{cycl} ^e /B = e/m _e c	1.758 819 62(53)×10 ⁷ radian s ⁻¹ gauss ⁻¹	0.30
proton cyclotron frequency/field	ω _{cycl} ^p /B = e/m _p c	9.578 830 9(29)×10 ³ radian s ⁻¹ gauss ⁻¹	0.30
gravitational constant	G _N	6.672 59(85)×10 ⁻⁸ cm ³ g ⁻¹ s ⁻²	128
grav. acceleration, sea level, 45° lat.	g	980.665 cm s ⁻²	0
Fermi coupling constant	G _F /(ħ c) ³	1.166 39(2)×10 ⁻⁵ GeV ⁻²	20
Avogadro number	N _A	6.022 136 7(36)×10 ²³ mol ⁻¹	0.59
molar gas constant, ideal gas at STP	R	8.314 510(70)×10 ⁷ erg mol ⁻¹ K ⁻¹	8.4
Boltzmann constant	k	1.380 658(12)×10 ⁻¹⁶ erg K ⁻¹ = 8.617 385(73)×10 ⁻⁵ eV K ⁻¹	8.5 8.4
molar volume, ideal gas at STP	N _A k(273.15 K)/(atmosphere)	22 414.10(19) cm ³ mol ⁻¹	8.4
Stefan-Boltzmann constant	σ = π ² k ⁴ /60ħ ³ c ²	5.670 51(19)×10 ⁻⁵ erg s ⁻¹ cm ⁻² K ⁻⁴	34
first radiation constant	2πħc ²	3.741 774 9(22)×10 ⁻⁵ erg cm ² s ⁻¹	0.60
second radiation constant	hc/k	1.438 769(12) cm K	8.4



Standards für Elektronenenergien
Electron Energy Standards

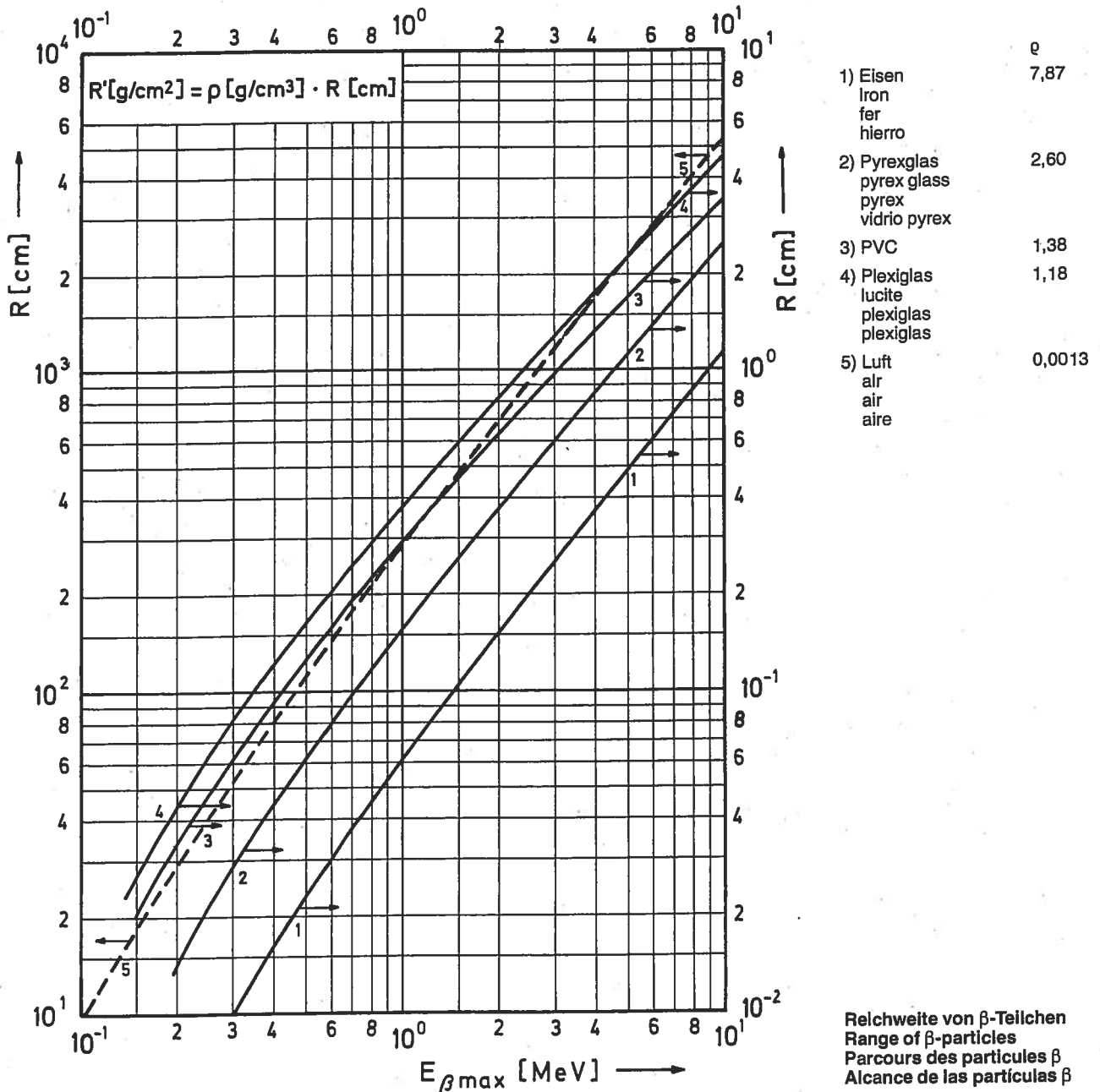
Valeurs de référence pour les énergies des électrons
Patrones para energías de electrones

Ref.: D. C. Kocher, Report DOE/TIC-11026 (1981)

Nuklid	E_{β^-} [keV]*	I_{abs} [%]*	Nuklid	E_{β^-} [keV]*	I_{abs} [%]*	Nuklid	E_{β^-} [keV]*	I_{abs} [%]*
^{199}Au	34,986 (7)	2,92 (14)	^{192}Ir	217,5634 (8)	1,924 (14)	$^{137}\text{Cs}/$	624,208 (5)	7,64 (55)
	75,273 (7)	10,9 (5)		^{137}Ba	655,660 (5)		1,38 (50)	
	125,099 (7)	6,4 (3)		^{60}Co	238,1131 (8)	4,47 (14)	1164,906 (4)	~ 0,015
	143,536 (7)	17,0 (8)			302,6280 (5)	1,95 (6)	1324,170 (5)	~ 0,011
	154,813 (7)	4,38 (19)			389,6767 (8)	1,02 (4)		
^{203}Hg	193,659 (5)	16,9 (8)	^{207}Bi	481,665 (20)	1,55 (5)	$^{212}\text{Bi}/$	24,510 (5)	
	263,842 (5)	4,35 (13)		553,809 (20)	0,435 (13)	$^{212}\text{Pb}/$	36,153 (5)	
	275,485 (5)	1,06 (3)		975,615 (20)	7,04 (23)	^{208}Tl	148,099 (6)	
$^{198\text{g}}\text{Au}$	328,7021 (9)	2,87 (9)		1047,759 (20)	1,78 (6)		222,238 (6)	
	396,9651 (11)	1,02 (3)		1059,769 (20)	0,587 (8)		2526,66 (10)	

* Die Zahlen in Klammern sind die Standardabweichungen.
 The standard deviations are listed in parentheses.

Les nombres entre parenthèses indiquent les écarts-types.
 Los números entre paréntesis indican las desviaciones standard.



Rh 102.90550 1.12x10 ⁻⁴ %	Rh94 70.6 s (3+)	Rh95 5.02 m (9/2)+ *	Rh96 9.90 m 6+	Rh97 30.7 m (9/2)+ *	Rh98 8.7 m (2)+	Rh99 16.1 d (1/2-)	Rh100 20.8 h 1-	Rh101 3.3 y 1/2- *	Rh102 207 d (1-2-)	Rh103 1/2- *	Rh104 42.3 s 1+	Rh105 35.36 h 7/2+ *	Rh106 29.80 s 1+	Rh107 21.7 m 7/2+ *	Rh108 6.0 m (5+)	Rh109 80 s 7/2+ *	
Ru91 9 s (9/2+)	Ru92 3.65 m 0+	Ru93 59.7 s (9/2)+ *	Ru94 51.8 m 0+	Ru95 1.643 h 5/2+	Ru96 2.9 d 5/2+	Ru97 2.9 d 5/2+	Ru98 0+	Ru99 5/2+ *	Ru100 0+	Ru101 5/2+ *	Ru102 0+	Ru103 39.26 d 3/2+ *	Ru104 4.44 h 3/2+	Ru105 373.59 d 0+	Ru106 3.75 m (5/2)+ *	Ru107 3.75 m (5/2)+ *	Ru108 4.55 m 0+
Tc90 8.7 s 1+	Tc91 3.14 m (9/2)+ *	Tc92 4.23 m (8+)	Tc93 2.75 h 9/2+ *	Tc94 293 m 7+	Tc95 20.0 h 9/2+ *	Tc96 4.28 d 7+	Tc97 2.66 y 9/2+ *	Tc98 4.2E+6 y (6)+	Tc99 2.11E+5 y 9/2+ *	Tc100 15.8 s 1+	Tc101 14.22 m (9/2)+ *	Tc102 5.28 s 1+	Tc103 54.2 s 5/2+	Tc104 18.3 m (3+)	Tc105 7.6 m (3/2-)	Tc106 35.6 s (1,2)	Tc107 21.2 s
Mo89 2.04 m (9/2+)	Mo90 5.67 h 0+	Mo91 15.49 m 9/2+ *	Mo92 0+	Mo93 4.0E+3 y 5/2+ *	Mo94 0+	Mo95 5/2+ *	Mo96 0+	Mo97 5/2+ *	Mo98 0+	Mo99 65.94 h 1/2+	Mo100 0+	Mo101 14.61 m 1/2+	Mo102 11.3 m 0+	Mo103 67.5 s (3/2+)	Mo104 60 s 0+	Mo105 35.6 s (5/2-)	Mo106 8.4 s 0+
Nb88 1.45 m (8+)	Nb89 1.9 h (9/2+)	Nb90 14.60 h 8+	Nb91 680 y 9/2+ *	Nb92 3.47E+7 y (7)+ *	Nb93 9/2+ *	Nb94 2.03E+4 y (6)+ *	Nb95 34.975 d 9/2+ *	Nb96 23.35 h 6+	Nb97 72.1 m 9/2+ *	Nb98 2.86 s 1+	Nb99 15.0 s 9/2+ *	Nb100 1.5 s 1+	Nb101 71.1 s +	Nb102 1.3 s 1+	Nb103 1.5 s (5/2+)	Nb104 4.8 s (1+)	Nb105 2.95 s (5/2+)
Zr87 1.68 h (9/2)+ *	Zr88 83.4 d 0+	Zr89 78.41 h 9/2+ *	Zr90 51AaLE 0+	Zr91 5/2+ *	Zr92 0+	Zr93 1.53E+6 y 5/2+ *	Zr94 0+	Zr95 64.02 d 5/2+	Zr96 1E16 y 0+	Zr97 16.91 h 1/2+	Zr98 30.7 s 0+	Zr99 2.1 s 1/2+	Zr100 71.1 s 0+	Zr101 2.1 s (3/2+)	Zr102 2.9 s 0+	Zr103 1.3 s (5/2)	Zr104 1.2 s 0+
Y86 14.74 h +	Y87 79.8 h 1/2- *	Y88 106.65 d +	Y89 1/2- *	Y90 64.10 h 2-	Y91 58.51 d 1/2- *	Y92 3.54 h 2-	Y93 10.18 h 1/2- *	Y94 18.7 m 2-	Y95 10.3 m 1/2-	Y96 5.34 s 0-	Y97 3.75 s (1/2-)	Y98 0.548 s (0-)	Y99 1.470 s 5/2+	Y100 735 ms 1-2- *	Y101 448 ms (5/2+)	Y102 0.36 s	
Sr85 64.84 d 9/2+ *	Sr86 9.86 0+	Sr87 7.00 9/2+ *	Sr88 0+	Sr89 50.53 d 5/2+ *	Sr90 28.78 y 0+	Sr91 9.63 h 5/2+	Sr92 2.71 h 0+	Sr93 7.423 m 5/2+	Sr94 75.3 s 0+	Sr95 23.90 s 1/2+	Sr96 1.07 s 0+	Sr97 426 ms 1/2+	Sr98 0.653 s 0+	Sr99 0.269 s 3/2+	Sr100 202 ms 0+	Sr101 118 ms (5/2)	Sr102 69 ms 0+
Rb84 32.77 d 2-	Rb85 5/2- *	Rb86 18.631 d 2-	Rb87 4.75E10 y 3/2- *	Rb88 17.78 m 2-	Rb89 15.15 m 3/2-	Rb90 158 s 0-	Rb91 58.4 s 3/2(-)	Rb92 4.492 s 0-	Rb93 5.84 s 5/2-	Rb94 2.702 s 3(-)	Rb95 377.5 ms 5/2-	Rb96 0.199 s 2+	Rb97 169.9 ms 3/2(+)	Rb98 114 ms (1,0)	Rb99 59 ms (5/2+)	Rb100 51 ms	Rb101 32 ms
Kr83 9/2+ *	Kr84 0+	Kr85 10.756 y 9/2+ *	Kr86 0+	Kr87 76.3 m 5/2+ *	Kr88 2.84 h 0+	Kr89 3.15 m (3/2+5/2+)	Kr90 32.32 s 0+	Kr91 8.57 s (5/2+)	Kr92 1.840 s 0+	Kr93 1.286 s (1/2+)	Kr94 0.20 s 0+	Kr95 0.78 s					
Br82 35.30 h 5-	Br83 2.40 h 3/2- *	Br84 31.80 m 2-	Br85 2.90 m 3/2-	Br86 55.1 s (2-)	Br87 55.60 s 3/2-	Br88 16.5 s (1,2-)	Br89 4.40 s (3/2-5/2-)	Br90 1.92 s	Br91 0.541 s	Br92 0.343 s (2-)	Br93 102 ms (5/2-)	Br94 70 ms					

ALKUAINTEIDEN JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIII	IB	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	O
----	-----	------	-----	----	-----	------	------	----	------	-----	----	-----	-------	---

①	¹ H 1,008													² He 4,003					
②	³ Li 6,941	⁴ Be 9,012													⁹ F 19,00	¹⁰ Ne 20,18			
③	¹¹ Na 22,99	¹² Mg 24,31													¹⁴ Si 28,09	¹⁵ P 30,97	¹⁶ S 32,06	¹⁷ Cl 35,45	¹⁸ Ar 39,95
④	¹⁹ K 39,10	²⁰ Ca 40,08	²¹ Sc 44,96	²² Ti 47,90	²³ V 50,94	²⁴ Cr 52,00	²⁵ Mn 54,94	²⁶ Fe 55,85	²⁷ Co 58,93	²⁸ Ni 58,70	²⁹ Cu 63,55	³⁰ Zn 65,38	³¹ Ga 69,72	³² Ge 72,59	³³ As 74,92	³⁴ Se 78,98	³⁵ Br 79,90	³⁶ Kr 83,80	
⑤	³⁷ Rb 85,47	³⁸ Sr 87,62	³⁹ Y 88,91	⁴⁰ Zr 91,22	⁴¹ Nb 92,91	⁴² Mo 95,94	⁴³ Tc (97)	⁴⁴ Ru 101,1	⁴⁵ Rh 102,9	⁴⁶ Pd 106,4	⁴⁷ Ag 107,9	⁴⁸ Cd 112,4	⁴⁹ In 114,8	⁵⁰ Sn 118,7	⁵¹ Sb 121,8	⁵² Te 127,6	⁵³ I 126,9	⁵⁴ Xe 131,3	
⑥	⁵⁵ Cs 132,9	⁵⁶ Ba 137,3	⁵⁷ La 138,9	⁷² Hf 178,5	⁷³ Ta 180,9	⁷⁴ W 183,9	⁷⁵ Re 186,2	⁷⁶ Os 190,2	⁷⁷ Ir 192,2	⁷⁸ Pt 195,1	⁷⁹ Au 197,0	⁸⁰ Hg 200,6	⁸¹ Tl 204,4	⁸² Pb 207,2	⁸³ Bi 209,0	⁸⁴ Po (209)	⁸⁵ At (210)	⁸⁶ Rn (222)	
⑦	⁸⁷ Fr (223)	⁸⁸ Ra 226,0	⁸⁹ Ac (227)	¹⁰⁴ Ku (261)	¹⁰⁵ Ha (282)	108 (263)	107												

⁵⁶ Ce 140,1	⁵⁹ Pr 140,9	⁶⁰ Nd 144,2	⁶¹ Pm (145)	⁶² Sm 150,4	⁶³ Eu 152,0	⁶⁴ Gd 157,3	⁶⁵ Tb 158,9	⁶⁸ Dy 182,5	⁶⁷ Ho 184,9	⁶⁸ Er 187,3	⁶⁹ Tm 188,9	⁷⁰ Yb 173,0	⁷¹ Lu 175,0
⁹⁰ Th 232,0	⁹¹ Pa 231,0	⁹² U 238,0	⁹³ Np 237,0	⁹⁴ Pu (244)	⁹⁵ Am (243)	⁹⁶ Cm (247)	⁹⁷ Bk (247)	⁹⁸ Cf (251)	⁹⁹ Es (254)	¹⁰⁰ Fm (257)	¹⁰¹ Md (258)	¹⁰² No (259)	¹⁰³ Lr (260)