

# Willkommen zur PEP4 !

- neue Vorlesung im Rahmen der Neukonzipierung der Experimentalphysikvorlesungen - basierend auf unseren Erfahrungen einschliesslich feedback der Studenten seit Einführung Bachelor/Master (siehe Modulhandbuch)
- abgestimmt auf Inhalt der PEP3
- und der PEP5 im WS2016/2017

## Organisatorisches:

- Web page der Vorlesung PEP4  
<http://uebungen.physi.uni-heidelberg.de/vorlesung/20161/pep4>

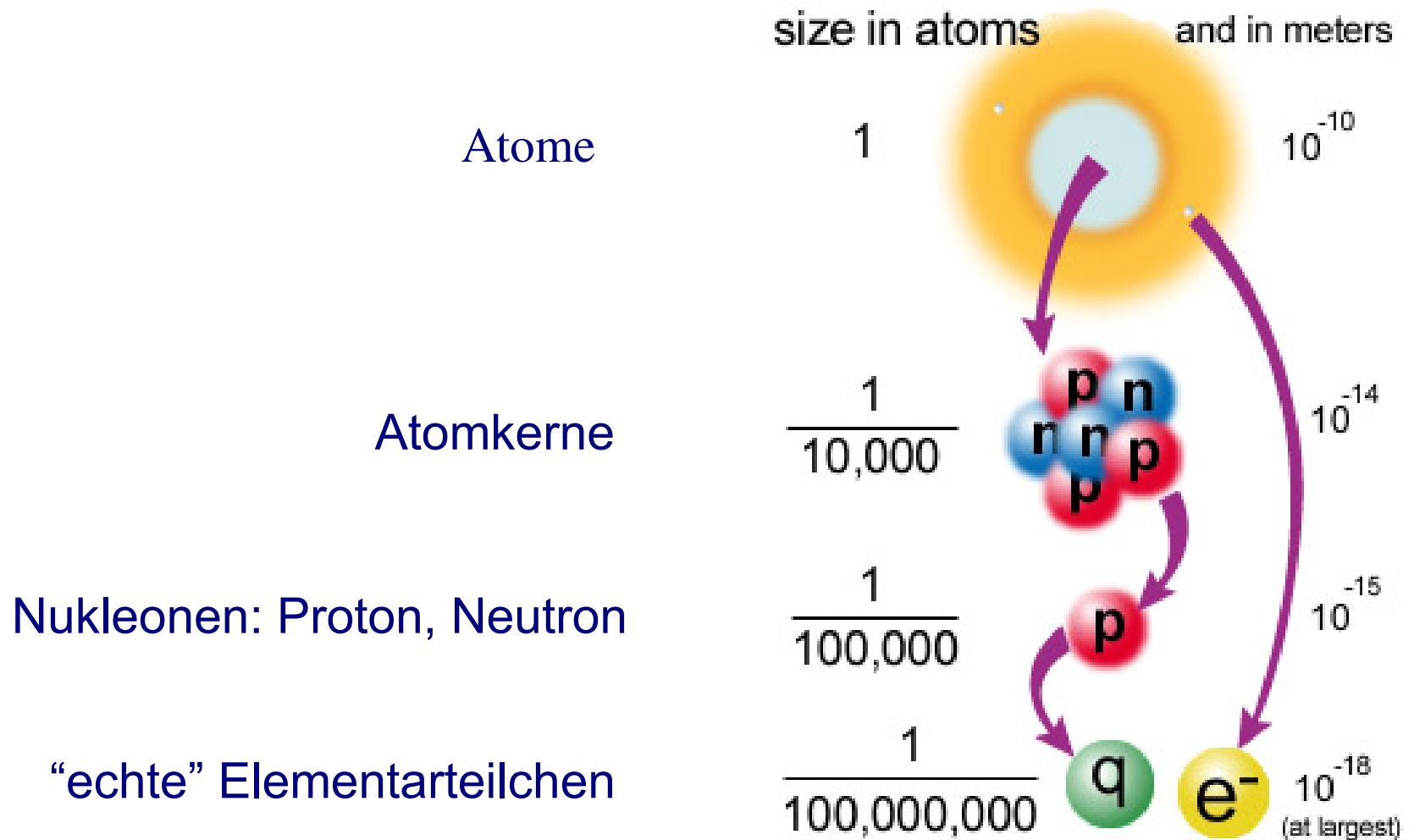
**Pause 10 Minuten ok?**

- Skript zur Kern-und Teilchenphysik:  
<http://www.physi.uni-heidelberg.de/~stachel/skript.pdf>
- Notizen und Abbildungen aus der Vorlesung:  
pdf auf webpage jeden Mittwoch
- Klausur: Mo 25.7. im Zeitraum 14:00-18:00 **gibt es Präferenz?**  
Teilnahmevoraussetzung: 60% der Punkte aus Übungsgruppe
- Übungen: **beginnen diese Woche!**  
Eintragung wie gehabt, weitgehend abgeschlossen  
Übungsblatt auf webpage: **jeweils Dienstag**  
Behandlung in der **folgenden Woche** in Übungsgruppe
- CERN Exkursion: **Interesse?**

## Inhalt der “neuen” Experimentalphysik 4:

Atome mit mehreren Elektronen, Zusammensetzung (Struktur), Eigenschaften und Wechselwirkung von Atomkernen, Hadronen, Leptonen

**wie ist die uns umgebende Welt auf mikroskopischer Skala zusammengesetzt und was hält sie zusammen**



# Atome jenseits von Helium, Grundzustand, Spektren, Periodensystem der Elemente

Periode	Gruppe							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	<b>1 H</b> 1,00797							<b>2 He</b> 4,0026
	<b>3 Li</b> 6,939	<b>4 Be</b> 9,022	<b>5 B</b> 10,81	<b>6 C</b> 12,01115	<b>7 N</b> 14,0067	<b>8 O</b> 15,9994	<b>9 F</b> 18,9984	<b>10 Ne</b> 20,183
	<b>11 Na</b> 22,9696	<b>12 Mg</b> 24,312	<b>13 Al</b> 26,9815	<b>14 Si</b> 28,086	<b>15 P</b> 30,9738	<b>16 S</b> 32,064	<b>17 Cl</b> 35,453	<b>18 Ar</b> 39,948
	<b>19 K</b> 39,102	<b>20 Ca</b> 40,08	<b>21 Sc</b> 44,956	<b>22 Ti</b> 47,90	<b>23 V</b> 50,942	<b>24 Cr</b> 51,996	<b>25 Mn</b> 54,938	<b>26 Fe</b> 27 <b>Co</b> 28 <b>Ni</b> 55,847 58,9332 58,71
	<b>29 Cu</b> 63,54	<b>30 Zn</b> 65,37	<b>31 Ga</b> 69,72	<b>32 Ge</b> 72,59	<b>33 As</b> 74,9216	<b>34 Se</b> 78,96	<b>35 Br</b> 79,909	<b>36 Kr</b> 83,80
	<b>37 Rb</b> 85,47	<b>38 Sr</b> 87,62	<b>39 Y</b> 88,905	<b>40 Zr</b> 91,22	<b>41 Nb</b> 92,906	<b>42 Mo</b> 95,94	<b>43 Tc</b> 99	<b>44 Ru</b> 45 <b>Rh</b> 46 <b>Pd</b> 101,07 102,905 106,4
	<b>47 Ag</b> 107,87	<b>48 Cd</b> 112,40	<b>49 In</b> 114,82	<b>50 Sn</b> 118,69	<b>51 Sb</b> 121,75	<b>52 Te</b> 127,60	<b>53 J</b> 126,9044	<b>54 Xe</b> 131,3
	<b>55 Cs</b> 132,905	<b>56 Ba</b> 137,34	<b>57 La</b> 138,91	<b>72 Hf</b> 178,49	<b>73 Ta</b> 180,948	<b>74 W</b> 183,85	<b>75 Re</b> 186,2	<b>76 Os</b> 77 <b>Ir</b> 78 <b>Pt</b> 190,2 192,2 195,09
	<b>79 Au</b> 196,967	<b>80 Hg</b> 200,59	<b>81 Tl</b> 204,37	<b>82 Pb</b> 207,19	<b>83 Bi</b> 208,98	<b>84 Po</b> 210	<b>85 At</b> 210	<b>86 Rn</b> 222
	<b>87 Fr</b> 223	<b>88 Ra</b> 226,05	<b>89 Ac</b> 227	<b>104 Rf</b> 261,1	<b>105 Db</b> 262,1	<b>106 Sg</b> 263,1	<b>107 Bh</b> 262,1	<b>108 Hs</b> 109 <b>Mt</b> 110 <b>Ds</b> 265,1 266,1
	<b>58 Ce</b> 59 <b>Pr</b> 60 <b>Nd</b> 61 <b>Pm</b> 140,12 140,907 144,24 145			<b>62 Sm</b> 63 <b>Eu</b> 64 <b>Gd</b> 65 <b>Tb</b> 66 <b>Dy</b> 67 <b>Ho</b> 68 <b>Er</b> 69 <b>Tm</b> 70 <b>Yb</b> 71 <b>Lu</b> 150,35 151,96 157,25 158,924 162,50 164,93 167,26 168,934 173,04 174,97				
	<b>90 Th</b> 91 <b>Pa</b> 92 <b>U</b> 93 <b>Np</b> 94 <b>Pu</b> 95 <b>Am</b> 96 <b>Cm</b> 97 <b>Bk</b> 98 <b>Cf</b> 99 <b>Es</b> 100 <b>Fm</b> 101 <b>Md</b> 102 <b>No</b> 103 <b>Lr</b> 232,038 231 238,03 237 244 243 247 247 251 254 257 256 256 258?							

# die fundamentalen Teilchen, aus denen alles besteht:

## FERMIONS

matter constituents  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	<b>u</b> up	0.003	2/3
<b>e</b> electron	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.006	-1/3
$\nu_\mu$ muon neutrino	$<0.0002$	0	<b>c</b> charm	1.3	2/3
<b><math>\mu</math></b> muon	0.106	-1	<b>s</b> strange	0.1	-1/3
$\nu_\tau$ tau neutrino	$<0.02$	0	<b>t</b> top	175	2/3
<b><math>\tau</math></b> tau	1.7771	-1	<b>b</b> bottom	4.3	-1/3



Quarks kommen in der Natur  
nur in gebundenen Zuständen vor:  
Hadronen

Entdeckung von Elementarteilchen  
und ihre Charakterisierung

## und daraus gebildete Teilchen

### Baryons $qqq$ and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.  
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
<b>p</b>	proton	<b>uud</b>	1	0.938	1/2
<b><math>\bar{p}</math></b>	anti-proton	<b><math>\bar{u}\bar{u}\bar{d}</math></b>	-1	0.938	1/2
<b>n</b>	neutron	<b>udd</b>	0	0.940	1/2
<b><math>\Lambda</math></b>	lambda	<b>uds</b>	0	1.116	1/2
<b><math>\Omega^-</math></b>	omega	<b>sss</b>	-1	1.672	3/2

### Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons.  
There are about 140 types of mesons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
<b><math>\pi^+</math></b>	pion	<b><math>u\bar{d}</math></b>	+1	0.140	0
<b><math>K^-</math></b>	kaon	<b><math>s\bar{u}</math></b>	-1	0.494	0
<b><math>\rho^+</math></b>	rho	<b><math>u\bar{d}</math></b>	+1	0.770	1
<b><math>B^0</math></b>	B-zero	<b><math>d\bar{b}</math></b>	0	5.279	0
<b><math>\eta_c</math></b>	eta-c	<b><math>c\bar{c}</math></b>	0	2.980	0

# die fundamentalen Wechselwirkungen

elektromagnetisch (bekannt aus PEP 1-3, immer noch wichtig)!

**neu**  schwache Wechselwirkung

starke Wechselwirkung

Gravitation (in PEP4 nicht wichtig)

und die Vektorbosonen (Eichbosonen), die sie vermitteln:

<b>BOSONS</b>			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0	<b>g</b> gluon	0	0
<b>W<sup>-</sup></b>	80.4	-1			
<b>W<sup>+</sup></b>	80.4	+1			
<b>Z<sup>0</sup></b>	91.187	0			

**sehr wichtig: Arten und Rolle von Symmetrien und Erhaltungssätzen**

## The Nobel Prize in Physics 2013

"for the discovery theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of subatomic particles and that was recently confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle... ”



Francois Englert  
Born Nov. 6 1932  
Universite Libre de Bruxelles  
Brussels, Belgium



Peter W. Higgs  
Born May 29, 1929  
University of Edinburgh  
Edinburgh, UK



## The Nobel Prize in Physics 2015

"for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass"



Takaaki Kajita  
born March 9, 1959  
University of Tokyo,  
Japan



Arthur B. McDonald  
born August 29, 1943  
Queens University,  
Kingston, Canada

## Atomkerne

woraus bestehen sie, wie sind sie gebunden, Grösse und Form, Anregungen  
Kernspaltung und Kernfusion  
Elementsynthese im Universum

Experimentalphysikvorlesung, aber keine Experimente in der Vorlesung für  
diese Art von Experimentalphysik

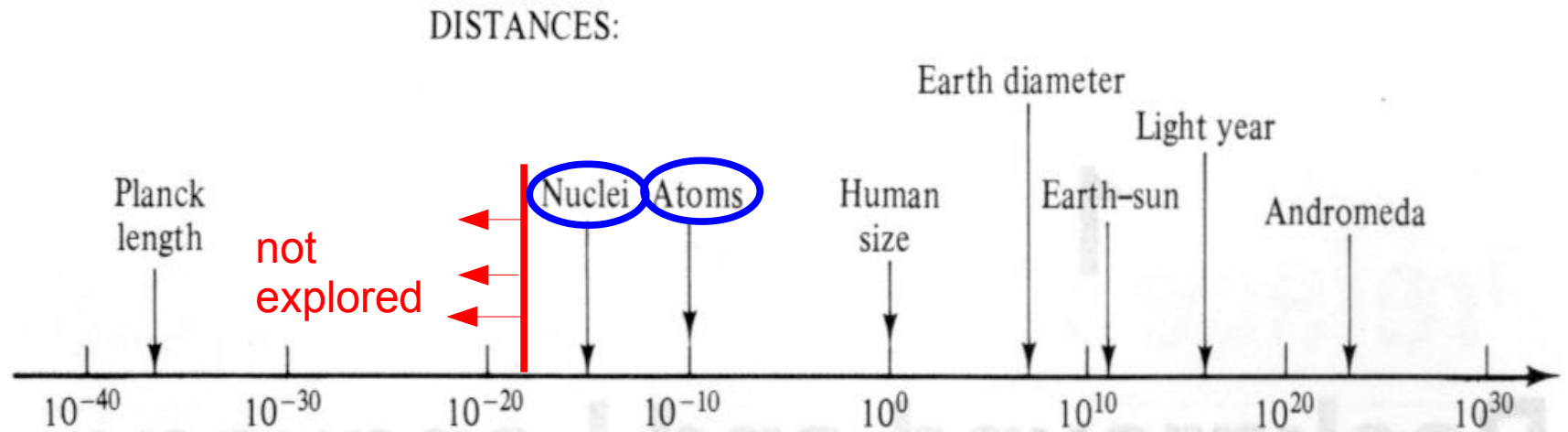
- Experimente sind gross,
  - brauchen sehr spezielle Aufbauten und Beschleuniger
  - dauern oft lang,
- und die Ergebnisse sind sowieso nicht direkt “sichtbar”

aber

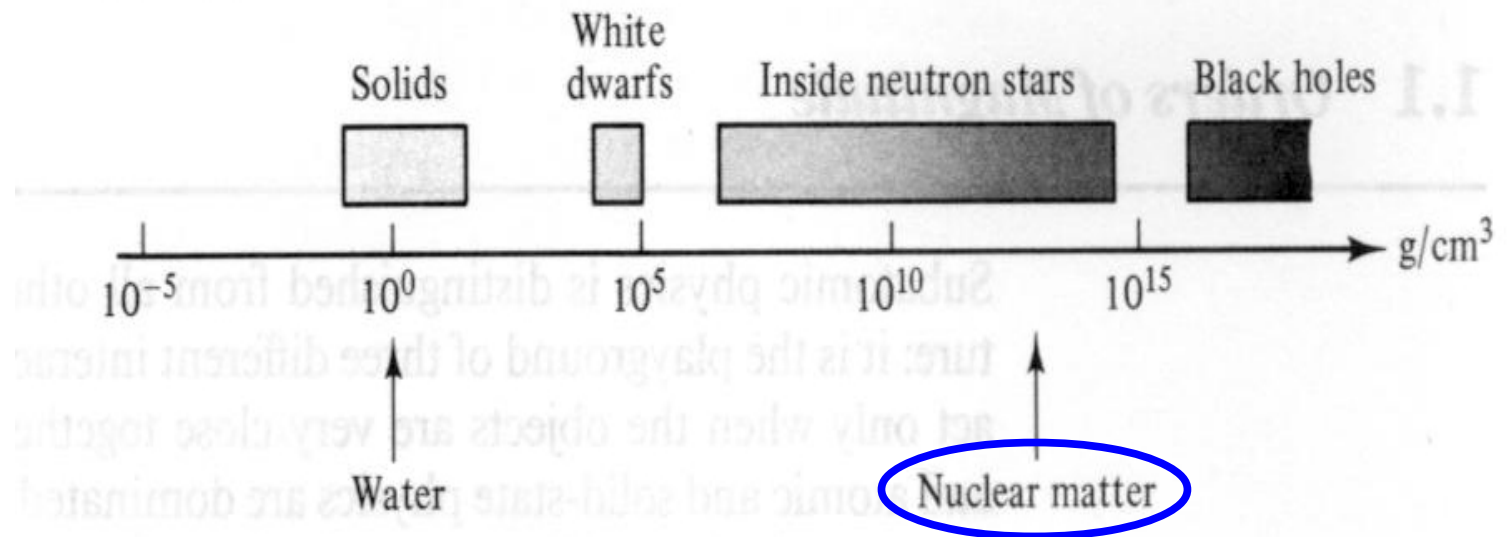
Besprechung der experimentellen Methoden

Originalabbildungen der experimentellen Resultate und Referenzen

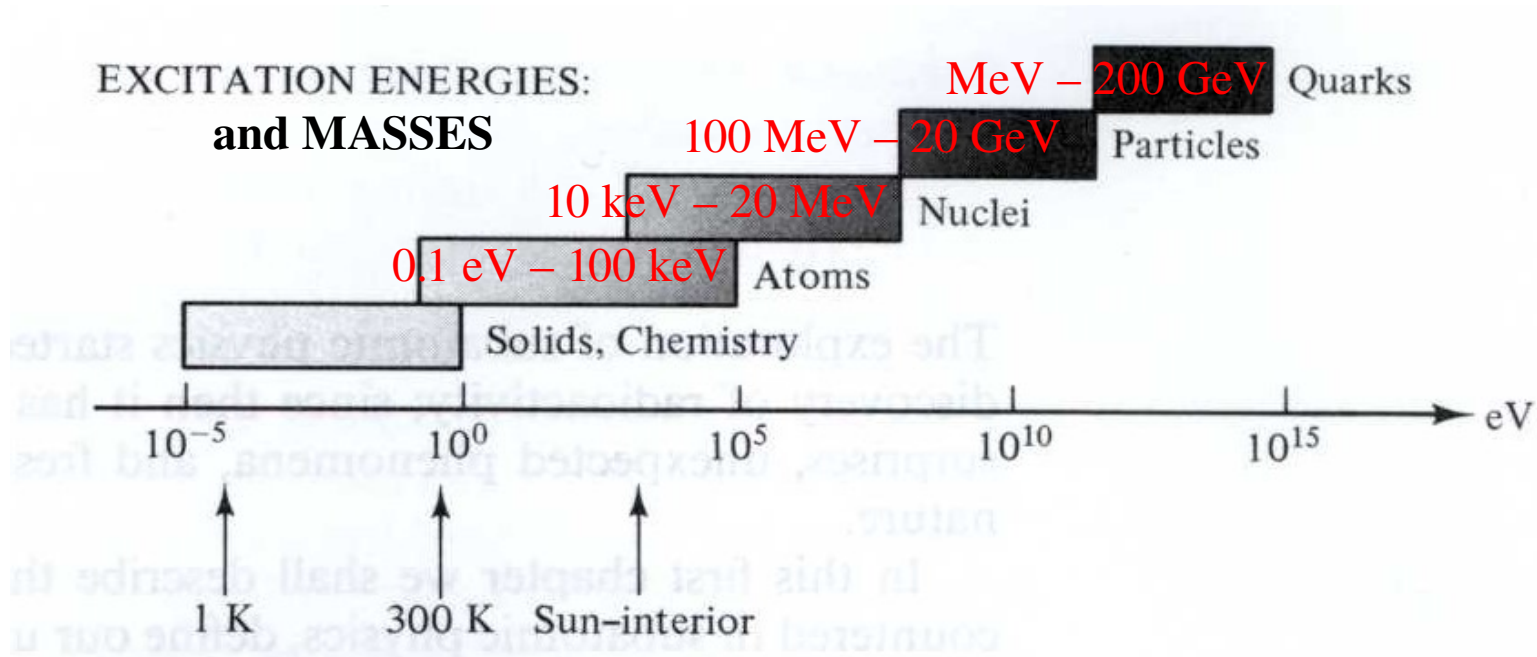
# typische Skalen in der Atom-, Kern- und Teilchenphysik:



DENSITY:



# typische Skalen in der Atom-, Kern- und Teilchenphysik:



# Einheiten

## SI Values

Energy	1 eV	$=1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
	1 MeV = $10^6$ eV	$=1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$
	1 GeV = 1000 MeV	$=1.602 \times 10^{-10} \text{ J}$
Momentum	1 MeV/c	$=5.344 \times 10^{-22} \text{ kg m s}^{-1}$
Mass	1 MeV/c <sup>2</sup>	$=1.783 \times 10^{-30} \text{ kg}$
The unified atomic mass unit ( <sup>12</sup> C scale)	1 u = 931.5 MeV/c <sup>2</sup>	$=1.661 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Length	1 fermi (fm)	$=1.0 \times 10^{-15} \text{ m}$
Other quantities	$\hbar c = 197.3 \text{ MeV fm}$	$=3.162 \times 10^{-26} \text{ J m}$
	$c = 2.998 \times 10^{23} \text{ fm s}^{-1}$	$=2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
	$\hbar = 6.588 \times 10^{-22} \text{ MeV s}$	$=1.055 \times 10^{-34} \text{ J s}$
	$= 197.3 \text{ MeV}/c \text{ fm}$	

## The fine-structure constant

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} = \frac{1}{137.04}$$

$$e^2/4\pi\epsilon_0 = \text{“}e^2\text{”} = 1.44 \text{ MeV fm}$$

## Natural units

$$\hbar = c = 1$$

$$1 \text{ unit of mass} = 1 \text{ GeV}$$

$$1 \text{ unit of length} = 1 \text{ GeV}^{-1} = 0.1975 \text{ fm}$$

$$1 \text{ unit of time} = 1 \text{ GeV}^{-1} = 6.588 \times 10^{-25} \text{ s}$$



**werden wir in der PEP4 i.A. nicht benutzen!**

# Termschema Wasserstoff

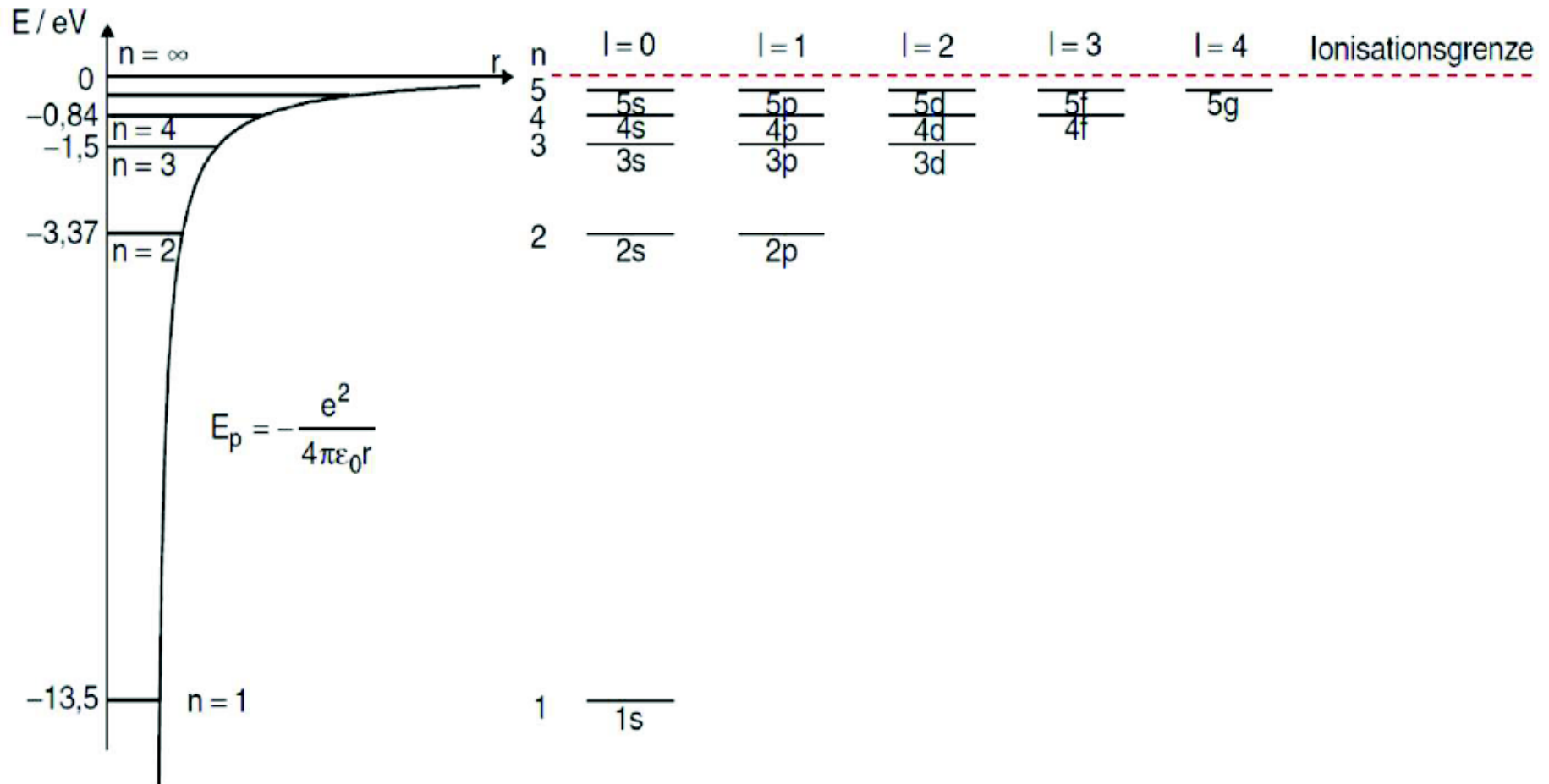
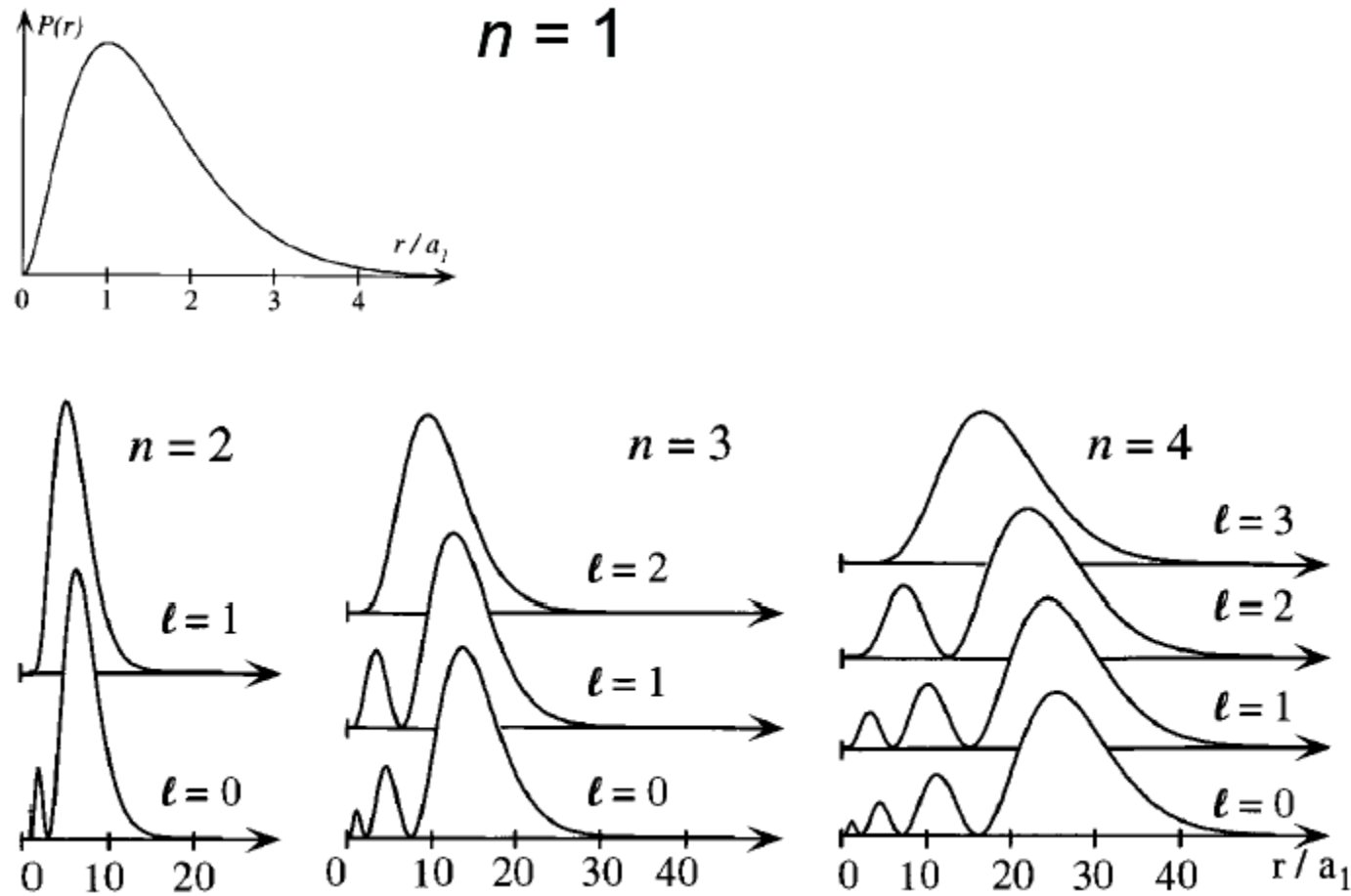


Fig. 1.1

# Wasserstoff



Radiale Wahrscheinlichkeitsdichte  $r^2 |R_{n,\ell}(r)|^2$  in Einheiten des Bohrradius

Fig. 1.2

# Absolutquadrat der normierten Kugelflächenfunktionen = Winkelanteil<sup>2</sup> der Wasserstoffwellenfunktionen

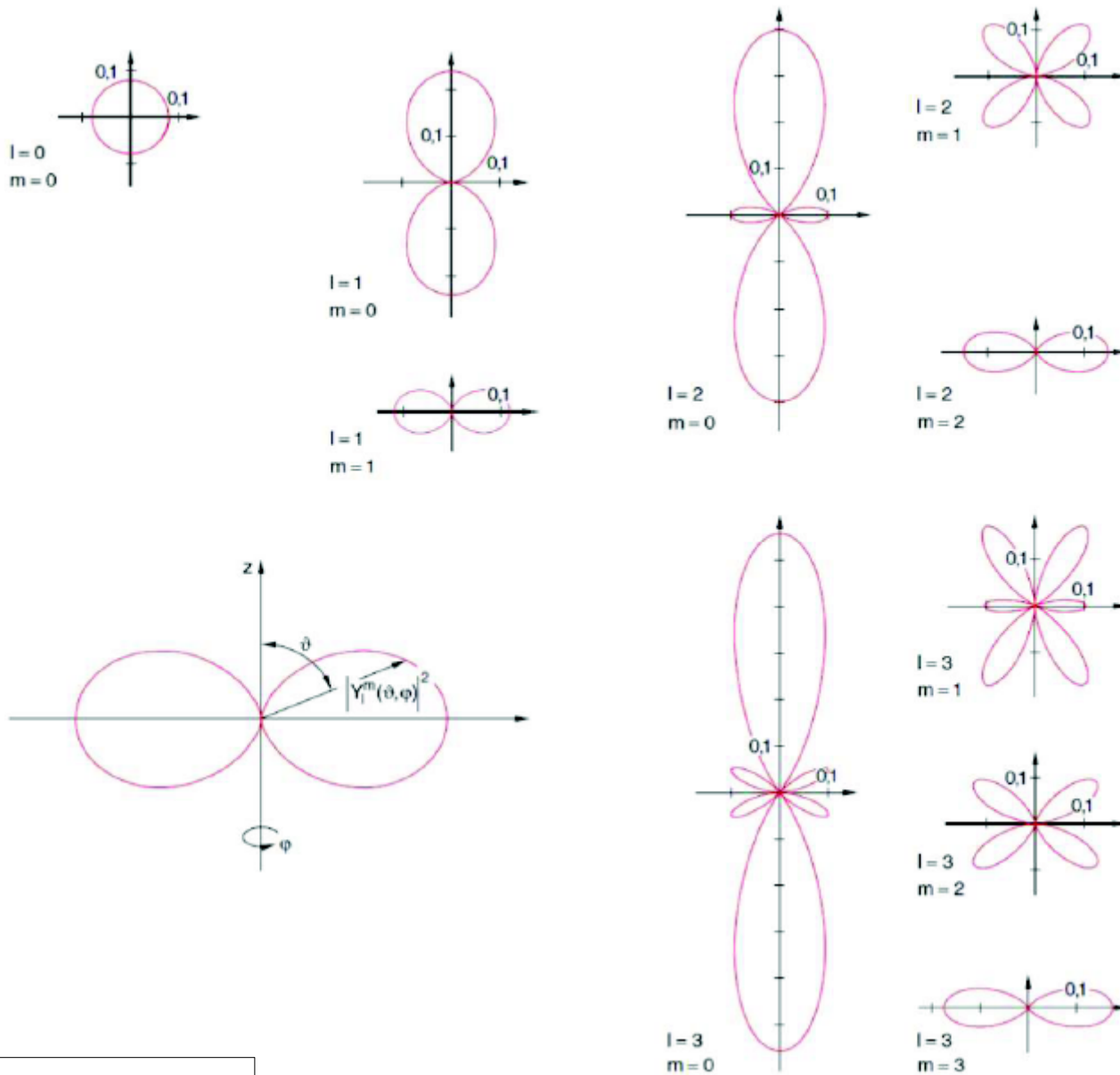


Fig. 1.3



# Termschema Helium-Atom

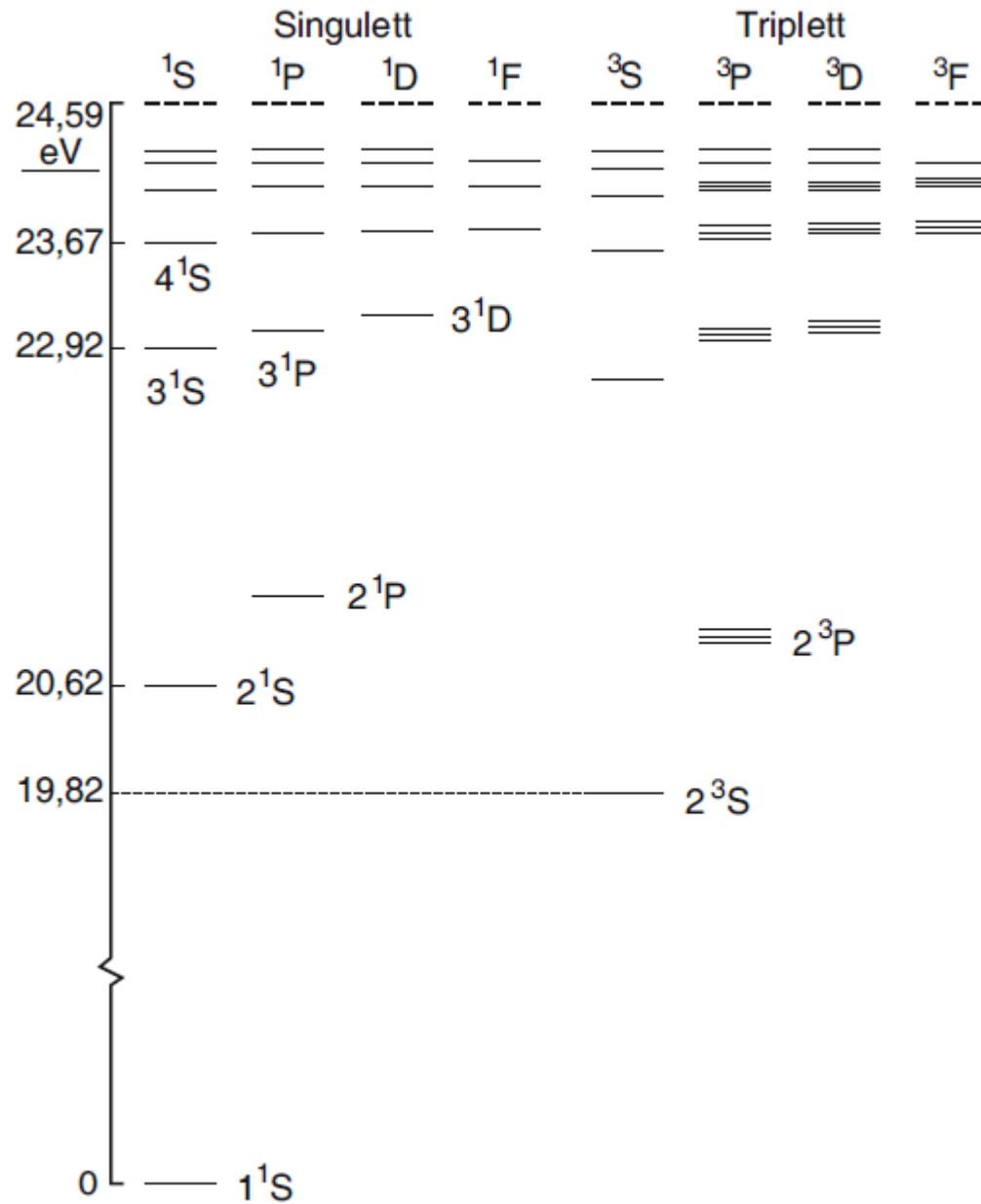
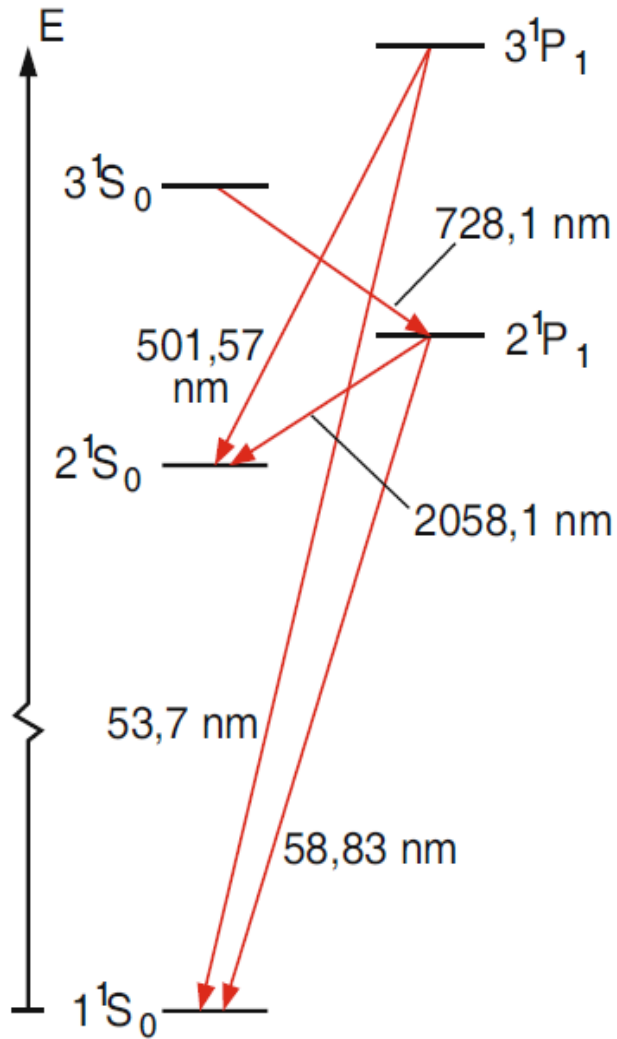


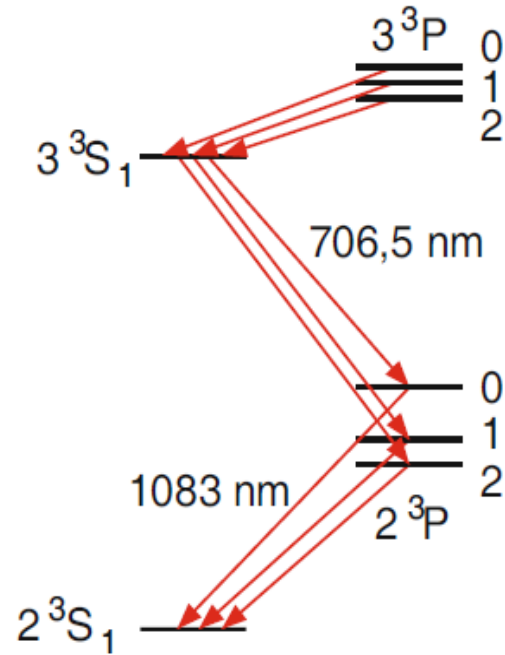
Fig. 1.4

# Helium Spektrum

Singulett-System



Triplet-System



für höhere J, auch mehr als  
3 Komponenten →

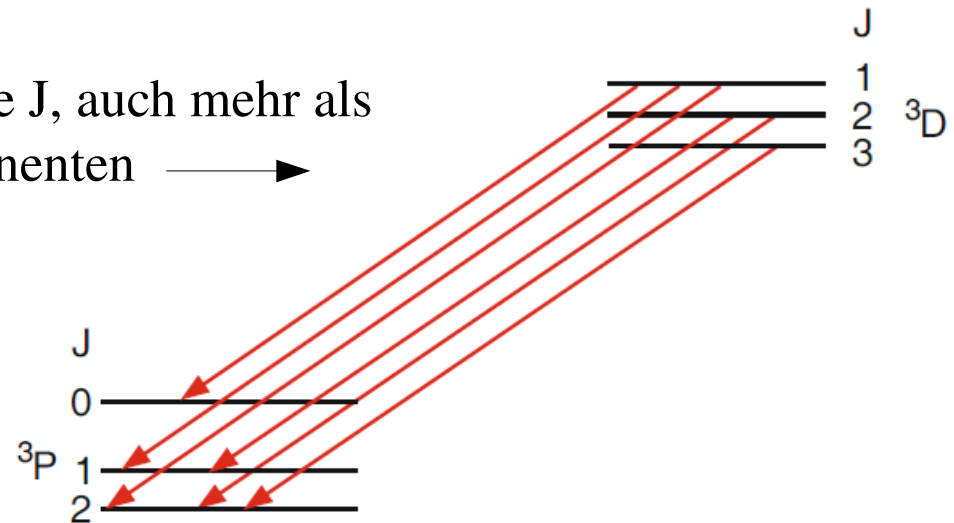


Fig. 1.5

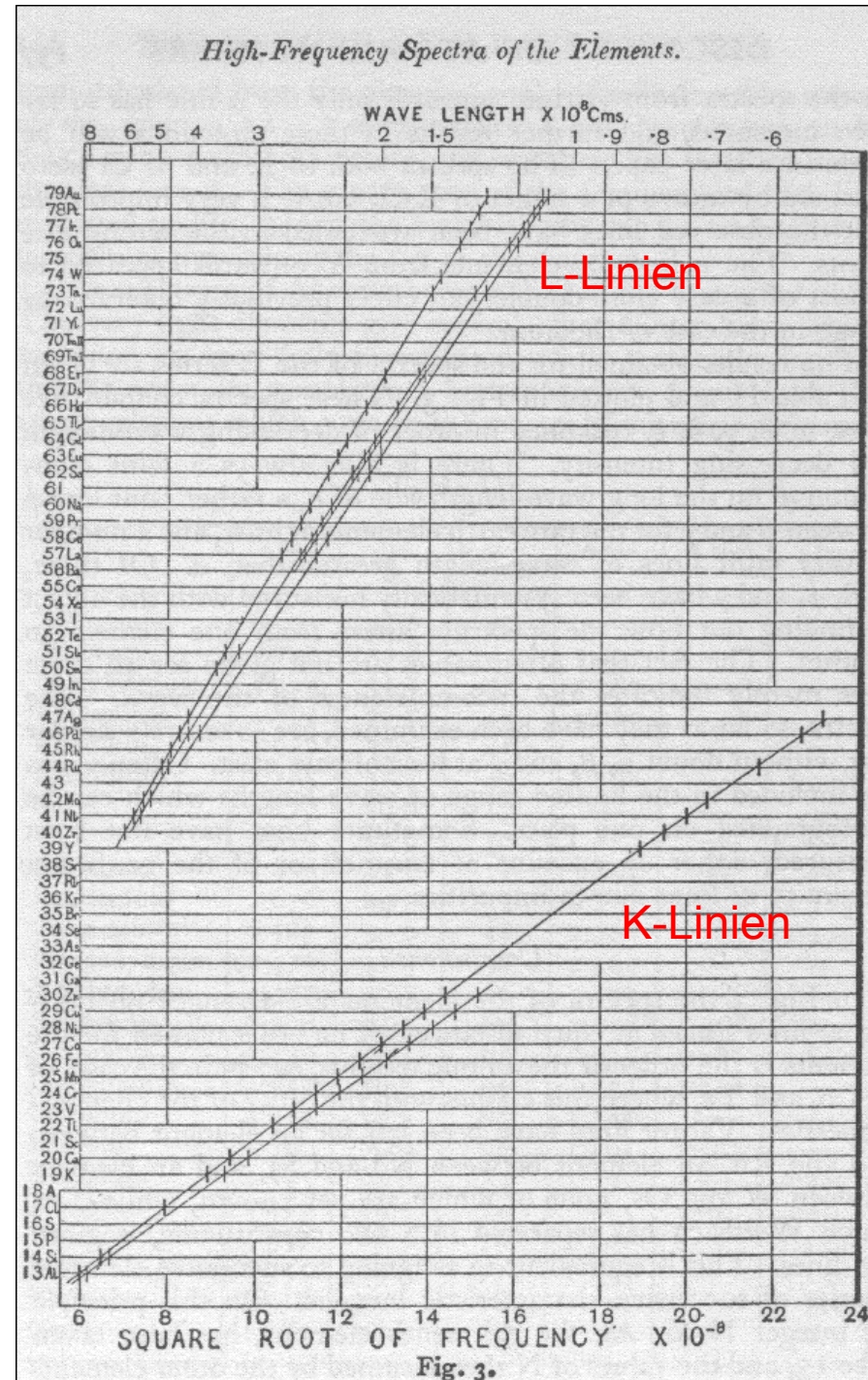
# Moseley's Gesetz



H.G.J. Moseley 23.11.1887 – 10.8.1915  
 - Beweis Richtigkeit Konzept der Ordnungszahl  
 - Beweis umstrittene Atomtheorie

H.G.J. Moseley, Phil. Mag. (1913) 1024

Fig. 1.6



# Wahrscheinlichkeitsdichte der Elektronen in Natrium

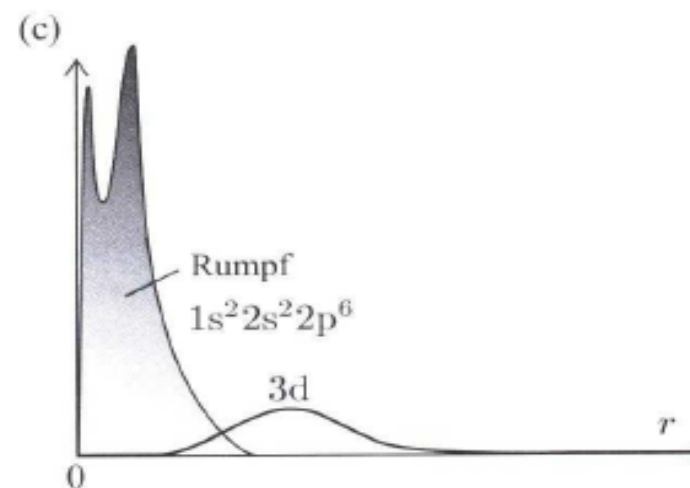
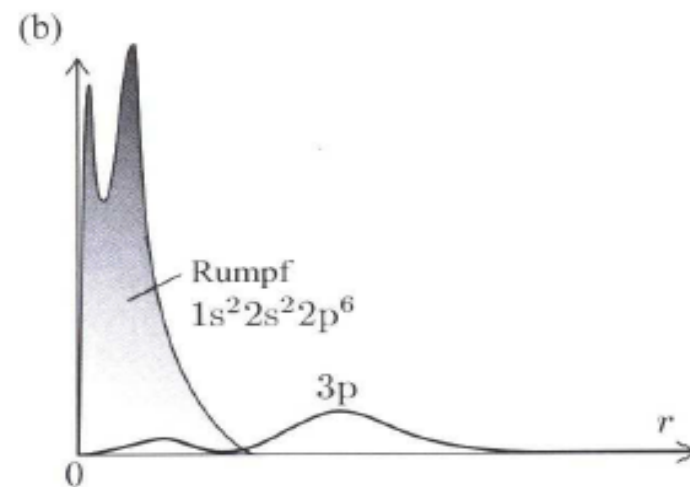
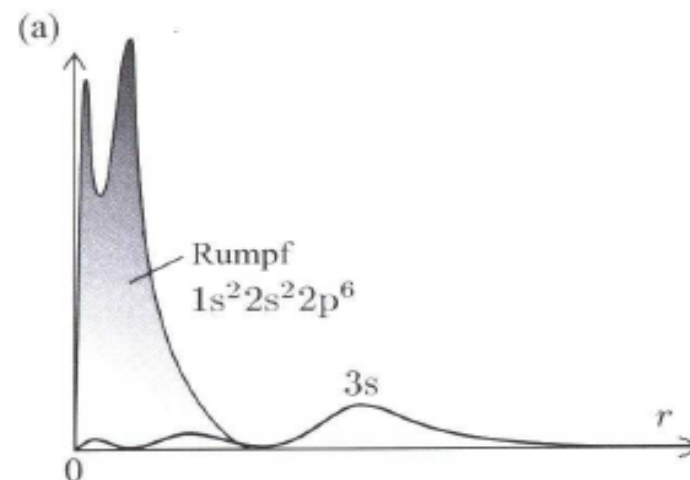


Fig. 1.7

# Atomradien bzw. -Volumina

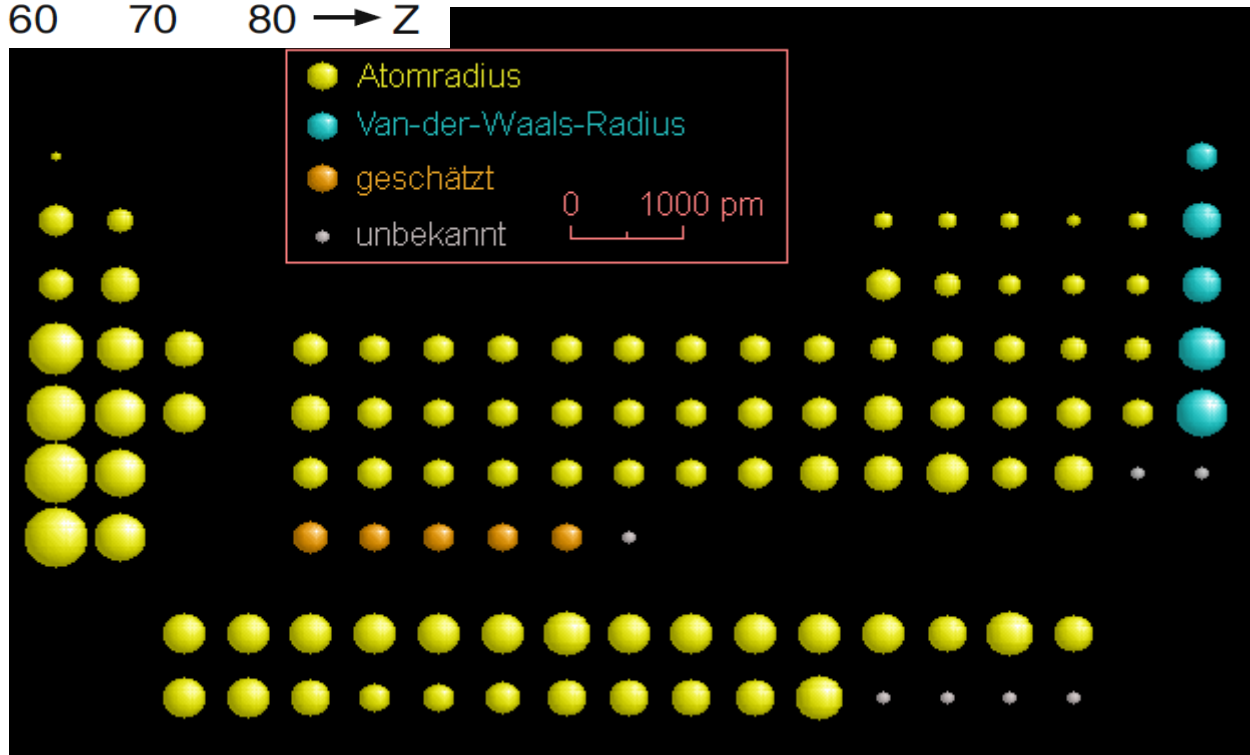
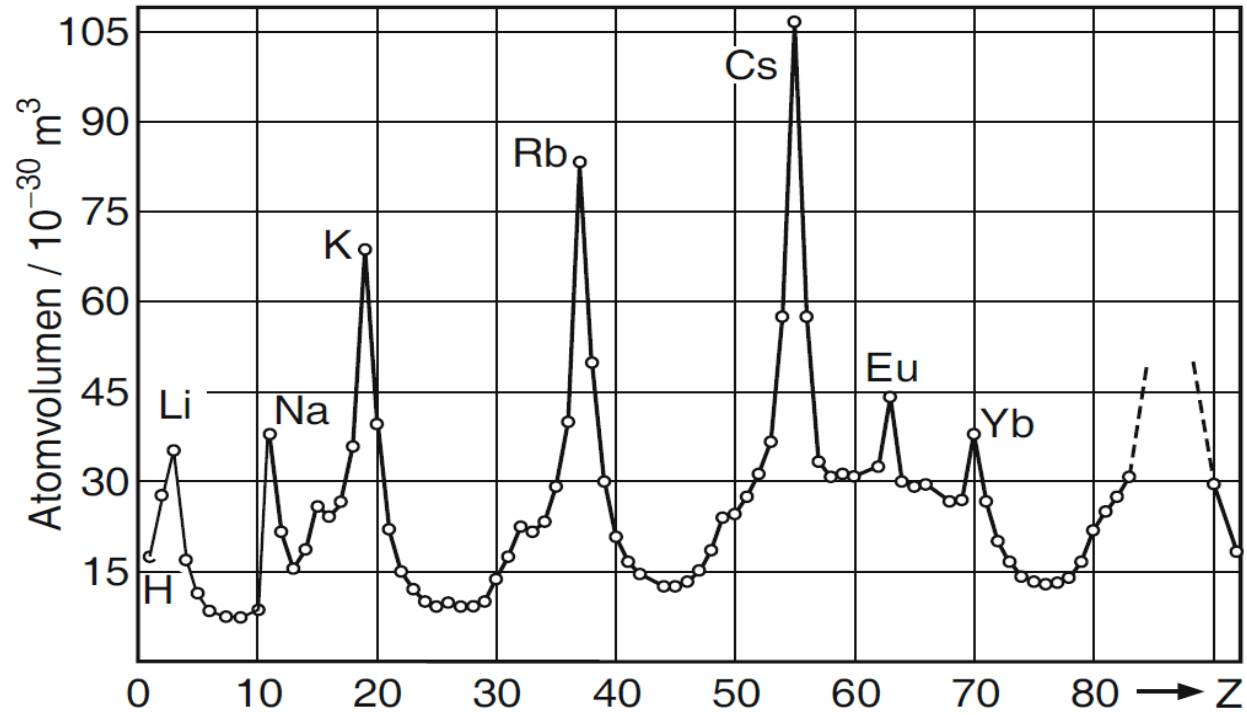


Fig. 1.8

# Ionisierungsenergien von Atomen

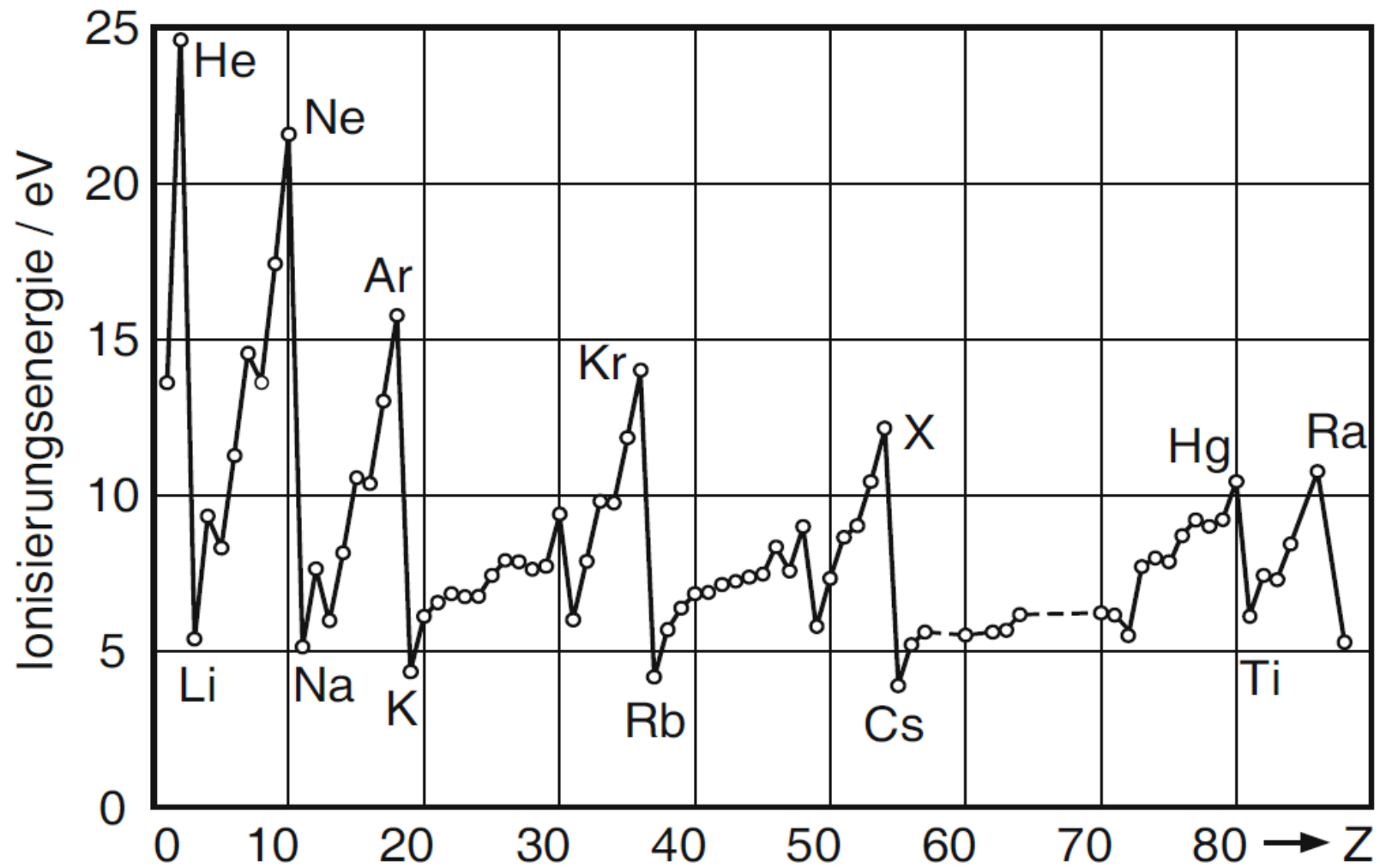


Fig. 1.9

# Periodensystem der Elemente

Alkalimetalle	Erdalkalimetalle	Halogene	Edelgase	Übergangsmetalle
Metalle	Halbmetalle	Nichtmetalle	Lanthanoide	Actinoide

IA																				VIII A															
1	1,0079																			2	4,0026														
1	2,2 H																			2	He														
	Wasserstoff																				Helium														
IIA																				IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA										
3	6,941	4	9,0122																			5	10,811	6	12,011	7	14,007	8	15,999	9	18,998	10	20,180		
2	0,98 Li	1,57 Be																			2,04 B	2,55 C	3,04 N	3,44 O	3,98 F	Ne									
	Lithium	Beryllium																			Ber	Kohlenstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Fluor	Neon									
11	22,990	12	24,305																			13	26,982	14	28,086	15	30,974	16	32,065	17	35,453	18	39,948		
3	0,93 Na	1,31 Mg																			1,61 Al	1,9 Si	2,19 P	2,58 S	3,16 Cl	Ar									
	Natrium	Magnesium																			Aluminium	Silicium	Phosphor	Schwefel	Chlor	Argon									
III B		IV B		V B		VI B		VII B		VIII B				I B		II B																			
19	39,098	20	40,078	21	44,956	22	47,867	23	50,942	24	51,996	25	54,938	26	55,845	27	58,933	28	58,693	29	63,546	30	65,39	31	69,723	32	72,64	33	74,922	34	78,96	35	79,904	36	83,80
4	0,82 K	1 Ca	1,36 Sc	1,54 Ti	1,63 V	1,66 Cr	1,6 Mn	1,83 Fe	1,88 Co	1,91 Ni	1,9 Cu	1,65 Zn	1,81 Ga	2,01 Ge	2,18 As	2,55 Se	2,96 Br	3,0 Kr																	
	Kalium	Calcium	Scandium	Titan	Vanadium	Chrom	Mangan	Eisen	Cobalt	Nickel	Kupfer	Zink	Gallium	Germanium	Arsen	Selen	Brom	Krypton																	
37	85,468	38	87,62	39	88,906	40	91,224	41	92,906	42	95,94	43	(97)	44	101,0	45	102,91	46	106,42	47	107,87	48	112,41	49	114,82	50	118,71	51	121,76	52	127,60	53	126,90	54	131,29
5	0,82 Rb	0,95 Sr	1,22 Y	1,33 Zr	1,6 Nb	2,2 Mo	1,9 Tc	2,2 Ru	2,28 Rh	2,2 Pd	1,93 Ag	1,69 Cd	1,78 In	1,96 Sn	2,05 Sb	2,1 Te	2,66 I	2,6 Xe																	
	Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirkonium	Niob	Molybdän	Technetium	Ruthenium	Rhodium	Palladium	Silber	Cadmium	Indium	Zinn	Antimon	Tellur	Jod	Xenon																	
55	132,91	56	137,33	*	72	178,49	73	180,95	74	183,84	75	186,21	76	190,23	77	192,22	78	195,08	79	196,97	80	200,59	81	204,38	82	207,2	83	208,98	84	(209)	85	(210)	86	(222)	
6	0,79 Cs	0,89 Ba		1,3 Hf	1,5 Ta	1,7 W	1,9 Re	2,2 Os	2,2 Ir	2,2 Pt	2,4 Au	1,9 Hg	1,8 Tl	1,8 Pb	1,9 Bi	2 Po	2,2 At	Rn																	
	Cäsium	Barium		Hafnium	Tantal	Wolfram	Rhenium	Osmium	Iridium	Platin	Gold	Quecksilber	Thallium	Blei	Bismut	Polonium	Astat	Radon																	
87	(223)	88	(226)	**	104	(267)	105	(268)	106	(271)	107	(270)	108	(277)	109	(276)	110	(281)	111	(280)	112	(285)	113	(287)	114	(289)	115	(288)	116	(289)	117	(291)	118	(293)	
7	0,7 Fr	0,9 Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo																	
	Francium	Radium		Rutherfordium	Dubnium	Seaborgium	Bohrium	Hassium	Meitnerium	Darmstadtium	Röntgenium	Copernicium	Ununtrium	Ununquadium	Ununpentium	Ununhexium	Ununseptium	Ununoctium																	
* Lanthanoide		57	138,91	58	140,12	59	140,91	60	144,24	61	(145)	62	150,36	63	151,86	64	157,25	65	158,93	66	162,50	67	164,93	68	167,26	69	168,93	70	173,04	71	174,97				
		1,1 La	1,12 Ce	1,13 Pr	1,14 Nd	1,13 Pm	1,17 Sm	1,2 Eu	1,2 Gd	1,1 Tb	1,22 Dy	1,23 Ho	1,24 Er	1,25 Tm	1,1 Yb	1,27 Lu																			
		Lanthan	Cer	Praseodym	Neodym	Promethium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Luettium																			
** Actinoide		89	(227)	90	232,04	91	231,04	92	238,03	93	(237)	94	(244)	95	(243)	96	(247)	97	(247)	98	(251)	99	(252)	100	(257)	101	(258)	102	(259)	103	(262)				
		1,1 Ac	1,3 Th	1,5 Pa	1,7 U	1,3 Np	1,28 Pu	1,1 Am	1,3 Cm	1,13 Bk	1,3 Cf	1,3 Es	1,3 Fm	1,3 Md	1,6 No	1,3 Lr																			
		Actinium	Thorium	Protactinium	Uran	Neptunium	Plutonium	Americium	Curium	Berkelium	Californium	Einsteinium	Fermium	Mendelevium	Nobelium	Lawrencium																			

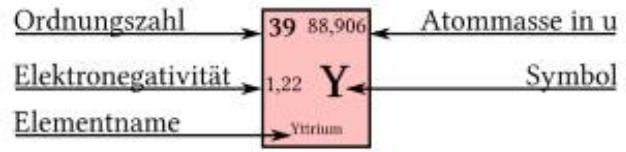


Fig. 1.10