

UNIVERSITETET I TRONDHEIM  
 NORGES TEKNISKE HØGSKOLE  
 INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:  
 Prof. E.H. Hauge  
 Tlf. 3651

EKSAMEN I FAG 74226 ATOM- OG KJERNEFYSIKK  
 Lørdag 7. august 1993  
 kl. 0900 - 1500

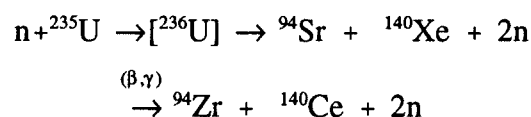
Tillatte hjelpemidler: Rottmann: Mathematische Formelsammlung  
 Barnett and Cronin: Mathematical Formulae  
 Godkjent kalkulator

NB.

1. De 12 punktene i oppgavesettet har i utgangspunktet lik vekt.
2. Mange av punktene i oppgavene kan besvares uavhengig av hverandre.
3. Diverse tabeller, noen av dem nødvendige for besvarelsene, er vedlagt.

Oppgave 1.

- a. Skisser kurven for bindingsenergien pr. nukleon,  $E_b/A$ , som funksjon av nukleontallet,  $A$ . Hva er fisjon og hva er fusjon? Hvilke forbindelser har disse prosessene til kurven for  $E_b/A$ ?
- b. En typisk fisjonsprosess er følgende,



der siste linje, i tillegg til nøytronene, gir de stabile sluttproduktene. Bruk vedlagte tabeller til å beregne total frigjort energi pr. prosess av denne typen. Nevn noen av de formene denne frigjorte energien kommer i.

- c. Forklar begrepet kjedereaksjon med utgangspunkt i eksempelet under pkt. b. Hvilken rolle spiller moderatoren i fredelig utnyttelse av en slik reaksjon? Nevn minst ett eksempel på en god moderator.
- d. Uten å konkludere med et samlet standpunkt, formuler kort 3 rasjonelle grunner for og 3 mot at f.eks. Tyskland satser på kjernekraft i årene som kommer.

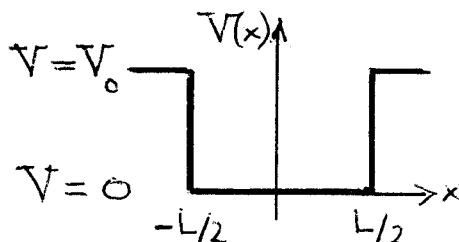
### Oppgave 2.

- a. Forklar kort notasjonen for elektronkonfigurasjoner i atomenes grunntilstander, slik den brukes i vedlagte tabell.
- b. Hvilken symmetriegenskap må 2-elektron tilstander,  $\Psi(1,2)$ , i He ha? Neglisjer spinnbane og spinn-spinn vekselvirkninger og bruk symmetriegenskapen til å skrive ned spinn-delen,  $\chi(1,2)$ , av He-atomets grunntilstand.
- c. Definer ioniseringsenergien,  $E_I$ , til et atom. Som en aller groveste modell, anta at valenselektronet til alkalimetallene Li, Na og K "ser" en kulesymmetrisk ladningsfordeling innenfor seg, med nettoladning  $+e$ . Vis at denne modellen, sammen med Pauliprinsippet og formen til H-spektret, gir

	Li	Na	K
$E_I^{(0)}$ [eV]	3.4	1.5	0.9

- d. Den vedlagte tabellen viser at modellresultatet under pkt. c ikke er så galt for Li, men at ioniseringsenergien faller av adskillig langsommere nedover i alkali-kolonnen enn denne grove modellen tilsier. Forsøk å konstruere en kvalitativ forklaring på dette.

### Oppgave 3.



I denne oppgaven ser vi på bundne tilstander i potensialet vist i figuren. For slike tilstander er energien,  $E$ , mindre enn  $V_0$ . Det er hensiktsmessig å innføre størrelsene  $k$ ,  $k_0$  og  $K$  ved

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} ; \quad V_0 = \frac{\hbar^2 k_0^2}{2m} ; \quad K^2 = k_0^2 - k^2$$

I et symmetrisk potensial som dette har alle bundne tilstander en bestemt paritet, dvs. at  $\psi(-x) = \pm\psi(x)$ .

- a. Skriv ned den tidsuavhengige Schrödingerlikningen for dette problemet. Vis at løsninger med like paritet må ha formen

$$\psi(x) = \begin{cases} a e^{Kx} & ; \quad x \leq -L/2 \\ b \cos kx & ; \quad -L/2 \leq x \leq L/2 \\ a e^{-Kx} & ; \quad x \geq L/2 \end{cases}$$

der a og b er konstanter. Finn den tilsvarende formen for løsninger med odde paritet.

- b. Spesifiser grensebetingelsene som løsningene må oppfylle ved  $x = \pm L/2$ , og bruk disse til å vise at løsningene med like paritet må oppfylle betingelsen

$$\tan \frac{kL}{2} = \frac{K}{k}$$

Finn, igjen ved hjelp av grensebetingelsene, den tilsvarende løsningsbetingelsen for løsninger med odde paritet.

- c. Innfør den dimensjonsløse variable  $s \equiv kL/2$ , med  $s_0 = k_0L/2$ , og vis hvordan en ved grafisk fremstilling av høyre og venstre side av løsningsbetingelsene under pkt. b kan bestemme energiegenverdiene for de bundne tilstandene. Bruk dette til å bestemme antall bundne tilstander når  $s_0 = 6$ .

\*

For elektrontilstander i faste stoff kan en, i god tilnærming, bruke den vanlige Schrödingerlikningen, men med den modifikasjon at elektronmassen erstattes av en "effektiv" masse, forskjellig for stoff til stoff. Potensialet i denne oppgaven svarer da til en bestemt type heterostruktur: En relativt tynn (tykkelse  $L$ ) skive av materiale nr. 1 (f.eks. GaAs), klemte inn mellom to tykkere (tykkelse  $\gg L$ ) skiver av materiale nr. 2 (f.eks. GaAlAs).

Heterostrukturer av denne lagdelte typen er mye brukt i elektronikkindustrien.

\*

- d. Grensebetingelsene brukt under pkt. b er konsekvenser av kravet om at både sannsynlighetstettheten,  $P = \psi^* \psi$ , og strømtettheten

$$j = \frac{\hbar}{2im} \left( \psi^* \frac{d\psi}{dx} - \psi \frac{d\psi^*}{dx} \right)$$

skal være kontinuerlige ved  $x = \pm L/2$ . Generaliser grensebetingelsene, med utgangspunkt i disse to kravene til kontinuitet, til situasjonen vist i figuren på side 2, når den tolkes som en heterostruktur der den effektive elektronmassen er  $m_1$  i potensialbrønnen og  $m_2$  utenfor. Bruk de generaliserte grensebetingelsene til å bestemme grunntilstandsenergien i brønnen i grensen  $m_2/m_1 \rightarrow \infty$ .

Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$	Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$
0 n	1*	1.008665	$\frac{1}{2}^+$	10.5 m	8 O	16	15.994915	0 <sup>+</sup>	99.762
1 H	1	1.007825	$\frac{1}{2}^+$	99.985	17	16.999131	$\frac{3}{2}^+$	0.038	
	2	2.014102	1 <sup>+</sup>	0.015	18	17.999160	0 <sup>+</sup>	0.200	
	3*	3.016049	$\frac{1}{2}^+$	12.3 y	9 F	19	18.998403	$\frac{1}{2}^+$	100
2 He	3	3.016029	$\frac{1}{2}^+$	0.00014	20*	19.999982	2 <sup>+</sup>	11.0 s	
	4	4.002603	0 <sup>+</sup>	99.99986	10 Ne	20	19.992436	0 <sup>+</sup>	90.51
3 Li	6	6.015121	1 <sup>+</sup>	7.5	21	20.993843	$\frac{3}{2}^+$	0.27	
	7	7.016003	$\frac{1}{2}^-$	92.5	22	21.991383	0 <sup>+</sup>	9.22	
4 Be	7*	7.016930	$\frac{1}{2}^-$	53.28 d	11 Na	22*	21.994435	3 <sup>+</sup>	2.605 y
	9	9.012182	$\frac{1}{2}^-$	100	23	22.989768	$\frac{3}{2}^+$	100	
	10*	10.013535	0 <sup>+</sup>	$1.6 \times 10^6$ y	12 Mg	24	23.985042	0 <sup>+</sup>	78.99
5 B	10	10.012936	3 <sup>+</sup>	19.9	25	24.985838	$\frac{5}{2}^+$	10.00	
	11	11.009305	$\frac{3}{2}^-$	80.1	26	25.982594	0 <sup>+</sup>	11.01	
	12*	12.014353	1 <sup>+</sup>	20.2 ms	13 Al	27	26.981539	$\frac{5}{2}^+$	100
6 C	12	12.000000	0 <sup>+</sup>	98.90	28*	27.981913	3 <sup>+</sup>	2.25 m	
	13	13.003355	$\frac{1}{2}^-$	1.10	14 Si	28	27.976927	0 <sup>+</sup>	92.23
	14*	14.003242	0 <sup>+</sup>	5730 y	29	28.976495	$\frac{1}{2}^+$	4.67	
7 N	14	14.003074	1 <sup>+</sup>	99.63	30	29.973770	0 <sup>+</sup>	3.10	
	15	15.000109	$\frac{1}{2}^-$	0.37	15 P	31	30.973762	$\frac{1}{2}^+$	100
	16*	16.006099	2 <sup>-</sup>	7.13 s	32*	31.973908	1 <sup>+</sup>	14.28 d	

Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$	Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$
16 S	32	31.972071	0 <sup>+</sup>	95.02	24 Cr	51*	50.944769	2 <sup>-</sup>	27.70 d
	34	33.967867	0 <sup>+</sup>	4.21		52	51.940510	0 <sup>+</sup>	83.79
	35*	34.969032	3 <sup>+</sup>	87.2 d		53	52.940652	3 <sup>-</sup>	9.50
17 Cl	35	34.968853	3 <sup>+</sup>	75.77	25 Mn	54*	53.940360	3 <sup>+</sup>	312.2 d
	36*	35.968307	2 <sup>+</sup>	3.01 × 10 <sup>5</sup> y		55	54.938047	3 <sup>-</sup>	100
	37	36.965903	3 <sup>+</sup>	24.23	26 Fe	54	53.939613	0 <sup>+</sup>	5.8
18 Ar	37*	36.966776	3 <sup>+</sup>	34.8 d		55*	54.938295	3 <sup>-</sup>	2.68 y
	39*	38.964315	2 <sup>-</sup>	269 y		56	55.934940	0 <sup>+</sup>	91.72
	40	39.962383	0 <sup>+</sup>	99.600	27 Co	59	58.933198	2 <sup>-</sup>	100
19 K	39	38.963707	3 <sup>+</sup>	93.2581		60*	59.933820	5 <sup>+</sup>	5.272 y
	40*	39.963999	4 <sup>-</sup>	1.25 × 10 <sup>9</sup> y	28 Ni	58	57.935347	0 <sup>+</sup>	68.27
	41	40.961825	3 <sup>+</sup>	6.7302		60	59.930789	0 <sup>+</sup>	26.10
20 Ca	40	39.962590	0 <sup>+</sup>	96.941		63*	62.929670	1 <sup>-</sup>	100 y
	44	43.955481	0 <sup>+</sup>	2.086	29 Cu	63	62.929599	3 <sup>-</sup>	69.17
	45*	44.956189	2 <sup>-</sup>	165 d		64*	63.929766	1 <sup>+</sup>	12.70 h
21 Sc	45	44.955910	2 <sup>-</sup>	100		65	64.927793	3 <sup>-</sup>	30.83
	47*	46.952410	2 <sup>-</sup>	3.34 d	30 Zn	64	63.929146	0 <sup>+</sup>	48.6
22 Ti	44*	43.959693	0 <sup>+</sup>	47 y		65*	64.929244	3 <sup>-</sup>	243.8 d
	46	45.952630	0 <sup>+</sup>	8.0		66	65.926035	0 <sup>+</sup>	27.9
	48	47.947948	0 <sup>+</sup>	73.8	31 Ga	69	68.925580	3 <sup>-</sup>	60.1
23 V	50*	49.947161	6 <sup>+</sup>	> 3.9 × 10 <sup>17</sup> y		70*	69.926028	1 <sup>+</sup>	21.1 m
	51	50.943962	2 <sup>-</sup>	99.750		71	70.924701	3 <sup>-</sup>	39.9

Z Atom	A	M (u)	i <sup>p</sup>	% / $\tau_{1/2}$	Z Atom	A	M (u)	i <sup>p</sup>	% / $\tau_{1/2}$
32 Ce	70	69.924250	0 <sup>+</sup>	20.5	41 Nb	93	92.906376	$\frac{9}{2}^{+}$	100
	72	71.922080	0 <sup>+</sup>	27.4		94*	93.907282	6 <sup>+</sup>	$2.0 \times 10^4$ y
	74	73.921177	0 <sup>+</sup>	36.5	42 Mo	95	94.905840	$\frac{5}{2}^{+}$	15.92
33 As	74*	73.923930	2 <sup>-</sup>	17.78 d		96	95.904678	0 <sup>+</sup>	16.68
	75	74.921593	$\frac{3}{2}^{-}$	100		98	97.905406	0 <sup>+</sup>	24.13
34 Se	75*	74.922524	$\frac{5}{2}^{+}$	119.78 d	43 Tc	97*	96.906362	$\frac{9}{2}^{+}$	$2.6 \times 10^6$ y
	78	77.917306	0 <sup>+</sup>	23.5		99*	98.906252	$\frac{9}{2}^{+}$	$2.13 \times 10^5$ y
	80	79.916521	0 <sup>+</sup>	49.6	44 Ru	101	100.905581	$\frac{5}{2}^{+}$	17.0
35 Br	79	78.918336	$\frac{3}{2}^{-}$	50.69		102	101.904348	0 <sup>+</sup>	31.6
	81	80.916290	$\frac{3}{2}^{-}$	49.31		104	103.905422	0 <sup>+</sup>	18.7
36 Kr	82	81.913483	0 <sup>+</sup>	11.6	45 Rh	103	102.905499	$\frac{1}{2}^{-}$	100
	84	83.911508	0 <sup>+</sup>	57.0		105*	104.905684	$\frac{2}{2}^{+}$	35.4 h
	86	85.910615	0 <sup>+</sup>	17.3	46 Pd	105	104.905075	$\frac{5}{2}^{+}$	22.33
37 Rb	85	84.911793	$\frac{5}{2}^{-}$	72.17		106	105.903475	0 <sup>+</sup>	27.33
	87*	86.909188	$\frac{3}{2}^{-}$	$4.89 \times 10^{10}$ y		108	107.903896	0 <sup>+</sup>	26.46
38 Sr	86	85.909267	0 <sup>+</sup>	9.86	47 Ag	107	106.905095	$\frac{1}{2}^{-}$	51.84
	88	87.905619	0 <sup>+</sup>	82.58		108*	107.905956	1 <sup>+</sup>	2.42 m
	90*	89.907746	0 <sup>+</sup>	29 y		109	108.904757	$\frac{1}{2}^{-}$	48.16
39 Y	88*	87.909503	4 <sup>-</sup>	106.61 d	48 Cd	112	111.902758	0 <sup>+</sup>	24.13
	89	88.905850	$\frac{1}{2}^{-}$	100		113*	112.904400	$\frac{1}{2}^{+}$	$9 \times 10^{15}$ y
40 Zr	90	89.904703	0 <sup>+</sup>	51.45		114	113.903357	0 <sup>+</sup>	28.73
	92	91.905037	0 <sup>+</sup>	17.17	49 In	113	112.904061	$\frac{9}{2}^{+}$	4.3
	94	93.906314	0 <sup>+</sup>	17.33		115*	114.903880	$\frac{2}{2}^{+}$	$4.4 \times 10^{14}$ y

Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$	Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$
50 Sn	116	115.901747	0 <sup>+</sup>	14.7	58 Ce	140	139.905433	0 <sup>+</sup>	88.48
	118	117.901609	0 <sup>+</sup>	24.3		142*	141.909241	0 <sup>+</sup>	> 5 × 10 <sup>16</sup> y
	120	119.902200	0 <sup>+</sup>	32.4		140*	139.909079	1 <sup>+</sup>	3.39 m
51 Sb	121	120.903823	$\frac{5}{2}^+$	57.3	141	140.907657	$\frac{5}{2}^+$	100	
	123	122.904220	$\frac{7}{2}^+$	42.7	142	141.907731	0 <sup>+</sup>	27.13	
	125*	124.905259	$\frac{7}{2}^+$	2.76 y	144*	143.910084	0 <sup>+</sup>	2.1 × 10 <sup>15</sup> y	
52 Te	126	125.903314	0 <sup>+</sup>	18.95	146	145.913114	0 <sup>+</sup>	17.19	
	128*	127.904467	0 <sup>+</sup>	> 5.5 × 10 <sup>24</sup> y	145*	144.912754	$\frac{5}{2}^+$	17.7 y	
	130*	129.906232	0 <sup>+</sup>	2.4 × 10 <sup>21</sup> y	146*	145.914717	3 <sup>-</sup>	5.53 y	
53 I	127	126.904478	$\frac{5}{2}^+$	100	147*	146.914895	$\frac{7}{2}^-$	1.06 × 10 <sup>11</sup> y	
	129*	128.904986	$\frac{7}{2}^+$	1.6 × 10 <sup>7</sup> y	152	151.919729	0 <sup>+</sup>	26.7	
					154	153.922206	0 <sup>+</sup>	22.7	
54 Xe	129	128.904780	1 <sup>+</sup>	26.4	151	150.919847	$\frac{3}{2}^+$	47.8	
	131	130.905075	$\frac{3}{2}^+$	21.2	153	152.921226	$\frac{5}{2}^+$	52.2	
	132	131.904147	0 <sup>+</sup>	26.9	156	155.922119	0 <sup>+</sup>	20.47	
55 Cs	133	132.905433	$\frac{7}{2}^+$	100	158	157.924100	0 <sup>+</sup>	24.84	
	137*	136.907075	$\frac{7}{2}^+$	30.17 y	160	159.927051	0 <sup>+</sup>	21.86	
					159	158.925341	$\frac{3}{2}^+$	100	
56 Ba	136	135.904556	0 <sup>+</sup>	7.854	160*	159.927171	3 <sup>-</sup>	72.4 d	
	137	136.905816	$\frac{3}{2}^+$	11.23	162	161.926795	0 <sup>+</sup>	25.5	
	138	137.905236	0 <sup>+</sup>	71.70	163	162.928726	$\frac{5}{2}^-$	24.9	
57 La	138*	137.907114	5 <sup>+</sup>	1.06 × 10 <sup>11</sup> y	164	163.929172	0 <sup>+</sup>	28.2	
	139	138.906346	$\frac{7}{2}^+$	99.91					



Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$	Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$
67 Ho	165	164.930319	$\frac{7}{2}^-$	100	76 Os	189	188.958142	$\frac{3}{2}^-$	16.1
	166*	165.932296	0 <sup>-</sup>	26.80 h		190	189.958442	0 <sup>+</sup>	26.4
68 Er	166	165.930292	0 <sup>+</sup>	33.6		192	191.961477	0 <sup>+</sup>	41.0
	167	166.932047	$\frac{7}{2}^+$	22.95	77 Ir	191	190.960594	$\frac{3}{2}^+$	37.3
	168	167.932369	0 <sup>+</sup>	26.8		193	192.962944	$\frac{3}{2}^+$	62.7
69 Tm	169	168.934212	$\frac{1}{2}^+$	100		194	193.962685	0 <sup>+</sup>	32.9
	171*	170.936442	$\frac{1}{2}^+$	1.92 y	78 Pt	195	194.964796	$\frac{1}{2}^-$	33.8
70 Yb	172	171.936379	0 <sup>+</sup>	21.9		196	195.964956	0 <sup>+</sup>	25.3
	173	172.938208	$\frac{5}{2}^-$	16.12	79 Au	197	196.966573	$\frac{3}{2}^+$	100
	174	173.938860	0 <sup>+</sup>	31.8		199*	198.968756	$\frac{3}{2}^+$	3.14 d
71 Lu	175	174.940771	$\frac{7}{2}^+$	97.40		199	198.968285	$\frac{1}{2}^-$	17.0
	176*	175.942680	7 <sup>-</sup>	$3.7 \times 10^{10}$ y	80 Hg	200	199.968330	0 <sup>+</sup>	23.1
72 Hf	177	176.943219	$\frac{7}{2}^-$	18.6		202	201.970647	0 <sup>+</sup>	29.65
	178	177.943697	0 <sup>+</sup>	27.1		203	202.972348	$\frac{1}{2}^+$	29.524
	180	179.946547	0 <sup>+</sup>	35.2	81 Tl	204*	203.973856	2 <sup>-</sup>	3.78 y
73 Ta	181	180.947995	$\frac{7}{2}^+$	99.988		205	204.974427	$\frac{1}{2}^+$	70.476
	182*	181.950170	3 <sup>-</sup>	114.5 d		206	205.974469	0 <sup>+</sup>	24.1
74 W	182	181.948205	0 <sup>+</sup>	26.3	82 Pb	207	206.975900	$\frac{1}{2}^-$	22.1
	184	183.950932	0 <sup>+</sup>	30.67		208	207.976655	0 <sup>+</sup>	52.4
	186	185.954361	0 <sup>+</sup>	28.6		209*	208.980403	$\frac{3}{2}^-$	> 10 <sup>19</sup> y
75 Re	185	184.952955	$\frac{5}{2}^+$	37.40	83 Bi	210*	209.984125	1 <sup>-</sup>	5.01 d
	187*	186.955749	$\frac{5}{2}^+$	$4.5 \times 10^{10}$ y					

Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$	Z Atom	A	M (u)	$i^P$	% / $\tau_{1/2}$
84 Po	209*	208.982432	$\frac{1}{2}^-$	102 y	92 U	233*	233.039632	$\frac{5}{2}^+$	$1.592 \times 10^5$ y
	210*	209.982877	0 <sup>+</sup>	138.38 d		235*	235.043928	$\frac{7}{2}^-$	$7.04 \times 10^8$ y
	218*	218.008971	0 <sup>+</sup>	3.11 m		238*	238.050788	0 <sup>+</sup>	$4.468 \times 10^9$ y
85 At	211*	210.987500	$\frac{5}{2}^-$	7.21 h	93 Np	237*	237.048171	$\frac{5}{2}^+$	$2.14 \times 10^6$ y
	213*	212.992926	$\frac{9}{2}^-$	0.11 $\mu$ s		239*	239.052932	$\frac{5}{2}^+$	2.350 d
86 Rn	220*	220.011378	0 <sup>+</sup>	55.6 s	94 Pu	239*	239.052162	$\frac{1}{2}^+$	$2.411 \times 10^4$ y
	222*	222.017576	0 <sup>+</sup>	3.8235 d		240*	240.053812	0 <sup>+</sup>	6560 y
87 Fr	221*	221.014241	$\frac{5}{2}^-$	4.8 m		244*	244.064200	0 <sup>+</sup>	$8.2 \times 10^7$ y
	223*	223.019734	$\frac{3}{2}^+$	22 m	95 Am	241*	241.056827	$\frac{5}{2}^-$	432 y
	228*	228.031069	0 <sup>+</sup>	5.76 y		243*	243.061378	$\frac{5}{2}^-$	7370 y
88 Ra	223*	223.018507	$\frac{1}{2}^+$	11.434 d	96 Cm	244*	244.062751	0 <sup>+</sup>	18.11 y
	226*	226.025408	0 <sup>+</sup>	1600 y		248*	248.072345	0 <sup>+</sup>	$3.40 \times 10^5$ y
	89 Ac	227*	227.027751	$\frac{3}{2}^-$	21.773 y	97 Bk	247*	247.070300	$\frac{3}{2}^-$
228*		228.031020	3 <sup>+</sup>	6.13 h	249*		249.074984	$\frac{7}{2}^+$	320 d
90 Th		229*	229.031758	$\frac{5}{2}^+$	7300 y	98 Cf	249*	249.074848	$\frac{9}{2}^-$
	231*	231.036299	$\frac{3}{2}^+$	25.52 h	252*		252.081622	0 <sup>+</sup>	2.64 y
	232*	232.038054	0 <sup>+</sup>	$1.40 \times 10^{10}$ y	99 Es	253*	253.084822	$\frac{7}{2}^+$	20.47 d
91 Pa	231*	231.035885	$\frac{3}{2}^-$	$3.28 \times 10^4$ y		254*	254.088021	7 <sup>+</sup>	276 d
	233*	233.040244	$\frac{3}{2}^-$	27.0 d	100 Fm	253*	253.085181	$\frac{1}{2}^+$	3.0 d
						257*	257.095103	$\frac{9}{2}^+$	100.5 d

Table 9-1 Ground-State Properties of Atoms ( $Z = 1$  to 54)

Z Atom	Element	Configuration	Ionization Energy (eV)
1 H	Hydrogen	$1s$	13.60
2 He	Helium	$1s^2$	24.59
3 Li	Lithium	$[\text{He}]2s$	5.39
4 Be	Beryllium	$\dots 2s^2$	9.32
5 B	Boron	$\dots 2s^2 2p$	8.30
6 C	Carbon	$\dots 2s^2 2p^2$	11.26
7 N	Nitrogen	$\dots 2s^2 2p^3$	14.53
8 O	Oxygen	$\dots 2s^2 2p^4$	13.62
9 F	Fluorine	$\dots 2s^2 2p^5$	17.42
10 Ne	Neon	$\dots 2s^2 2p^6$	21.56
11 Na	Sodium	$[\text{Ne}]3s$	5.14
12 Mg	Magnesium	$\dots 3s^2$	7.65
13 Al	Aluminum	$\dots 3s^2 3p$	5.99
14 Si	Silicon	$\dots 3s^2 3p^2$	8.15
15 P	Phosphorus	$\dots 3s^2 3p^3$	10.49
16 S	Sulfur	$\dots 3s^2 3p^4$	10.36
17 Cl	Chlorine	$\dots 3s^2 3p^5$	12.97
18 Ar	Argon	$\dots 3s^2 3p^6$	15.76
19 K	Potassium	$[\text{Ar}]4s$	4.34
20 Ca	Calcium	$\dots 4s^2$	6.11
21 Sc	Scandium	$\dots 4s^2 3d$	6.54
22 Ti	Titanium	$\dots 4s^2 3d^2$	6.82
23 V	Vanadium	$\dots 4s^2 3d^3$	6.74
24 Cr	Chromium	$\dots 4s 3d^5$	6.77
25 Mn	Manganese	$\dots 4s^2 3d^5$	7.44
26 Fe	Iron	$\dots 4s^2 3d^6$	7.87
27 Co	Cobalt	$\dots 4s^2 3d^7$	7.86

Z Atom	Element	Configuration	Ionization Energy (eV)
28 Ni	Nickel	$\dots 4s^2 3d^8$	7.64
29 Cu	Copper	$\dots 4s 3d^{10}$	7.73
30 Zn	Zinc	$\dots 4s^2 3d^{10}$	9.39
31 Ga	Gallium	$\dots 4s^2 3d^{10} 4p$	6.00
32 Ge	Germanium	$\dots 4s^2 3d^{10} 4p^2$	7.90
33 As	Arsenic	$\dots 4s^2 3d^{10} 4p^3$	9.81
34 Se	Selenium	$\dots 4s^2 3d^{10} 4p^4$	9.75
35 Br	Bromine	$\dots 4s^2 3d^{10} 4p^5$	11.81
36 Kr	Krypton	$\dots 4s^2 3d^{10} 4p^6$	14.00
37 Rb	Rubidium	$[\text{Kr}]5s$	4.18
38 Sr	Strontium	$\dots 5s^2$	5.70
39 Y	Yttrium	$\dots 5s^2 4d$	6.38
40 Zr	Zirconium	$\dots 5s^2 4d^2$	6.84
41 Nb	Niobium	$\dots 5s 4d^4$	6.88
42 Mo	Molybdenum	$\dots 5s 4d^5$	7.10
43 Tc	Technetium	$\dots 5s^2 4d^5$	7.28
44 Ru	Ruthenium	$\dots 5s 4d^7$	7.37
45 Rh	Rhodium	$\dots 5s 4d^8$	7.46
46 Pd	Palladium	$\dots 4d^{10}$	8.34
47 Ag	Silver	$\dots 5s 4d^{10}$	7.58
48 Cd	Cadmium	$\dots 5s^2 4d^{10}$	8.99
49 In	Indium	$\dots 5s^2 4d^{10} 5p$	5.79
50 Sn	Tin	$\dots 5s^2 4d^{10} 5p^2$	7.34
51 Sb	Antimony	$\dots 5s^2 4d^{10} 5p^3$	8.64
52 Te	Tellurium	$\dots 5s^2 4d^{10} 5p^4$	9.01
53 I	Iodine	$\dots 5s^2 4d^{10} 5p^5$	10.45
54 Xe	Xenon	$\dots 5s^2 4d^{10} 5p^6$	12.13

## CONSTANTS AND CONVERSION FACTORS (to four significant figures)

speed of light	$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$
electron charge unit	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Coulomb force constant	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$
	$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} = 1.440 \text{ eV} \cdot \text{nm}$
electron mass	$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.5110 \text{ MeV}/c^2$
proton mass	$M_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg} = 938.3 \text{ MeV}/c^2$
proton–electron mass ratio	$\frac{M_p}{m_e} = 1836$
Planck's constant	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
	$hc = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$
	$\hbar = 1.055 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6.582 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$
	$\hbar c = 197.3 \text{ eV} \cdot \text{nm}$
Avogadro's number	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$
Boltzmann's constant	$k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
electron Compton wavelength	$\frac{h}{m_e c} = 2.426 \times 10^{-12} \text{ m}$
Bohr radius	$a_0 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m}$
Rydberg energy unit	$E_0 = 13.61 \text{ eV}$
Rydberg constant	$R_\infty = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
fine structure constant	$\alpha = \frac{1}{137.0}$
Bohr magneton	$\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2 = 5.788 \times 10^{-9} \text{ eV/G}$
nuclear magneton	$\mu_N = 3.152 \times 10^{-12} \text{ eV/G}$
gravitational constant	$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
electron volt	$\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
atomic mass unit	$u = 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$
cross section unit	$\text{barn} = 10^{-28} \text{ m}^2 = (10 \text{ fm})^2$
light-year	$\text{lt-y} = 9.461 \times 10^{15} \text{ m}$