

YDINFYSIIKKA I (FYSN300) – loppukoe 6.5.2011

1. (a) Selvitä lyhyesti alla olevan semiempiirisen massakaavan eri termien fysikaalinen tausta.

$$M(Z, A)c^2 = [Z \cdot m(^1H) + N \cdot m_n]c^2 - a_v A + a_s A^{2/3} + a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} + a_{sym} \frac{(A-2Z)^2}{A} - \delta$$

(b) Mitä voit sanoa fission ja fuusion vapautuvasta energiasta semiempiirisen massakaavan perusteella.

(c) Täydennä seuraavat merkinnät:

- i) $^{22}\text{Na}(p, \quad)^{23}\text{Mg}$
- ii) $^{58}\text{Ni} + \quad \rightarrow ^{58}\text{Cu} + n$
- iii) $^{58}\text{Ni} + ^3\text{He} \rightarrow \quad + t$
- iv) $^{116}\text{Cd}(^{40}\text{Ar}, \quad)^{151}\text{Tb}$

2. (a) Eräessä puunäytteessä on ^{14}C ja ^{12}C atomien lukumäärien suhde kymmenesosa tuoreesta puusta otetun näytteen vastaavasta suhteesta. Laske vanhan näytteen ikä. Isotoopin ^{14}C puoliintumisaika on 5700 vuotta.

(b) Yksi gramma kobolttia on $10^{12} \text{ n/cm}^2\text{s}$ suuruudessa termisessä neutronivuossa 10 vuorokautta. Kuinka suuri on tuottonopeus ja mikä on ^{60}Co -aktiivisuus säteilytyksen päätyttyä? Termisten neutronien sieppausvaikutusala ^{59}Co :lle on 3700 fm^2 ja ^{59}Co :n moolimassa 58.933198 g/mol . Avogadron luku $N_A = 6.022045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. ^{60}Co puoliintumisaika on 5.272 vuotta.

3. (a) Käytössäsi on ^{137}Cs lähde, josta emittoituu 661 keV:n gammasäteilyä. (i) Mikä on lähteen gammasäteilyn todennäköisin vuorovaikutustapa lyijyssä ja piissä? (ii) Hahmottele hyvällä germanium-ilmaisimella mitattu ^{137}Cs :n gammaspektri.

(b) Oheinen kuva esittää ^{96}Sr -isotoopin β -hajoamista. Sen ja ^{96}Y -tytärytimen perustilan energiaero on 5.371 MeV. Tilojen viritysenenergiat on annettu keV-yksiköissä.

- i) Hahmottele ^{96}Sr :n β -spektri.
- ii) Merkitse ^{96}Y :n energiatasokaavioon γ -siirtymät ja niiden multipoolisuudet.
- iii) Arvioi 122 keV:n tilan elinikä.

4. (a) Määritä perustilan spin ja pariteetti I^π ytimille ^{102}Zr , ^{15}N , ^{57}Ni .

(b) Tarkastele ^{17}O ytimen alimpien tilojen $5/2^+$, $1/2^+$ ja $1/2^-$ mahdollista syntyperää kuorimallin avulla.

(c) ^{228}Th :n ($Z=90$) α -hajoamisessa ^{224}Ra ytimeksi suurin havaittava α -hiukkasen liike-energia on 5.42 MeV ja toiseksi suurin 5.34 MeV.

- i) Miksi ^{228}Th :n α -hajoaminen johtaa ^{224}Ra :n perustilalle?
- ii) Mikä on α -hajoamisen Q -arvo?
- iii) Laske ^{224}Ra :n alimman viritystilän energia.

5. (a) Liitteenä on osa nuklidikarttaa. Hahmottele s-prosessin kulku ^{89}Y -isotoopista ^{103}Rh -isotooppiin.
 (b) Mitkä stabiileista isotoopeista Y- ja Rh-isotooppien välissä (mukaan lukien Y- ja Rh-isotoopit) ovat peräisin:
 i) (i) vain s-prosessista
 ii) (ii) vain r-prosessista
 iii) (iii) p-prosessista?
 (c) Selitä lyhyesti PET - kuvausmenetelmä
 (d) Listaa lyhyesti ydinreaktorin neutronitalouteen vaikuttavia tekijöitä. Mainitse listauksen yhteydessä, kuinka kyseinen ilmiö vaikuttaa neutronitalouteen.

Taustatietoja:

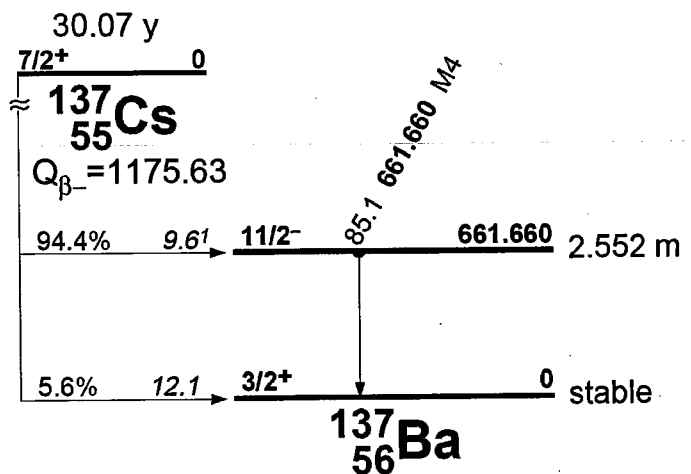
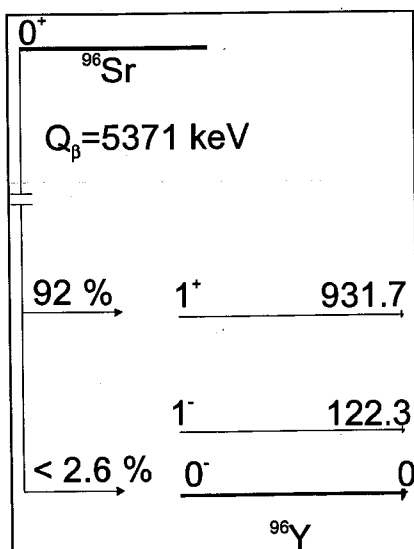
Massoja: $m(n) = 1.008665 \text{ u}$
 $m(p) = 1.007277 \text{ u}$
 $m(d) = 2.013553 \text{ u}$
 $m(\alpha) = 4.001507 \text{ u}$
 $m(^{235}\text{U}) = 235.043924 \text{ u}$
 $m(^{236}\text{U}) = 236.045563 \text{ u}$
 $m(^{238}\text{U}) = 238.050941 \text{ u}$
 $m(^{239}\text{U}) = 239.054290 \text{ u}$
 $m(^{91}\text{Kr}) = 90.9232 \text{ u}, m(^A\text{X}) = 141.9165 \text{ u}$

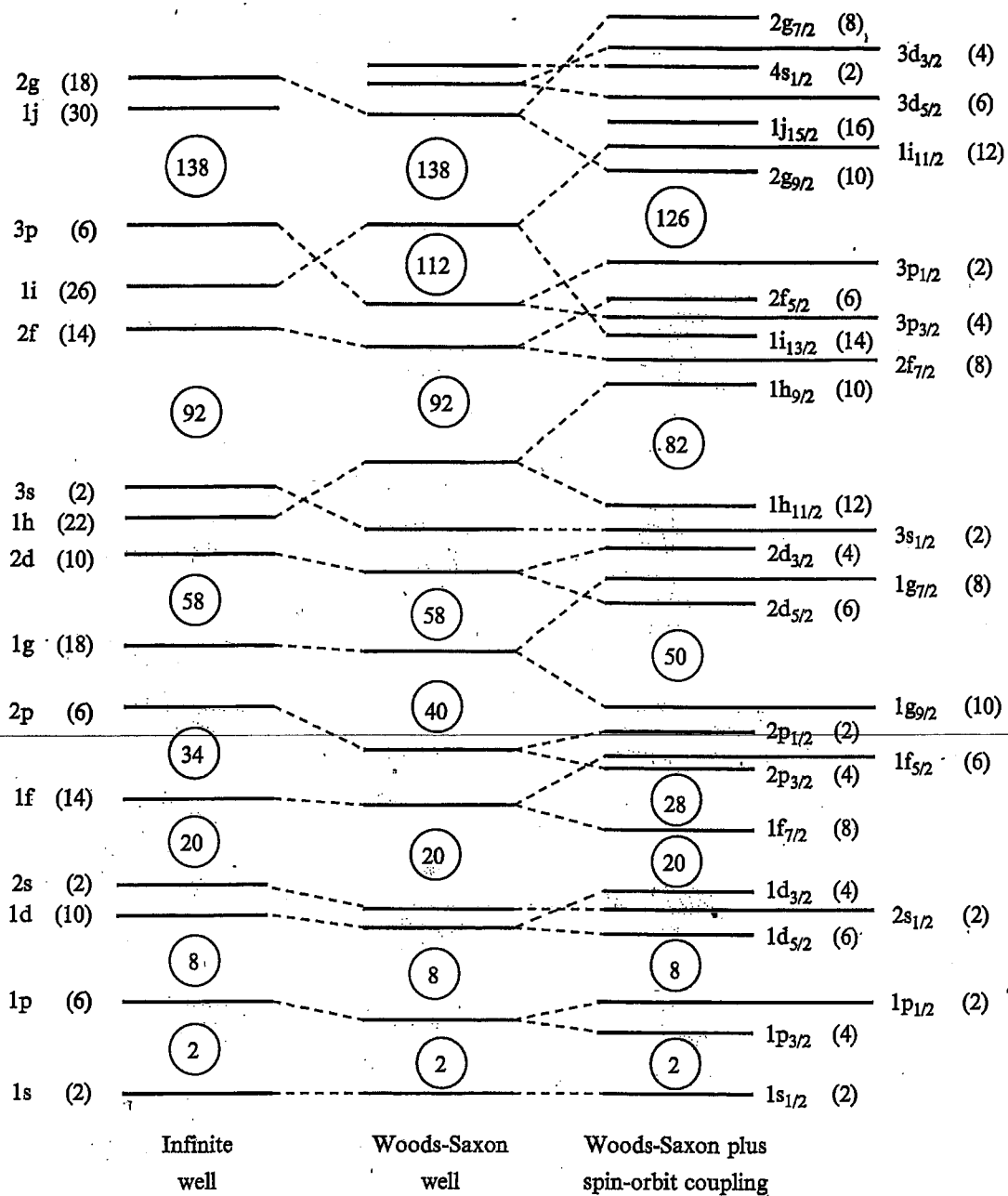
Avogadron luku $N_A = 6.022045 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

$r = r_0 A^{1/3}$, missä $r_0 = 1.2 \text{ fm}$

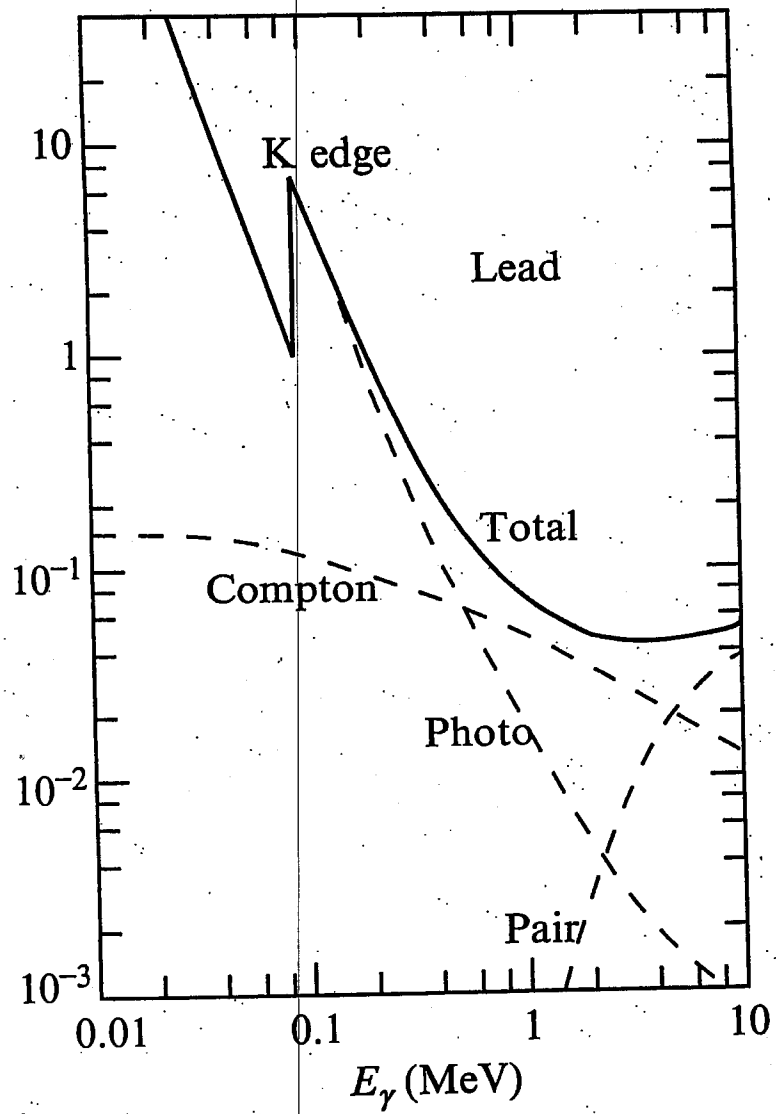
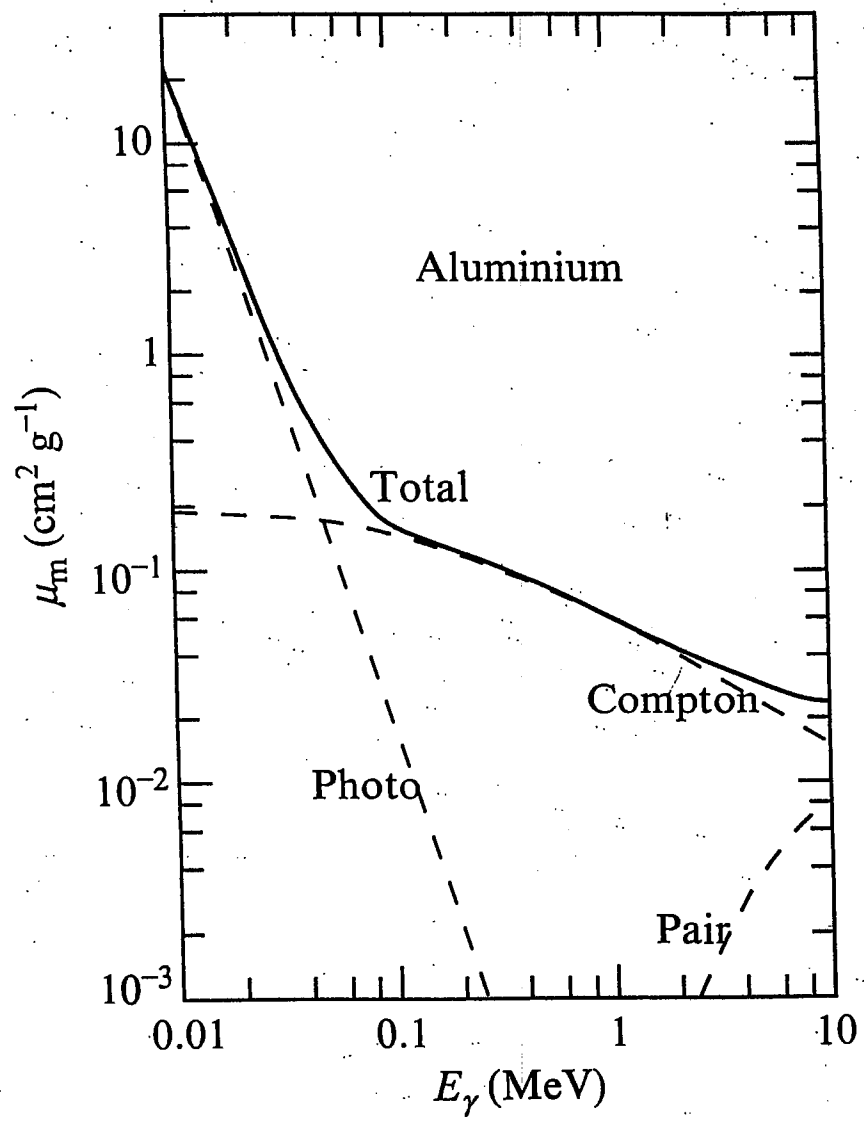
Weisskopfin arviot $\{[\lambda] = \text{s}^{-1}, [E] = \text{MeV}\}$:

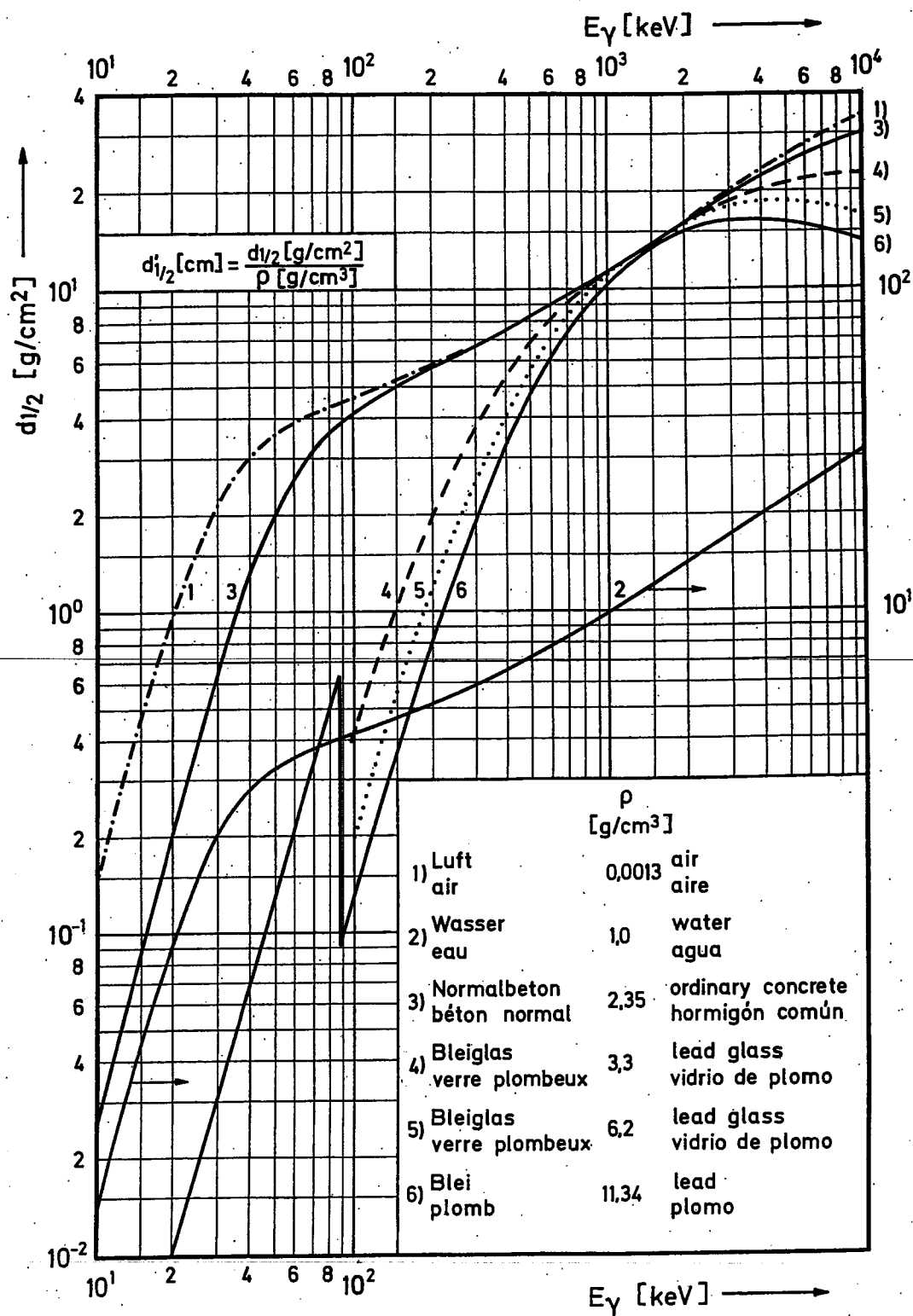
$\lambda(E1) = 1.0e14 A^{2/3} E^3$	$\lambda(M1) = 5.6e13 E^3$
$\lambda(E2) = 7.3e7 A^{4/3} E^5$	$\lambda(M2) = 3.5e7 A^{2/3} E^5$
$\lambda(E3) = 3.4 A^2 E^7$	$\lambda(M3) = 16 A^{4/3} E^7$
$\lambda(E4) = 1.1e-5 A^{8/3} E^9$	$\lambda(M4) = 4.5e-6 A^2 E^9$





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	$\hbar = h/2\pi$	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	$\hbar c$	197.327 053(59) MeV fm	0.30
conversion constant	$(\hbar c)^2$	0.389 379 66(23) GeV ² mbarn	0.59
electron mass	m_e	0.510 999 06(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 83(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	$\alpha = e^2/\hbar c$	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	$\lambda_e = \hbar/m_e c = r_e \alpha^{-1}$	3.861 593 23(35)×10 ⁻¹¹ cm	0.089
proton Compton wavelength	$\lambda_p = \hbar/m_p c$	2.103 089 37(19)×10 ⁻¹⁴ cm	0.089
neutron Compton wavelength	$\lambda_n = \hbar/m_n c$	2.100 194 45(19)×10 ⁻¹⁴ cm	0.089
Bohr radius ($m_{\text{nucleus}} = \infty$)	$a_0 = \hbar^2/m_e e^2 = r_e \alpha^{-2}$	0.529 177 249(24)×10 ⁻⁸ cm	0.045
Rydberg energy	$hcR_\infty = m_e e^4/2\hbar^2 = m_e c^2 \alpha^2/2$	13.605 698 1(40) eV	0.30
Thomson cross section	$\sigma_T = 8\pi r_e^2/3$	0.665 246 16(18) barn	0.27
Bohr magneton	$\mu_B = e\hbar/2m_e c$	5.788 382 63(52)×10 ⁻¹⁵ MeV gauss ⁻¹	0.089
nuclear magneton	$\mu_N = e\hbar/2m_p c$	3.152 451 66(28)×10 ⁻¹⁸ MeV gauss ⁻¹	0.089
electron cyclotron frequency/field	$\omega_{\text{cycl}}^e/B = e/m_e c$	1.758 819 62(53)×10 ⁷ radian s ⁻¹ gauss ⁻¹	0.30
proton cyclotron frequency/field	$\omega_{\text{cycl}}^p/B = e/m_p c$	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	$G_F/(\hbar c)^3$	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	$\sigma = \pi^2 k^4/60\hbar^3 c^2$	5.670 51(19)×10 ⁻⁵ erg s ⁻¹ cm ⁻² K ⁻⁴	34
first radiation constant	$2\pi\hbar c^2$	3.741 774 9(22)×10 ⁻⁸ erg cm ² s ⁻¹	0.60
second radiation constant	$\hbar c/k$	1.438 769(12) cm K	8.4





Halbwertsdicke für γ -Strahlen
 Half-thickness for γ -rays
 Couche de demi-absorption pour les rayons γ
 Espesor de semirreducción para rayos γ

Ref.: G. W. Grodstein, NBS 583 (1957)

Č. Dimitrijević, Praktische Berechnung der Abschirmung von radioaktiver und Röntgenstrahlung, Verlag Chemie, Weinheim, 1972

Standards für Elektronenenergien Electron Energy Standards

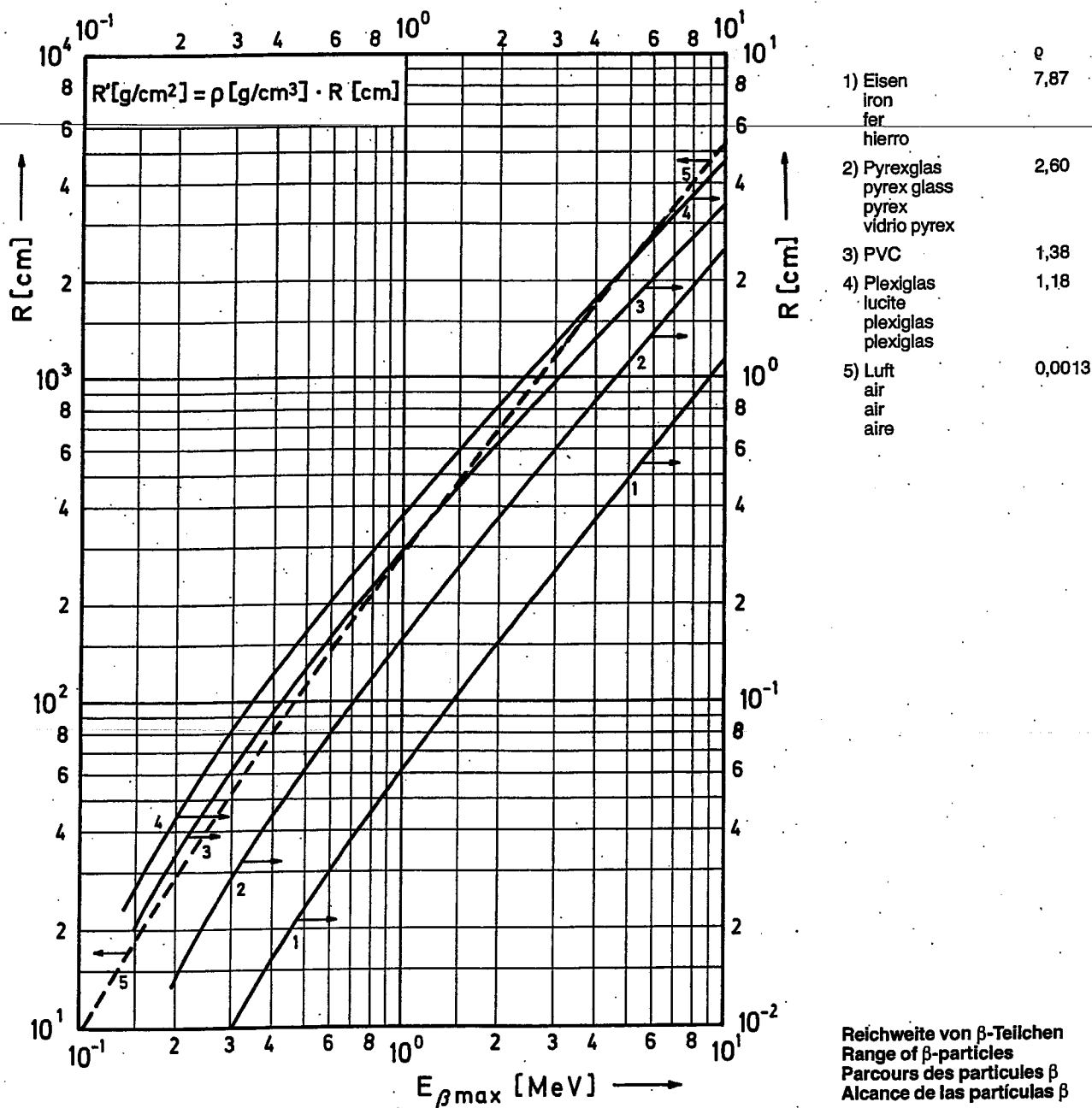
Valeurs de référence pour les énergies des électrons Patrones para energías de electrones

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)	¹⁸² Ir	217,5634 (8)	1,924 (14)	¹³⁷ Cs/ ¹³⁷ Ba	624,208 (5)	7,64 (55)
	75,273 (7)	10,9 (5)		230,0621 (8)	1,790 (25)		655,660 (5)	1,38 (50)
	125,099 (7)	6,4 (3)		238,1131 (8)	4,47 (14)	⁶⁰ Co	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 Bi/ ²¹² Pb/ ²⁰⁸ Tl	24,510 (5)	
	263,842 (5)	4,35 (13)		553,809 (20)	0,435 (13)		36,153 (5)	
	275,485 (5)	1,06 (3)		975,615 (20)	7,04 (23)		148,099 (6)	
				1047,759 (20)	1,78 (6)		222,238 (6)	
^{198g} Au	328,7021 (9)	2,87 (9)		1059,769 (20)	0,587 (8)		2526,66 (10)	
	396,9651 (11)	1,02 (3)						

* 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.



45	Rh 194+ 3695+ 102.90550 1.12x10 ⁻² %	Rh95 50m (92)+	Rh96 90m (92)+	Rh97 90m (92)+	Rh98 87m (92)+	Rh99 161d (92)+	Rh100 203h (92)+	Rh101 55h (92)+	Rh103 1/2- 100	Ru101 5/2+ 17.0	Ru102 0+ 31.6	Ru103 1/2- 100	Ru104 0+ 18.7	Ru105 1/2- 100	Ru106 1/2- 100	Ru107 1/2- 100	Ru108 1/2- 100	Ru109 1/2- 100	Ru110 1/2- 100	Ru111 1/2- 100	Ru112 1/2- 100	Ru113 1/2- 100	Ru114 1/2- 100	Ru115 1/2- 100	Ru116 1/2- 100	Ru117 1/2- 100	Ru118 1/2- 100	Ru119 1/2- 100	Ru120 1/2- 100	Ru121 1/2- 100	Ru122 1/2- 100	Ru123 1/2- 100	Ru124 1/2- 100	Ru125 1/2- 100	Ru126 1/2- 100	Ru127 1/2- 100	Ru128 1/2- 100	Ru129 1/2- 100	Ru130 1/2- 100	Ru131 1/2- 100	Ru132 1/2- 100	Ru133 1/2- 100	Ru134 1/2- 100	Ru135 1/2- 100	Ru136 1/2- 100	Ru137 1/2- 100	Ru138 1/2- 100	Ru139 1/2- 100	Ru140 1/2- 100	Ru141 1/2- 100	Ru142 1/2- 100	Ru143 1/2- 100	Ru144 1/2- 100	Ru145 1/2- 100	Ru146 1/2- 100	Ru147 1/2- 100	Ru148 1/2- 100	Ru149 1/2- 100	Ru150 1/2- 100	Ru151 1/2- 100	Ru152 1/2- 100	Ru153 1/2- 100	Ru154 1/2- 100	Ru155 1/2- 100	Ru156 1/2- 100	Ru157 1/2- 100	Ru158 1/2- 100	Ru159 1/2- 100	Ru160 1/2- 100	Ru161 1/2- 100	Ru162 1/2- 100	Ru163 1/2- 100	Ru164 1/2- 100	Ru165 1/2- 100	Ru166 1/2- 100	Ru167 1/2- 100	Ru168 1/2- 100	Ru169 1/2- 100	Ru170 1/2- 100	Ru171 1/2- 100	Ru172 1/2- 100	Ru173 1/2- 100	Ru174 1/2- 100	Ru175 1/2- 100	Ru176 1/2- 100	Ru177 1/2- 100	Ru178 1/2- 100	Ru179 1/2- 100	Ru180 1/2- 100	Ru181 1/2- 100	Ru182 1/2- 100	Ru183 1/2- 100	Ru184 1/2- 100	Ru185 1/2- 100	Ru186 1/2- 100	Ru187 1/2- 100	Ru188 1/2- 100	Ru189 1/2- 100	Ru190 1/2- 100	Ru191 1/2- 100	Ru192 1/2- 100	Ru193 1/2- 100	Ru194 1/2- 100	Ru195 1/2- 100	Ru196 1/2- 100	Ru197 1/2- 100	Ru198 1/2- 100	Ru199 1/2- 100	Ru200 1/2- 100	Ru201 1/2- 100	Ru202 1/2- 100	Ru203 1/2- 100	Ru204 1/2- 100	Ru205 1/2- 100	Ru206 1/2- 100	Ru207 1/2- 100	Ru208 1/2- 100	Ru209 1/2- 100	Ru210 1/2- 100	Ru211 1/2- 100	Ru212 1/2- 100	Ru213 1/2- 100	Ru214 1/2- 100	Ru215 1/2- 100	Ru216 1/2- 100	Ru217 1/2- 100	Ru218 1/2- 100	Ru219 1/2- 100	Ru220 1/2- 100	Ru221 1/2- 100	Ru222 1/2- 100	Ru223 1/2- 100	Ru224 1/2- 100	Ru225 1/2- 100	Ru226 1/2- 100	Ru227 1/2- 100	Ru228 1/2- 100	Ru229 1/2- 100	Ru230 1/2- 100	Ru231 1/2- 100	Ru232 1/2- 100	Ru233 1/2- 100	Ru234 1/2- 100	Ru235 1/2- 100	Ru236 1/2- 100	Ru237 1/2- 100	Ru238 1/2- 100	Ru239 1/2- 100	Ru240 1/2- 100	Ru241 1/2- 100	Ru242 1/2- 100	Ru243 1/2- 100	Ru244 1/2- 100	Ru245 1/2- 100	Ru246 1/2- 100	Ru247 1/2- 100	Ru248 1/2- 100	Ru249 1/2- 100	Ru250 1/2- 100	Ru251 1/2- 100	Ru252 1/2- 100	Ru253 1/2- 100	Ru254 1/2- 100	Ru255 1/2- 100	Ru256 1/2- 100	Ru257 1/2- 100	Ru258 1/2- 100	Ru259 1/2- 100	Ru260 1/2- 100	Ru261 1/2- 100	Ru262 1/2- 100	Ru263 1/2- 100	Ru264 1/2- 100	Ru265 1/2- 100	Ru266 1/2- 100	Ru267 1/2- 100	Ru268 1/2- 100	Ru269 1/2- 100	Ru270 1/2- 100	Ru271 1/2- 100	Ru272 1/2- 100	Ru273 1/2- 100	Ru274 1/2- 100	Ru275 1/2- 100	Ru276 1/2- 100	Ru277 1/2- 100	Ru278 1/2- 100	Ru279 1/2- 100	Ru280 1/2- 100	Ru281 1/2- 100	Ru282 1/2- 100	Ru283 1/2- 100	Ru284 1/2- 100	Ru285 1/2- 100	Ru286 1/2- 100	Ru287 1/2- 100	Ru288 1/2- 100	Ru289 1/2- 100	Ru290 1/2- 100	Ru291 1/2- 100	Ru292 1/2- 100	Ru293 1/2- 100	Ru294 1/2- 100	Ru295 1/2- 100	Ru296 1/2- 100	Ru297 1/2- 100	Ru298 1/2- 100	Ru299 1/2- 100	Ru300 1/2- 100	Ru301 1/2- 100	Ru302 1/2- 100	Ru303 1/2- 100	Ru304 1/2- 100	Ru305 1/2- 100	Ru306 1/2- 100	Ru307 1/2- 100	Ru308 1/2- 100	Ru309 1/2- 100	Ru310 1/2- 100	Ru311 1/2- 100	Ru312 1/2- 100	Ru313 1/2- 100	Ru314 1/2- 100	Ru315 1/2- 100	Ru316 1/2- 100	Ru317 1/2- 100	Ru318 1/2- 100	Ru319 1/2- 100	Ru320 1/2- 100	Ru321 1/2- 100	Ru322 1/2- 100	Ru323 1/2- 100	Ru324 1/2- 100	Ru325 1/2- 100	Ru326 1/2- 100	Ru327 1/2- 100	Ru328 1/2- 100	Ru329 1/2- 100	Ru330 1/2- 100	Ru331 1/2- 100	Ru332 1/2- 100	Ru333 1/2- 100	Ru334 1/2- 100	Ru335 1/2- 100	Ru336 1/2- 100	Ru337 1/2- 100	Ru338 1/2- 100	Ru339 1/2- 100	Ru340 1/2- 100	Ru341 1/2- 100	Ru342 1/2- 100	Ru343 1/2- 100	Ru344 1/2- 100	Ru345 1/2- 100	Ru346 1/2- 100	Ru347 1/2- 100	Ru348 1/2- 100	Ru349 1/2- 100	Ru350 1/2- 100	Ru351 1/2- 100	Ru352 1/2- 100	Ru353 1/2- 100	Ru354 1/2- 100	Ru355 1/2- 100	Ru356 1/2- 100	Ru357 1/2- 100	Ru358 1/2- 100	Ru359 1/2- 100	Ru360 1/2- 100	Ru361 1/2- 100	Ru362 1/2- 100	Ru363 1/2- 100	Ru364 1/2- 100	Ru365 1/2- 100	Ru366 1/2- 100	Ru367 1/2- 100	Ru368 1/2- 100	Ru369 1/2- 100	Ru370 1/2- 100	Ru371 1/2- 100	Ru372 1/2- 100	Ru373 1/2- 100	Ru374 1/2- 100	Ru375 1/2- 100	Ru376 1/2- 100	Ru377 1/2- 100	Ru378 1/2- 100	Ru379 1/2- 100	Ru380 1/2- 100	Ru381 1/2- 100	Ru382 1/2- 100	Ru383 1/2- 100	Ru384 1/2- 100	Ru385 1/2- 100	Ru386 1/2- 100	Ru387 1/2- 100	Ru388 1/2- 100	Ru389 1/2- 100	Ru390 1/2- 100	Ru391 1/2- 100	Ru392 1/2- 100	Ru393 1/2- 100	Ru394 1/2- 100	Ru395 1/2- 100	Ru396 1/2- 100	Ru397 1/2- 100	Ru398 1/2- 100	Ru399 1/2- 100	Ru400 1/2- 100	Ru401 1/2- 100	Ru402 1/2- 100	Ru403 1/2- 100	Ru404 1/2- 100	Ru405 1/2- 100	Ru406 1/2- 100	Ru407 1/2- 100	Ru408 1/2- 100	Ru409 1/2- 100	Ru410 1/2- 100	Ru411 1/2- 100	Ru412 1/2- 100	Ru413 1/2- 100	Ru414 1/2- 100	Ru415 1/2- 100	Ru416 1/2- 100	Ru417 1/2- 100	Ru418 1/2- 100	Ru419 1/2- 100	Ru420 1/2- 100	Ru421 1/2- 100	Ru422 1/2- 100	Ru423 1/2- 100	Ru424 1/2- 100	Ru425 1/2- 100	Ru426 1/2- 100	Ru427 1/2- 100	Ru428 1/2- 100	Ru429 1/2- 100	Ru430 1/2- 100	Ru431 1/2- 100	Ru432 1/2- 100	Ru433 1/2- 100	Ru434 1/2- 100	Ru435 1/2- 100	Ru436 1/2- 100	Ru437 1/2- 100	Ru438 1/2- 100	Ru439 1/2- 100	Ru440 1/2- 100	Ru441 1/2- 100	Ru442 1/2- 100	Ru443 1/2- 100	Ru444 1/2- 100	Ru445 1/2- 100	Ru446 1/2- 100	Ru447 1/2- 100	Ru448 1/2- 100	Ru449 1/2- 100	Ru450 1/2- 100	Ru451 1/2- 100	Ru452 1/2- 100	Ru453 1/2- 100	Ru454 1/2- 100	Ru455 1/2- 100	Ru456 1/2- 100	Ru457 1/2- 100	Ru458 1/2- 100	Ru459 1/2- 100	Ru460 1/2- 100	Ru461 1/2- 100	Ru462 1/2- 100	Ru463 1/2- 100	Ru464 1/2- 100	Ru465 1/2- 100	Ru466 1/2- 100	Ru467 1/2- 100	Ru468 1/2- 100	Ru469 1/2- 100	Ru470 1/2- 100	Ru471 1/2- 100	Ru472 1/2- 100	Ru473 1/2- 100	Ru474 1/2- 100	Ru475 1/2- 100	Ru476 1/2- 100	Ru477 1/2- 100	Ru478 1/2- 100	Ru479 1/2- 100	Ru480 1/2- 100	Ru481 1/2- 100	Ru482 1/2- 100	Ru483 1/2- 100	Ru484 1/2- 100	Ru485 1/2- 100	Ru486 1/2- 100	Ru487 1/2- 100	Ru488 1/2- 100	Ru489 1/2- 100	Ru490 1/2- 100	Ru491 1/2- 100	Ru492 1/2- 100	Ru493 1/2- 100	Ru494 1/2- 100	Ru495 1/2- 100	Ru496 1/2- 100	Ru497 1/2- 100	Ru498 1/2- 100	Ru499 1/2- 100	Ru500 1/2- 100	Ru501 1/2- 100	Ru502 1/2- 100	Ru503 1/2- 100	Ru504 1/2- 100	Ru505 1/2- 100	Ru506 1/2- 100	Ru507 1/2- 100	Ru508 1/2- 100	Ru509 1/2- 100	Ru510 1/2- 100	Ru511 1/2- 100	Ru512 1/2- 100	Ru513 1/2- 100	Ru514 1/2- 100	Ru515 1/2- 100	Ru516 1/2- 100	Ru517 1/2- 100	Ru518 1/2- 100	Ru519 1/2- 100	Ru520 1/2- 100	Ru521 1/2- 100	Ru522 1/2- 100	Ru523 1/2- 100	Ru524 1/2- 100	Ru525 1/2- 100	Ru526 1/2- 100	Ru527 1/2- 100	Ru528 1/2- 100	Ru529 1/2- 100	Ru530 1/2- 100	Ru531 1/2- 100	Ru532 1/2- 100	Ru533 1/2- 100	Ru534 1/2- 100	Ru535 1/2- 100	Ru536 1/2- 100	Ru537 1/2- 100	Ru538 1/2- 100	Ru539 1/2- 100	Ru540 1/2- 100	Ru541 1/2- 100	Ru542 1/2- 100	Ru543 1/2- 100	Ru544 1/2- 100	Ru545 1/2- 100	Ru546 1/2- 100	Ru547 1/2- 100	Ru548 1/2- 100	Ru549 1/2- 100	Ru550 1/2- 100	Ru551 1/2- 100	Ru552 1/2- 100	Ru553 1/2- 100	Ru554 1/2- 100	Ru555 1/2- 100	Ru556 1/2- 100	Ru557 1/2- 100	Ru558 1/2- 100	Ru559 1/2- 100	Ru560 1/2- 100	Ru561 1/2- 100	Ru562 1/2- 100	Ru563 1/2- 100	Ru564 1/2- 100	Ru565 1/2- 100	Ru566 1/2- 100	Ru567 1/2- 100	Ru568 1/2- 100	Ru569 1/2- 100	Ru570 1/2- 100	Ru571 1/2- 100	Ru572 1/2- 100	Ru573 1/2- 100	Ru574 1/2- 100	Ru575 1/2- 100	Ru576 1/2- 100	Ru577 1/2- 100	Ru578 1/2- 100	Ru579 1/2- 100	Ru580 1/2- 100	Ru581 1/2- 100	Ru582 1/2- 100	Ru583 1/2- 100	Ru584 1/2- 100	Ru585 1/2- 100	Ru586 1/2- 100	Ru587 1/2- 100	Ru588 1/2- 100	Ru589 1/2- 100	Ru590 1/2- 100	Ru591 1/2- 100	Ru592 1/2- 100	Ru593 1/2- 100	Ru594 1/2- 100	Ru595 1/2- 100	Ru596 1/2- 100	Ru597 1/2- 100	Ru598 1/2- 100	Ru599 1/2- 100	Ru600 1/2- 100	Ru601 1/2- 100	Ru602 1/2- 100	Ru603 1/2- 100	Ru604 1/2- 100	Ru605 1/2- 100	Ru606 1/2- 100	Ru607 1/2- 100	Ru608 1/2- 100	Ru609 1/2- 100	Ru610 1/2- 100	Ru611 1/2- 100	Ru612 1/2- 100	Ru613 1/2- 100	Ru614 1/2- 100	Ru615 1/2- 100	Ru616 1/2- 100	Ru617 1/2- 100	Ru618 1/2- 100	Ru619 1/2- 100	Ru620 1/2- 100	Ru621 1/2- 100	Ru622 1/2- 100	Ru623 1/2- 100	Ru624 1/2- 100	Ru625 1/2- 100	Ru626 1/2- 100	Ru627 1/2- 100	Ru628 1/2- 100	Ru629 1/2- 100	Ru630 1/2- 100	Ru631 1/2- 100	Ru632 1/2- 100	Ru633 1/2- 100	Ru634 1/2- 100	Ru635 1/2- 100	Ru636 1/2- 100	Ru637 1/2- 100	Ru638 1/2- 100	Ru639 1/2- 100	Ru640 1/2- 100	Ru641 1/2- 100	Ru642 1/2- 100	Ru643 1/2- 100	Ru644 1/2- 100	Ru645 1/2- 100	Ru646 1/2- 100	Ru647 1/2- 100	Ru648 1/2- 100	Ru649 1/2- 100	Ru650 1/2- 100	Ru651 1/2- 100	Ru652 1/2- 100	Ru653 1/2- 100	Ru654 1/2- 100	Ru655 1/2- 100	Ru656 1/2- 100	Ru657 1/2- 100	Ru658 1/2- 100	Ru659 1/2- 100	Ru660 1/2- 100	Ru661 1/2- 100	Ru662 1/2- 100	Ru663 1/2- 100	Ru664 1/2- 100	Ru665 1/2- 100	Ru666 1/2- 100	Ru667 1/2- 100	Ru668 1/2- 100	Ru669 1/2- 100	Ru670 1/2- 100	Ru671 1/2- 100	Ru672 1/2- 100	Ru673 1/2- 100	Ru674 1/2- 100	Ru675 1/2- 100	Ru676 1/2- 100	Ru677 1/2- 100	Ru678 1/2- 100	Ru679 1/2- 100	Ru680
----	---	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	---------------------	----------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-------

ALKUAINEIDEN JAKSOLLINEN JÄRJESTELMÄ

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

①

¹H
1,008

²He
4,003

②

³Li
6,941

⁴Be
9,012

⁵B
10,81

⁶C
12,01

⁷N
14,01

⁸O
16,00

⁹F
19,00

¹⁰Ne
20,18

③

¹¹Na
22,99

¹²Mg
24,31

¹³Al
26,98

¹⁴Si
28,09

¹⁵P
30,97

¹⁶S
32,06

¹⁷Cl
35,45

¹⁸Ar
39,95

④

¹⁹K
39,10

²⁰Ca
40,08

²¹Sc
44,96

²²Ti
47,90

²³V
50,94

²⁴Cr
52,00

²⁵Mn
54,94

²⁶Fe
55,85

²⁷Co
58,93

²⁸Ni
58,70

²⁹Cu
63,55

³⁰Zn
65,38

³¹Ga
69,72

³²Ge
72,59

³³As
74,92

³⁴Se
78,96

³⁵Br
79,90

³⁶Kr
83,80

⑤

³⁷Rb
85,47

³⁸Sr
87,62

³⁹Y
88,91

⁴⁰Zr
91,22

⁴¹Nb
92,91

⁴²Mo
95,94

⁴³Tc
(97)

⁴⁴Ru
101,1

⁴⁵Rh
102,9

⁴⁶Pd
106,4

⁴⁷Ag
107,9

⁴⁸Cd
112,4

⁴⁹In
114,8

⁵⁰Sn
118,7

⁵¹Sb
121,8

⁵²Te
127,6

⁵³I
126,9

⁵⁴Xe
131,3

⑥

⁵⁵Cs
132,9

⁵⁶Ba
137,3

⁵⁷La
138,9

⁷²Hf
178,5

⁷³Ta
180,9

⁷⁴W
183,9

⁷⁵Re
186,2

⁷⁶Os
190,2

⁷⁷Ir
192,2

⁷⁸Pt
195,1

⁷⁹Au
197,0

⁸⁰Hg
200,6

⁸¹Tl
204,4

⁸²Pb
207,2

⁸³Bi
208,0

⁸⁴Po
(209)

⁸⁵At
(210)

⁸⁶Rn
(222)

⑦

⁸⁷Fr
(223)

⁸⁸Ra
226,0

⁸⁹Ac
(227)

¹⁰⁴Ku
(281)

¹⁰⁵Ha
(282)

106
(283)

107

⁵⁸ 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	⁶⁶ Dy 162,5	⁶⁷ Ho 164,9	⁶⁸ Er 167,3	⁶⁹ Tm 168,9	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)