

Struktura elektronowa

- Struktura elektronowa atomów – układ okresowy pierwiastków:

1) elektrony w atomie zajmują poziomy energetyczne od dołu,

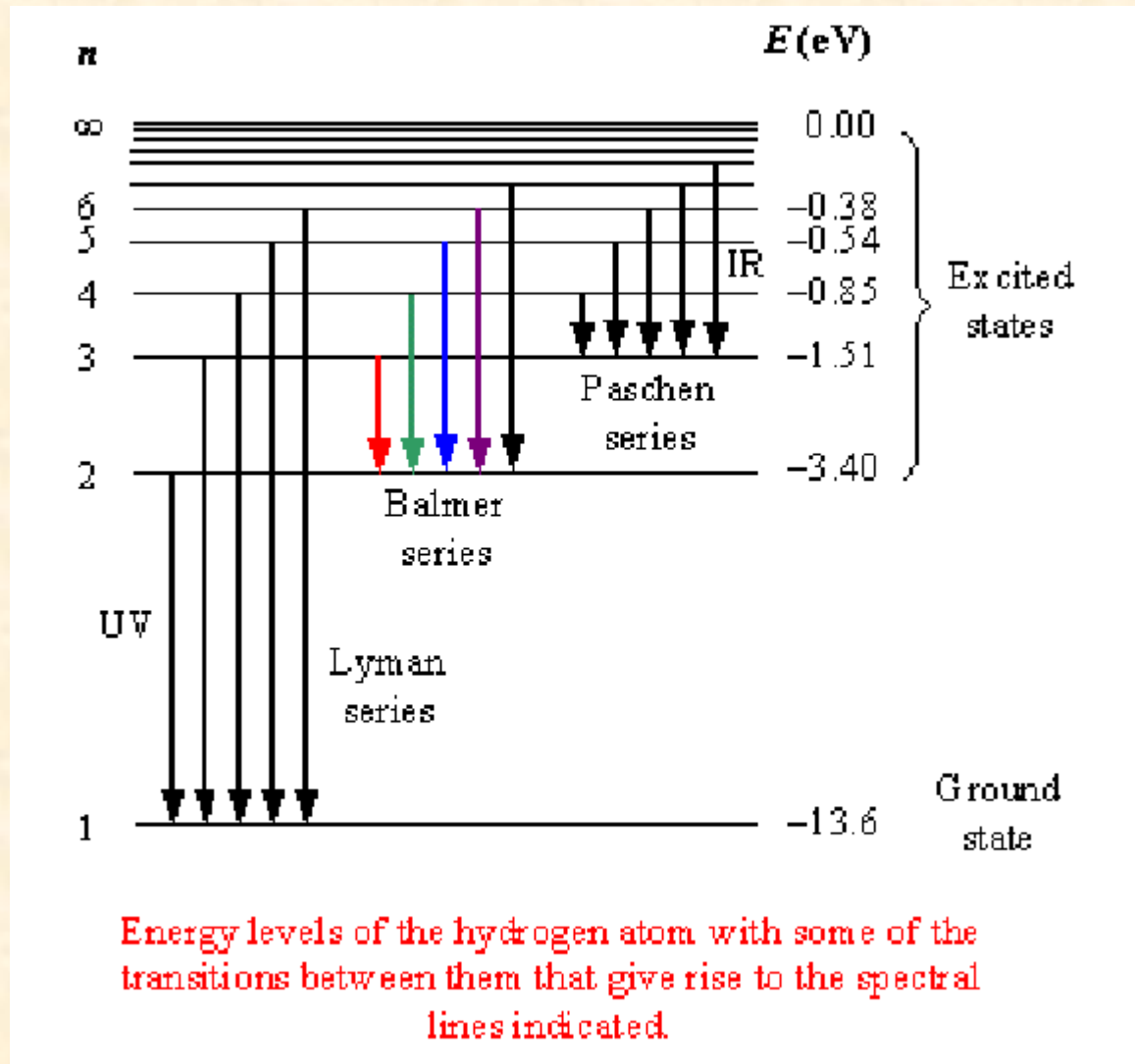
inaczej niż te gołębie (w Australii, ale tam i tak chodzi się do góry nogami)

[żart]

<http://www.karwasz.it/modern/australia.html>



Model Bohra atomu wodoru

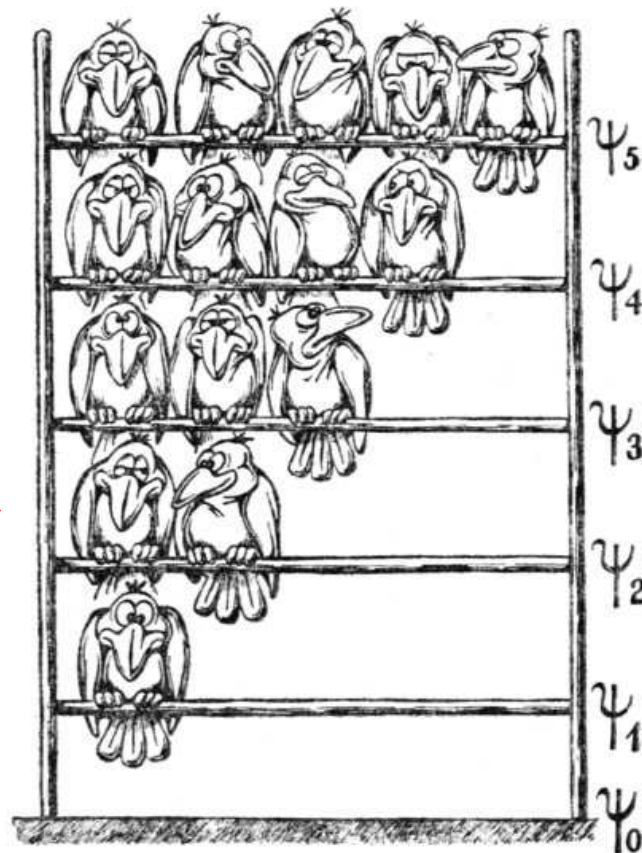


Elektrony zajmują poziomy energetyczne od dołu

Opis poniżej nie jest poprawny, ale rysunek mniej więcej - tak:

- na niższych poziomach mieści się mniej elektronów, np. na
1^o orbicie (K) dwa: $1s^2$
2^o orbicie (L) osiem $2s^2p^6$
3^o orbicie (M) osiemnaście $3s^2p^6d^{10}$

~~Rys. 3.5. Bozony-fotony (ptaszki) „obsiadają” szczeble drabiny poziomów oscylatora kwantowego. Liczba bozonów 0, 1, 2, 3, ... odpowiada stopniowi wzbudzenia 0, 1, 2, 3, ... Na szczeblu zerowym nie ma ani jednego bozonu, lecz energia nie jest równa zero~~



Elektrony zajmują poziomy energetyczne od dołu

Jak widać na zdjęciu obok, elektrony na określonej orbicie lokują się kolejno na podpoziomach, np. na 3^o orbicie

- s^2
- p^6
- d^{10}



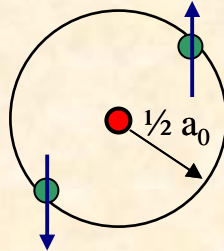
Tours, Francja, XII 2005
[żart]

z czego to wynika?

- z tzw. zakazu Pauliego:

„nie jest możliwe, aby dwa elektrony zajmowały to samo miejsce [w przestrzeni konfiguracyjnej]”

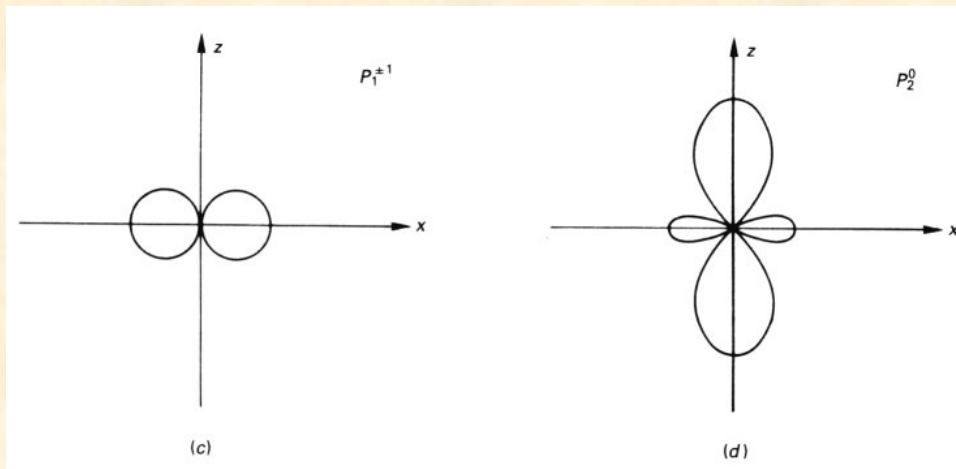
na przykład, na pierwszej orbicie (sferycznej) dwa elektrony różnią się kierunkiem krętu (spinu), tak jak to jest w atomie helu



Podobnie na orbitalu s którejkolwiek z orbit, K, L, M itd. mieszczą się tylko dwa elektrony

orbitale s , p , d itd.

- Na drugiej orbicie, oprócz orbitalu s możliwe są trzy orbitale p (zorientowane w trzech kierunkach x , y , z)



kształt orbitalu p

kształt orbitalu d



rozkład prawdopodobieństwa znalezienia elektronu na orbitalu:

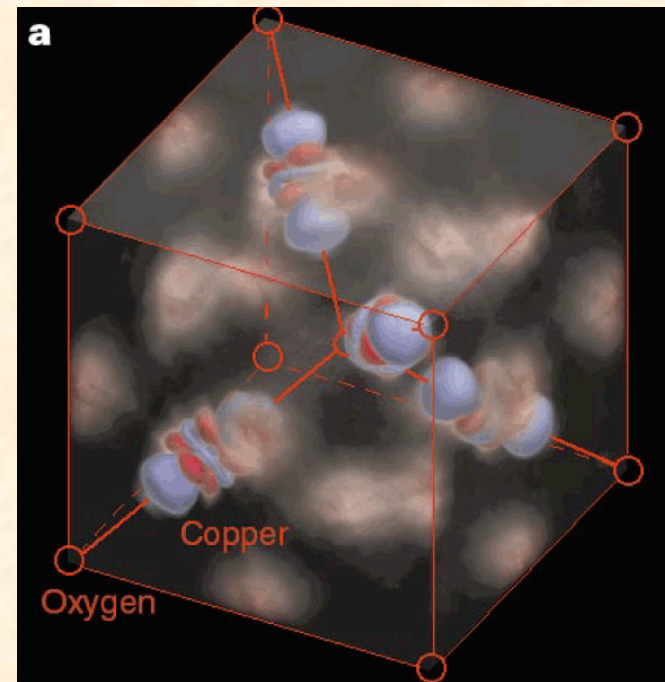
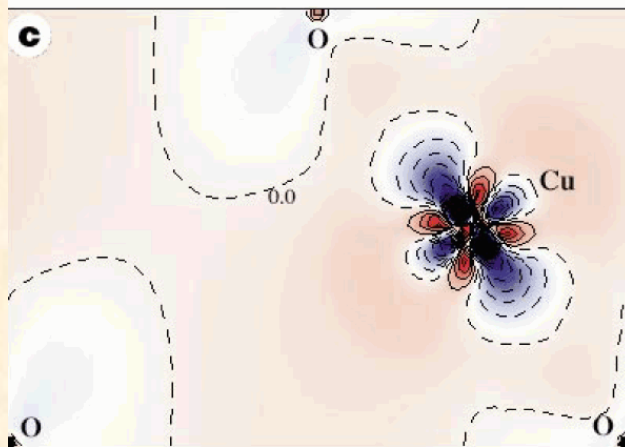
p_y

i na orbitalu p_x

orbitale s , p , d itd.

- Na trzeciej orbicie, oprócz orbitalu s możliwe są trzy orbitale p oraz 5 orbitali d (o kształcie jakby obwarzanków z uszami)

! o dziwo, taki kształt orbitali niedawno zaobserwowano doświadczalnie!



[Direct observation of \$d\$ -orbital holes and Cu–Cu bonding in Cu₂O](#)

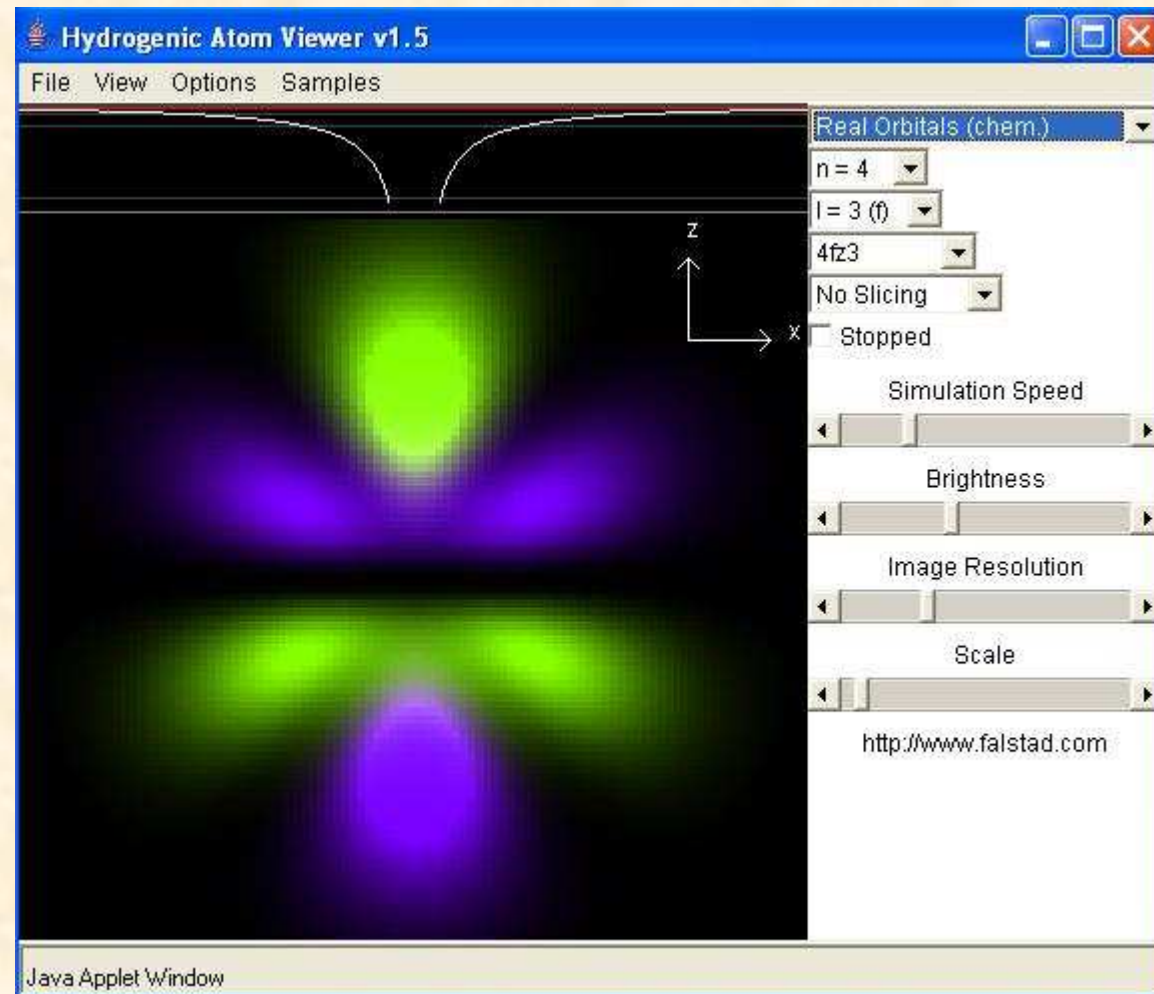
J. M. Zuo, M. Kim, M. O'Keeffe and J. C. H. Spence

Nature 401, 49-52(2 September 1999)

doi:10.1038/43403

orbitale s , p , d itd.

- Orbitale f mają „kształt” jeszcze bardziej skomplikowany, jak np. jeden z orbitali $4f$



Rozwiązanie dokładne: równanie Schrödingera

całego problemu — możemy dojść do pewnych wyników korzystając wyłącznie z faktu, że $V(r)$ przedstawia *pole centralne*, nie wiedząc nawet, że jest to pole kulombowskie. $V(r)$ reprezentuje pole centralne we względnej współrzędnej r . Dzięki rozdzielaniu współrzędnych możemy wyeliminować ruch środka masy atomu (patrz zadanie 2.1) i przejść do współrzędnych kulistych (r, θ, φ) . Wprowadzając masę zredukowaną układu elektron-jądro, $m = m_0 M / (m_0 + M)$, otrzymujemy następującą prostą postać niezależnego od czasu równania Schrödingera, opisującego ruch względny

$$\left(\frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r) \right) \psi = E \psi, \quad (2.30)$$

$$V(r) = -Ze^2/r, \quad (2.31)$$

gdzie

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right\}. \quad (2.32)$$

Początek układu współrzędnych znajduje się w jądrze.

Najważniejszą konsekwencją tego, że $V(r)$ jest polem centralnym, jest możliwość rozdzielania części radialnej i kątowej:

$$\psi(r, \theta, \varphi) = R(r) Y(\theta, \varphi). \quad (2.33)$$

Możliwe jest także dalsze rozdzielanie

$$Y(\theta, \varphi) = \Theta(\theta) \Phi(\varphi). \quad (2.34)$$

W wyniku otrzymujemy trzy równania różniczkowe, z których każde zależy od jednej tylko współrzędnej r, θ, φ (patrz zadanie 2.2)

$$\frac{d^2 \Phi}{d\varphi^2} = -m_l^2 \Phi, \quad (2.35)$$

$$-\frac{1}{\sin \theta} \frac{d}{d\theta} \left(\sin \theta \frac{d\Theta}{d\theta} \right) + \frac{m_l^2}{\sin^2 \theta} \Theta = l(l+1) \Theta, \quad (2.36)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) - \frac{l(l+1)}{r^2} R - \frac{2m}{\hbar^2} V(r) R + \frac{2mE}{\hbar^2} R = 0, \quad (2.37)$$

$-m_l^2$ i $l(l+1)$ są stałymi. Przekonamy się wkrótce dlaczego nadano im taką, a nie inną postać.

Z połączenia równań (2.35) i (2.36) dostajemy równanie dla całkowitej funkcji kątowej $Y(\theta, \varphi)$:

$$\left\{ -\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right\} Y = l(l+1) Y. \quad (2.38)$$

Zarówno równanie (2.35), jak (2.36) są równaniami na wartości własne. Z czysto matematycznych rozważań* wynika, że jedynymi możliwymi do przyjęcia rozwiązaniami równania (2.36) są rozwiązania, dla których Θ jest różniczkowalne i regularne dla $\cos \theta = \pm 1$. Rozwiązania są proporcjonalne do stowarzyszonych funkcji Legendre'a $P_l^{m_l}(\cos \theta)$, które są wielomianami stopnia l , gdzie

$$l = 0, 1, 2, \dots \quad (2.39)$$

m_l jest również liczbą całkowitą, dodatnią lub ujemną spełniającą warunek

$$|m_l| \leq l. \quad (2.40)$$

Rozwiązanie równania (2.35) ma postać

$$\Phi = e^{im_l \varphi}, \quad (2.41)$$

gdzie m_l , jak widzieliśmy, jest ograniczone do pewnych wartości całkowitych. Zatem funkcja Φ , podobnie jak Θ , jest jednoznaczna funkcją argumentu. Jednoznaczność ta nie jest koniecznym postulatem mechaniki falowej. Wynika ona z warunku, że mamy do czynienia z centralnym polem w przestrzeni (r, θ, φ) .

Stałą proporcjonalności w $\Theta = N_l^{m_l} P_l^{m_l}(\cos \theta)$ można tak dobrać, żeby całkowita funkcja kątowa Y była unormowana do jedności. Wówczas Y , której dajemy wskaźniki l, m_l , jest *funkcją kulistą*

$$Y_l^{m_l}(\theta, \varphi) = (-1)^{m_l} \left[\frac{(2l+1)(l-m_l)!}{4\pi(l+m_l)!} \right]^{1/2} P_l^{m_l}(\cos \theta) e^{im_l \varphi} \quad \text{dla } m_l \geq 0 \quad (2.42)$$

i

$$Y_l^{-m_l} = (-1)^{m_l} Y_l^{m_l*},$$

gdzie

$$\int Y_l^{m_l*} Y_l^{m_l} d\Omega = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \sin \theta d\theta Y_l^{m_l*} Y_l^{m_l} = 1. \quad (2.43)$$

* Matematyczne rozwiązania tych równań można znaleźć w podręcznikach mechaniki kwantowej.

Rozkłady kątowe: wielomiany Legendre'a

Funkcje kuliste spełniają warunek *ortogonalności*

$$\int Y_l^{m_l} Y_l^{m_l'} d\Omega = \delta_{m_l, m_l'} \delta_{l, l'} \quad (2.44)$$

Wprowadziliśmy zatem na drodze czysto matematycznej dwie liczby całkowite l i m_l . Ich interpretacją fizyczną zajmiemy się później. Kilka funkcji kulistych i ogólną postać $P_l^{m_l}(\cos \theta)$ daje tabela 2.1. Jeszcze raz podkreślamy, że dyskusja kątowej części funkcji falowej wynika z samego istnienia centralnego pola, a nie ze szczególnej postaci $V(r)$.

Na to, by znaleźć wartości własne energii, trzeba rozwiązać równanie (2.37). Musimy teraz skorzystać z jawnej postaci $V(r) = -Ze^2/r$. Ogra-

Tabela 2.1. Funkcje kuliste

$$\begin{aligned} Y_0^0 &= \sqrt{\frac{1}{4\pi}} \\ Y_1^0 &= \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos \theta \\ Y_1^{\pm 1} &= \mp \sqrt{\frac{3}{8\pi}} \sin \theta e^{\pm i\varphi} \\ Y_2^0 &= \sqrt{\frac{5}{16\pi}} (3 \cos^2 \theta - 1) \\ Y_2^{\pm 1} &= \mp \sqrt{\frac{15}{8\pi}} \sin \theta \cos \theta e^{\pm i\varphi} \\ Y_2^{\pm 2} &= \sqrt{\frac{15}{32\pi}} \sin^2 \theta e^{\pm 2i\varphi} \\ Y_l^{m_l}(\theta, \varphi) &= (-1)^{m_l} \left\{ \frac{(2l+1)(l-m_l)!}{4\pi(l+m_l)!} \right\}^{\frac{1}{2}} P_l^{m_l}(\cos \theta) e^{im_l\varphi}, \quad m_l \geq 0 \\ Y_l^{-m_l} &= (-1)^{m_l} Y_l^{m_l*} \\ P_l^{m_l}(x) &= (1-x^2)^{|m_l|/2} \frac{d^{|m_l|}}{dx^{|m_l|}} P_l(x) \\ P_l(x) &= \frac{1}{2^l l!} \frac{d^l}{dx^l} (x^2-1)^l \\ \text{Warunek unormowania:} \quad \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin \theta d\theta d\varphi Y_l^{m_l*} Y_l^{m_l} &= 1 \end{aligned}$$

niczymy się do ujemnych wartości E , co odpowiada stanom związanym atomu. Zapewni nam to podstawienie

$$a^2 = -\frac{\hbar^2}{8mE} \quad (2.45)$$

Przechodząc do nowej zmiennej:

$$\rho = r/a \quad (2.46)$$

i oznaczając

$$\lambda = 2mZe^2 a / \hbar^2, \quad (2.47)$$

możemy przekształcić równanie (2.37) do postaci

$$\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho^2 \frac{dR}{d\rho} \right) + \left\{ \frac{\lambda}{\rho} - \frac{1}{4} - \frac{l(l+1)}{\rho^2} \right\} R = 0. \quad (2.48)$$

Często wprowadza się następującą funkcję falową

$$P(r) = rR. \quad (2.49)$$

W tym przypadku równanie (2.48) przybiera postać

$$\frac{d^2 P(r)}{dr^2} + \left\{ \frac{\lambda}{r} - \frac{1}{4} - \frac{l(l+1)}{r^2} \right\} P(r) = 0. \quad (2.50)$$

Rozwiązanie równania (2.48), takie że R pozostaje skończone, gdy $r \rightarrow \infty$ i zachowuje się właściwie w początku układu, to znaczy $rR \rightarrow 0$, gdy $r \rightarrow 0$, jest następujące

$$R(\rho) = e^{-\rho/2} \rho^l F(\rho). \quad (2.51)$$

$F(\rho)$ jest wielomianem związanym z przyporządkowanymi wielomianami Laguerre'a. Z zapisu równania (2.51) widoczne są asymptotyczne postaci funkcji R : $e^{-\rho/2}$, gdy $\rho \rightarrow \infty$ i ρ^l , gdy $\rho \rightarrow 0$. Z warunku, że ten szereg potęgowy zmiennej ρ powinien urywać się dostajemy, że λ jest liczbą całkowitą

$$\lambda = n \quad (n \geq l+1), \quad (2.52)$$

czyli

$$n = l+1+n' \quad (n' = 0, 1, 2, \dots) \quad (2.53)$$

i znów wprowadziliśmy liczbę całkowitą na drodze czysto matematycznej.

Rozwiązanie dokładne: funkcje radialne

Funkcję R oznaczamy dwoma wskaźnikami n i l . $R_{nl}(r)$ jest unormowana zgodnie z warunkiem

$$\int_0^{\infty} R_{nl}^*(r) R_{nl}(r) r^2 dr = 1, \quad (2.54)$$

czyli

$$\int_0^{\infty} P_{nl}^*(r) P_{nl}(r) dr = 1, \quad (2.55)$$

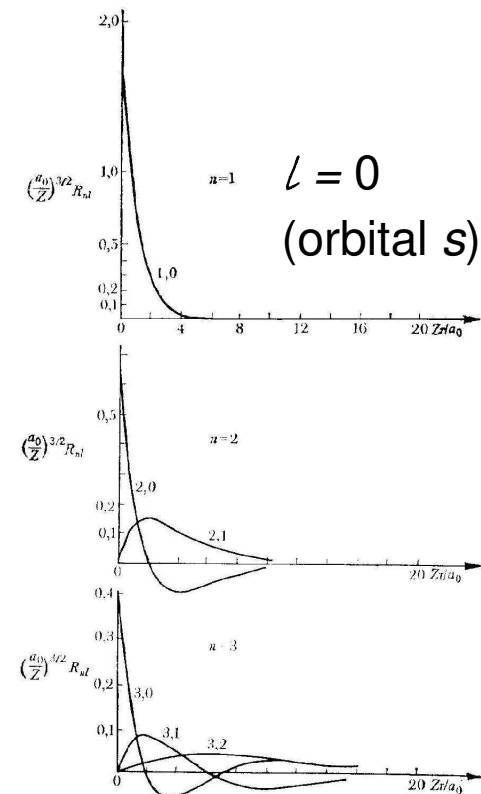
wobec czego całkowita funkcja falowa $\psi_{n,l,m_l} = R_{nl}(r) Y_l^m(\theta, \varphi)$ jest także unormowana. Zestawienie funkcji R_{nl} dla małych wartości n i l dane jest w tabeli 2.2. Wykresy R_{nl} dane są na rysunku 2.1. Widać z nich, że liczba kwantowa n stanowi o radialnym zasięgu funkcji falowej.

Jest widoczne, że zachodzi istotna jakościowa różnica między funkcjami falowymi dla $l=0$ i $l \neq 0$. Dla $l \neq 0$, $R_{nl}(r=0)$ znika. Równanie (2.50) ma postać jednowymiarowego równania ruchu, w którym wyraz $-l(l+1)/\rho^2$ opisuje efektywny potencjał odśrodkowy, który utrzymuje elektron z dala od jądra. Natomiast dla $l=0$ w potencjale brak tego wyrazu i gęstość

Tabela 2.2.

$R_{nl}(r)$
$R_{10} = \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} 2 \exp\left(-\frac{Zr}{a_0}\right)$
$R_{20} = \left(\frac{Z}{2a_0}\right)^{3/2} 2 \left(1 - \frac{Zr}{2a_0}\right) \exp\left(-\frac{Zr}{2a_0}\right)$
$R_{21} = \left(\frac{Z}{2a_0}\right)^{3/2} \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{Zr}{2a_0}\right) \exp\left(-\frac{Zr}{2a_0}\right)$
$R_{30} = \left(\frac{Z}{3a_0}\right)^{3/2} 2 \left[1 - 2\frac{Zr}{3a_0} + \frac{2}{3}\left(\frac{Zr}{3a_0}\right)^2\right] \exp\left(-\frac{Zr}{3a_0}\right)$
$R_{31} = \left(\frac{Z}{3a_0}\right)^{3/2} \frac{4\sqrt{2}}{3} \left(\frac{Zr}{3a_0}\right) \left(1 - \frac{1}{2}\frac{Zr}{3a_0}\right) \exp\left(-\frac{Zr}{3a_0}\right)$
$R_{32} = \left(\frac{Z}{3a_0}\right)^{3/2} \frac{2\sqrt{2}}{3\sqrt{5}} \left(\frac{Zr}{3a_0}\right)^2 \exp\left(-\frac{Zr}{3a_0}\right)$
$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_0 e^2}$

Warunek unormowania: $\int_0^{\infty} R_{nl}^* R_{nl} r^2 dr = 1$



Rys. 2.1. Radialne funkcje falowe dla atomu wodoru. Zwróćmy uwagę na różne skale osi rzędnych

prawdopodobieństwa w początku układu wynosi

$$|\psi_{n00}(0)|^2 = \frac{Z^3}{\pi a_0^3 n^3}. \quad (2.56)$$

Własność ta ma szczególne znaczenie w teorii struktury nadsubtelnej.

Rozwiązania dokładne: promień Bohra

Ujemne wartości własne energii otrzymujemy z warunku (2.52) i równania (2.47):

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{Z^2 e^4 m}{\hbar^2 n^2}. \quad (2.57)$$

Jest to po prostu wzór na skwantowaną energię znaleziony przez Bohra. Kolejne *główne liczby kwantowe* n odpowiadają liczbom $n=1, 2, 3, \dots$ z teorii Bohra. $n-l-1$, czyli n' z równania (2.53) daje liczbę węzłów funkcji R_{nl} . (Z analizy funkcji kulistych wynika, że mają one $l-|m_l|$ węzłów w przedziale $0 < \theta < \pi$). Stąd dostajemy interpretację głównej liczby kwantowej n : jest ona ściśle powiązana z radialną częścią funkcji falowej w przybliżeniu centralnego pola.

We wzorze (2.57) występuje masa zredukowana układu. Zatem jest on słuszny nie tylko dla wodoru, ale dla wszystkich atomów wodorowych, takich jak deuter, tryt, miuonium, pozytonium itd. Jawna zależność od liczby atomowej Z sprawia, że wzór ten można stosować również w przypadku He^+ , Li^{++} ... (patrz zadanie 2.9). Równanie (2.57) możemy napisać w takiej postaci, aby pokazać zależność izotopową, mianowicie

$$E_n = -\left(\frac{1}{2} \frac{e^4 m_0}{\hbar^2}\right) \frac{Z^2}{n^2} \frac{M}{m_0 + M}, \quad (2.58)$$

czyli

$$E_n = -hcR_\infty \frac{Z^2}{n^2} \frac{M}{m_0 + M}. \quad (2.59)$$

R_∞ jest stałą uniwersalną zwaną rydbergiem, odpowiadającą przypadkowi, gdy masę jądra przyjmujemy za nieskończoną

$$R_\infty = \frac{1}{hc} \left(\frac{1}{2} \frac{m_0 e^4}{\hbar^2} \right) = 109\,737,31 \text{ cm}^{-1}. \quad (2.60)$$

= 13,6 eV

Wartość R_∞ podaje się zazwyczaj w elektronowoltach lub cyklach na sekundę. R_∞ jest równe około 13,6 eV lub około $3,3 \cdot 10^{15}$ c/s. Później dyskusję widma wodoru zajmiemy się w paragrafie 2.6.

Podstawiając $n=1$, $Z=1$, $m=m_0$ dostajemy inną stałą, a_0 — promień pierwszej orbity Bohra:

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_0 e^2} = 0,529\,171 \cdot 10^{-8} \text{ cm}. \quad (2.61)$$

= 0.53 Å

Tabela 2.3.

$$\begin{aligned} \langle r^k \rangle &= \int_0^\infty R_{nl}^* r^k R_{nl} r^2 dr \\ \langle r \rangle &= \frac{1}{2} [3n^2 - l(l+1)] \frac{a_0}{Z} \\ \langle r^2 \rangle &= \frac{1}{2} [5n^2 + 1 - 3l(l+1)] n^2 \left(\frac{a_0}{Z} \right)^2 \\ \langle r^{-1} \rangle &= \frac{1}{n^2} \left(\frac{Z}{a_0} \right) \\ \langle r^{-2} \rangle &= \frac{2}{(2l+1)n^3} \left(\frac{Z}{a_0} \right)^2 \\ \langle r^{-3} \rangle &= \frac{1}{l(l+\frac{1}{2})(l+1)n^3} \left(\frac{Z}{a_0} \right)^3 \end{aligned}$$

W teorii Bohra „promień orbity elektronu” dla atomu wodoru o nieskończonej masie jądra wynosi $n^2(a_0/Z)$. Natomiast w mechanice kwantowej mówimy o wartościach oczekiwanych r w różnych potęgach. Można je obliczyć ze wzoru

$$\langle r^k \rangle = \int_0^\infty R_{nl}^* r^k R_{nl} r^2 dr. \quad (2.62)$$

Zestawienie $\langle r^k \rangle$ dla małych dodatnich i ujemnych k dane jest w tabeli 2.3. Zwróćmy uwagę, że promieniowi orbity Bohra odpowiada $\langle r^{-1} \rangle$, natomiast $\langle r \rangle$ dla $l=n-1$ (co odpowiada kołowej orbicie elektronu w teorii Bohra) wynosi

$$\langle r \rangle_{l=n-1} = n^2 \left(1 + \frac{1}{2n} \right) \frac{a_0}{Z}.$$

Zgodność z wartością podaną przez Bohra otrzymuje się tylko w przypadku, gdy $n \rightarrow \infty$. Jest to przykład *zasady odpowiedniości*, która żąda, aby mechanika falowa obejmowała mechanikę klasyczną jako przypadek graniczny, to znaczy przypadek, który ideowo odpowiada $\hbar \rightarrow 0$, w praktyce zaś oznacza $n \rightarrow \infty$.

Zaproponowany przez Bohra model atomu wodoru interpretowany jest w mechanice falowej zgodnie z duchem zasady odpowiedniości. Bardzo klasyczne ujęcie ruchu cząstki, jako ruchu planetarnego, zostało przez me-

W kolejnych okresach zapełnianie są poszczególne orbitale: okres 1) $1s$; okres 2) $2s$, $2p$ 3) $3s$ i $3p$ 4) $4s$, $3d$ i $4p$ 5) $5s$, $4d$ i $5p$ 6) $6s$, $4f$, $5d$ i $6p$ itd.

</

Diagram illustrating the filling order of atomic orbitals (Aufbau principle) for principal quantum numbers 1 through 7. The orbitals are arranged in rows, and blue arrows indicate the sequence of filling. A green arrow highlights the transition from 4s to 3d.

Orbitals shown:

- Row 1: 1s
- Row 2: 2s, 2p
- Row 3: 3s, 3p, 3d
- Row 4: 4s, 4p, 4d, 4f
- Row 5: 5s, 5p, 5d, 5f, 5g
- Row 6: 6s, 6p, 6d, 6f, 6g, 6h
- Row 7: 7s, 7p, 7d, 7f, 7g, 7h

</

W kolejnych okresach zapełnianie są poszczególne orbitale: okres 1) 1s;
okres 2) 2s i 2p; 3) 3s i 3p 4) 4s, 3d i 4p 5) 5s, 4d i 5p 6) 6s, 4f, 5d i 6p itd.

1s

2s 2p

3s 3p 3d

4s 4p 4d 4f

5s 5p 5d 5f 5g

6s 6p 6d 6f 6g 6h

7s 7p 7d 7f 7g 7h

UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW																	
GRUPY GŁÓWNE																	
1	2	13	14	15	16	17	18	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIB	VIB	VIB	IB	IIIB
1,00794 H Wodór	6,941 Li Lit	9,01218 Be Beryl															
22,9898 Na Sód	24,305 Mg Magnez																
39,0983 K Potas	40,078 Ca Wapń	44,9559 Sc Skand	47,867 Ti Tytan	50,9415 V Vanad	51,9961 Cr Chrom	54,93805 Mn Mangan	55,845 Fe Żelazo	58,9332 Co Kobalt	58,6934 Ni Nikiel	63,546 Cu Miedź	65,39 Zn Cynk	69,723 Ga Gall	72,61 Ge German	74,9216 As Arsen	78,96 Se Selen	79,904 Br Brom	83,80 Kr Krypton
85,4678 Rb Rubid	87,62 Sr Stront	88,9059 Y Itr	91,224 Zr Cyrkon	92,9064 Nb Niob	95,94 Mo Molibden	97,905 Tc Technet	101,07 Ru Ruten	102,906 Rh Rod	106,42 Pd Pallad	107,868 Ag Srebro	112,411 Cd Kadm	114,818 In Ind	118,710 Sn Cyna	121,760 Sb Antymon	127,60 Te Tellur	126,905 I Jod	131,29 Xe Ksenon
132,905 Cs Cez	137,327 Ba Baryt	Lantanowce La – Lu	178,49 Hf Hafn	180,948 Ta Tantal	183,84 W Wolfram	186,207 Re Ren	190,23 Os Osm	192,217 Ir Iryd	195,08 Pt Płatyna	196,967 Au Złoto	200,59 Hg Rtęć	204,383 Tl Tal	207,20 Pb Ołów	208,980 Bi Bizmut	208,980 Po Polon	209,987 At Astat	222,018 Rn Radon
(223,020) Fr Francj	(226,025) Ra Radium	Aktynowce Ac – Lr	(261) Rf Rutherford	(262) Db Dubn	(266) Sg Seaborg	(264) Bh Bohr	(268) Hs Hass	(271) Mt Meitner	(272) Ds Darmstad	(285) Uuu Ununpent	(286) Uub Ununhex	(289) Uuq Ununquid	(289) Uuo Ununokt	(292) Uuh Ununhekt	(292) Uuo Ununokt	(293) Uuo Ununokt	(293) Uuo Ununokt
138,906 La Lantan	140,115 Ce Cer	140,908 Pr Prawdytyn	144,24 Nd Neodym	(144,913) Pm Promet	150,36 Sm Samar	151,965 Eu Europ	157,25 Gd Gadolin	158,925 Tb Terb	162,50 Dy Dysproz	164,930 Ho Holm	167,26 Er Erb	168,9342 Tm Terb	173,04 Yb Ytterb	174,967 Lu Lutet			
(227,028) Ac Aktyn	232,038 Th Tor	(231,036) Pa Protaktyn	238,029 U Uran	(237,048) Np Neptun	(244,064) Pu Pluton	(243,061) Am Ameryk	(247,07) Cm Kuri	(247,07) Bk Berkel	(251,08) Cf Kaliforn	(254,08) Es Einstein	(257,099) Fm Ferm	(258,099) Md Mendelew	(259,1) No Nobel	(262,1) Lr Lorens			

oczywiście, jest to porządek, w którym jest wiele wyjątków, jak na przykład wanad ($Z=23$) $[\text{Ar}] 3d^3 4s^2$ a następnie chrom ($Z=24$) $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$

Liczba atomowa (protonowa)	Symbol (skrót)	Nazwa w języku angielskim	Rok (okres hist.) odkrycia pierwiastka lub stworzenia go w stanie naturalnym	Konfiguracja elektronowa atomu w stanie podstawowym	Liczba atomowa (protonowa)	Symbol (skrót)	Nazwa w języku angielskim	Rok (okres hist.) odkrycia pierwiastka lub stworzenia go w stanie naturalnym	Konfiguracja elektronowa atomu w stanie podstawowym
1	H	Hydrogen	1766	$1s^1$	57	La	Lanthanum	1839	$[\text{Xe}]5d^1 6s^2$
2	He	Helium	1868	$1s^2$	58	Ce	Cerium	1803	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
3	Li	Lithium	1817	$[\text{He}]2s^1$	59	Pr	Praseodymium	1885	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
4	Be	Beryllium	1798	$[\text{He}]2s^2$	60	Nd	Neodymium	1945	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
5	B	Boron	1828	$[\text{He}]2s^2 2p^1$	61	Pm	Promethium	1945	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
6	C	Carbon	Starożytność	$[\text{He}]2s^2 2p^2$	62	Sm	Samarium	1879	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
7	N	Nitrogen	1772	$[\text{He}]2s^2 2p^3$	63	Eu	Europium	1901	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
8	O	Oxygen	1776	$[\text{He}]2s^2 2p^4$	64	Gd	Gadolinium	1880	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
9	F	Fluorine	1886	$[\text{He}]2s^2 2p^5$	65	Tb	Terbium	1843	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
10	Ne	Neon	1898	$[\text{He}]2s^2 2p^6$	66	Dy	Dysprosium	1886	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
11	Na	Sodium	1807	$[\text{Ne}]3s^1$	67	Ho	Holmium	1878	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
12	Mg	Magnesium	1808	$[\text{Ne}]3s^2$	68	Er	Erbium	1843	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
13	Al	Aluminium	1825	$[\text{Ne}]3s^2 3p^1$	69	Tm	Thulium	1879	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
14	Si	Silicon	1823	$[\text{Ne}]3s^2 3p^2$	70	Yb	Ytterbium	1878	$[\text{Xe}]4f^1 6s^2$
15	P	Phosphorus	1669	$[\text{Ne}]3s^2 3p^3$	71	Lu	Lutetium	1907	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
16	S	Sulfur	Starożytność	$[\text{Ne}]3s^2 3p^4$	72	Hf	Hafnium	1923	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
17	Cl	Chlorine	1774	$[\text{Ne}]3s^2 3p^5$	73	Ta	Tantalum	1802	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
18	Ar	Argon	1894	$[\text{Ne}]3s^2 3p^6$	74	W	Tungsten	1783	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
19	K	Potassium	1807	$[\text{Ar}]4s^1$	75	Re	Rhenium	1925	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
20	Ca	Calcium	1808	$[\text{Ar}]4s^2$	76	Os	Osmium	1804	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
21	Sc	Skandium	1879	$[\text{Ar}]3d^1 4s^2$	77	Ir	Iridium	1804	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
22	Ti	Titanium	1791	$[\text{Ar}]3d^2 4s^2$	78	Pt	Platinum	1735	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^1$
23	V	Vanadium	1830	$[\text{Ar}]3d^3 4s^2$	79	Au	Gold	Starożytność	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^1$
24	Cr	Chromium	1797	$[\text{Ar}]3d^5 4s^1$	80	Hg	Mercury	Starożytność	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$
25	Mn	Manganese	1774	$[\text{Ar}]3d^5 4s^2$	81	Tl	Tallium	1802	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2 6p^1$
26	Fe	Iron	Starożytność	$[\text{Ar}]3d^6 4s^2$	82	Pb	Lead	Starożytność	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2 6p^2$
27	Co	Cobalt	1737	$[\text{Ar}]3d^7 4s^2$	83	Bi	Bismuth	Starożytność	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2 6p^3$
28	Ni	Nickel	1751	$[\text{Ar}]3d^8 4s^2$	84	Po	Polonium	1898	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2 6p^4$
29	Cu	Copper	Starożytność	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^1$	85	At	Astatine	1940	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2 6p^5$
30	Zn	Zinc	1746	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2$	86	Rn	Radon	1900	$[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2 6p^6$
31	Ga	Gallium	1875	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^1$	87	Fr	Francium	1939	$[\text{Rn}]7s^1$
32	Ge	Germanium	1886	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^2$	88	Ra	Radium	1898	$[\text{Rn}]7s^2$
33	As	Arsenic	1250	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^3$	89	Ac	Actinium	1899	$[\text{Rn}]6d^1 7s^2$
34	Se	Selenium	1817	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^4$	90	Th	Thorium	1828	$[\text{Rn}]6d^2 7s^2$
35	Br	Bromine	1826	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^5$	91	Pa	Protactinium	1917	$[\text{Rn}]5f^1 6d^1 7s^2$
36	Kr	Krypton	1898	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 4p^6$	92	U	Uranium	1789	$[\text{Rn}]5f^1 6d^1 7s^2$
37	Rb	Rubidium	1861	$[\text{Kr}]5s^1$	93	Np	Neptunium	1940	$[\text{Rn}]5f^1 6d^1 7s^2$
38	Sr	Strontium	1790	$[\text{Kr}]5s^2$	94	Pu	Plutonium	1940	$[\text{Rn}]5f^1 7s^2$

Najważniejsze konfiguracje 1,2

Okres	Z=	Atom	konfiguracja
1	1	H	$1s^1$
	2	He	$1s^2$
2	3	Li	$1s^2 2s^1 = [\text{He}] 2s^1$
	4	Be	$[\text{He}] 2s^2$
	5		
	6	C	$[\text{He}] 2s^2 2p^2$ *
	7		
	8		
	9	F	$[\text{He}] 2s^2 2p^5$
	10	Ne	$[\text{He}] 2s^2 2p^6$

*lub hybrydyzacja sp^3 (diament, CH_4) albo sp^2 (grafit)

Najważniejsze konfiguracje 3

Okres	Z=	Atom	konfiguracja
3	11	Na	$1s^2 2s^2 p^6 3s^1 = [\text{Ne}] 3s^1$
	12	Mg	$[\text{Ne}] 3s^2$
	13	Al	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$
	14	Si	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$
			
	18	Ar	$[\text{Ne}] \mathbf{3s^2 2p^6}$

Najważniejsze konfiguracje 4

3	18	Ar	$[\text{Ne}]3s^23p^6$
4	19	K	$1s^2 2s^2p^6 3s^2p^6 4s^1 = [\text{Ar}]4s^1$
	20	Ca	$1s^22s^2p^63s^2p^64s^2 = [\text{Ar}]4s^2$
	21	Sc	$1s^2 2s^2p^6 3s^2p^63d^1 4s^2$
	22	Ti	$[\text{Ar}]3d^2 4s^2$ samoloty
	23	V	$[\text{Ar}]3d^3 4s^2$
	24	Cr	$[\text{Ar}]3d^5 4s^1$ wart. I, II, III, V
	25	Mn	$[\text{Ar}]3d^5 4s^2$
	26	Fe	$[\text{Ar}]3d^6 4s^2$ magnetyczny
	27	Co	

cdn.

Najważniejsze konfiguracje 4, cd

4	27	Co	
	28	Ni	$[\text{Ar}]3d^8 4s^2$
	29	Cu	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^1$ miedź
	30	Zn	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2$ powł. antykorozyjne
	31	Ga	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 p^1$
	32	Ge	podobnie jak krzem
		...	
	36	Kr	$[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2 p^6$ gaz szlachetny

Najważniejsze konfiguracje 5

4	36	Kr	$1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6$
5	37	Rb	$[\text{Kr}] 5s^1$ metal alkaliczny
	38	Sr	$[\text{Kr}] 5s^2$
	39	Y	$[\text{Kr}] 4d^1 5s^2$
	40	Zr	$[\text{Kr}] 4d^2 5s^2$ ZrO_2 – „diant”
	41	Nb	$[\text{Kr}] 4d^4 5s^1$
	42	Mo	$[\text{Kr}] 4d^5 5s^1$ metal b. twardy
	...	...	$[\text{Kr}] 4d^n 5s^1$
	45	Rh	$[\text{Kr}] 4d^8 5s^1$
	46	Pd	$[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2$ metal szlachetny

cdn.

Najważniejsze konfiguracje 5, cd

5	47	Ag	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹ srebro
	48	Cd	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ² kadm $\approx$ cynk
	49	In	
	50	Sn	[Kr] 4d ¹⁰ 4s ² p ² cyna
		...	
5	54	Xe	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² p ⁶ gaz szlachetny

Najważniejsze konfiguracje 6

5	54	Xe	$1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6 d^{10} 5s^2 p^6$
6	55	Cs	[Xe] $6s^1$ metal alkaliczny
	56	Ba	[Xe] $6s^2$
	57	La	[Xe] $5d^1 6s^2$
			Lantanowce: dużo, blisko położonych poziomów elektronowych ↓
	58	Ce	[Xe] $4f^2 5d^0 6s^2$
	59	Pr	[Xe] $4f^3 6s^2$
	...	...	[Xe] $4f^n 6s^2$
	64	Gd	[Xe] $4f^7 5d^1 6s^2$
	65	Tb	[Xe] $4f^9 6s^2$

cdn.

Najważniejsze konfiguracje 6, cd

6	79	Au	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹ złoto
	80	Hg	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² rtęć
	...	...	
	84	Po	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴ polon
		...	
	86	Rn	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ gaz szlachetny, radioaktywny - rozpada się na polon

7^o okres jest podobny do 6^o, np. ⁸⁸Rad przypomina Bar
ale to już świat radioaktywny, mało przydatny „materiałowcom”

Metale chętniej oddają elektrony (tworzą jony dodatnie)
niemetale chętniej przyjmują elektrony (tworzą jony ujemne)

GRUPY GŁÓWNE				UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW																		GRUPY GŁÓWNE																																																																				
1		IA		2		IIA												13	IIIA		14	IVA		15	VA		16	VIA		17	VIIA		18	VIIIA																																																								
1	1,00794	H	1	Wodór	+1/-1																							4,002602	He	2	Hel																																																											
2	6,941	Li	3	Lit	+1	9,01218	Be	4	Beryl	+2																																																																																
3	22,9898	Na	11	Sód	+1	24,305	Mg	12	Magnez	+2																																																																																
Masa atomowa — 51,996 Symbol pierwiastka — Cr 24 Liczba atomowa (porządkowa) — Nazwa w języku polskim — Chrom Stopień utlenienia — +2, +3, +6 — METAL — PÓLMETAL — NIEMETAL — GAZ SZLACHETNY (NIEMETAL) Numer grupy — zalecany przez IUPAC (1985) — tradycyjny — GRUPY POBOCZNE 3 IIIB 4 IVB 5 VB 6 VIB 7 VIIB 8 VIIIB 9 VIIIB 10 VIIIB 11 IB 12 IIB																																																																																										
4	39,0983	K	19	Potas	+1	40,078	Ca	20	Wapń	+2	44,9559	Sc	21	Skand	+3	47,867	Ti	22	Tytan	+2, +4	50,9415	V	23	Vanad	+2, +3, +4, +5	51,9961	Cr	24	Chrom	+2, +3, +6	54,93805	Mn	25	Mangan	+2, +3, +4, +5, +6, +7	55,845	Fe	26	Żelazo	+2, +3	58,9332	Co	27	Kobalt	+2, +3	58,6934	Ni	28	Nikiel	+1, +2, +3	63,546	Cu	29	Miedź	+1, +2	65,39	Zn	30	Cynk	+2	69,723	Ga	31	Gal	+2	72,61	Ge	32	German	+4	74,9216	As	33	Arsen	-3, +2, +3	78,96	Se	34	Selen	-2, +4, +6	79,904	Br	35	Brom	-1, +1, +5, +7	83,80	Kr	36	Krypton	0, +2
5	85,4678	Rb	37	Rubid	+1	87,62	Sr	38	Stront	+2	88,9059	Y	39	Ittr	+3	91,224	Zr	40	Cyrkon	+4	92,9064	Nb	41	Niob	+2, +3, +5	95,94	Mo	42	Molibden	+2, +3, +4, +5, +6	(97,905)	Tc	43	Teknet	+4, +6, +7	101,07	Ru	44	Ruten	+2, +3, +4, +6, +8	102,906	Rh	45	Rod	+2, +3, +4	106,42	Pd	46	Pallad	+2, +4	107,868	Ag	47	Srebro	+1, +2	112,411	Cd	48	Kadm	+2	114,818	In	49	Ind	+3	118,710	Sn	50	Cyna	+2, +4	121,760	Sb	51	Antymon	-3, +2, +3	127,60	Te	52	Tellur	-2, +4, +6	126,905	I	53	Jod	-1, +1, +5, +7	131,29	Xe	54	Ksenon	0, +2, +4, +6
6	132,905	Cs	55	Cez	+1	137,327	Ba	56	Bar	+2	Lantanowce					178,49	Hf	72	Hafn	+4	180,948	Ta	73	Tantal	+5	183,84	W	74	Wolfram	+2, +3, +4, +5, +6	186,207	Re	75	Ren	+4, +6, +7	190,23	Os	76	Osm	+3, +4, +6, +8	192,217	Ir	77	Iryd	+3, +4, +6	195,08	Pt	78	Platyna	+2, +3, +4, +6	196,967	Au	79	Złoto	+1, +3	200,59	Hg	80	Rtęć	+1, +2	204,383	Tl	81	Tal	+1, +3	207,20	Pb	82	Ołów	+2, +4	208,980	Bi	83	Bismut	+3, +5	(208,980)	Po	84	Polon	+2, +4, +6	(209,987)	At	85	Astat	-1, +1, +3, +5, +7	(222,018)	Rn	86	Radon	0, +2
7	(223,020)	Fr	87	Frans	+1	(226,025)	Ra	88	Rad	+2	Aktynowce					(261)	Rf	104	Rutherford	—	(262)	Db	105	Dubn	—	(266)	Sg	106	Seaborg	—	(264)	Bh	107	Bohr	—	(269)	Hs	108	Hasn	—	(268)	Mt	109	Melitner	—	(271)	Ds	110	Darmstad	—	(272)	Uu	111	—	—	(285)	Uub	112	—	—	(289)	Uuq	114	—	—	(292)	Uuh	116	—	—	(293)	Uuo	118	—	—															

Ilość elektronów na najbardziej „zewnątrznym” orbitalu określa właściwości chemiczne pierwiastka. Na przykład węgiel, z dwoma elektronami na orbitalu 2s i dwoma na orbitalach (orbitalach) 2p może oddawać 4 elektrony (jak w drobinie CO₂) lub przyjmować 4 elektrony (jak w drobinie CH₄).

GRUPY GŁÓWNE		UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW																GRUPY GŁÓWNE																				
1	IA	2	IIA															13	IIIA	14	IVA	15	VA	16	VIA	17	VIIA	18	VIIIA									
1,00794 H 1 Wodór +1, -1				Masa atomowa — 51,996 Symbol pierwiastka — Cr 24 Liczba atomowa (porządkowa) — 24 Nazwa w języku polskim — Chrom Stopień utlenienia — +2, +3, +6 — METAL — PÓLMETAL — NIEMETAL — GAZ SZLACHETNY (NIEMETAL) Numer grupy Zalecany przez IUPAC (1985) Tradycyjny																																		4,002602 He 2 Hel 0
6,941 Li 3 Lit +1		9,01218 Be 4 Beryl +2																10,811 B 5 Bor +2	12,001 C 6 Węgiel +4, +2, +4	14,0067 N 7 Azot -3, +2, +3, +4, +5	15,9994 O 8 Tlen -2	18,9984 F 9 Fluor -1	20,1797 Ne 10 Neon 0															
22,9898 Na 11 Sód +1		24,305 Mg 12 Magnez +2																26,9815 Al 13 Glin +3	28,0855 Si 14 Krzem +2, +4	30,9738 P 15 Fosfor -3, +3, +4, +5	32,066 S 16 Siarka -2, +2, +4, +6	35,4527 Cl 17 Chlor -1, +1, +3, +5, +7	39,948 Ar 18 Argon 0															
				GRUPY POBOCZNE																																		
39,0983 K 19 Potas +1		40,078 Ca 20 Wapń +2	44,9559 Sc 21 Skand +3	47,867 Ti 22 Tytan +3, +4	50,9415 V 23 Vanad +2, +3, +4, +5	51,9961 Cr 24 Chrom +2, +3, +6	54,93805 Mn 25 Mangan +2, +3, +4, +5, +6, +7	55,845 Fe 26 Żelazo +2, +3	58,9332 Co 27 Kobalt +2, +3	58,6934 Ni 28 Nikiel +2, +3, +4	63,546 Cu 29 Miedź +1, +2	65,39 Zn 30 Cynk +2	69,723 Ga 31 Gal +3	72,61 Ge 32 German +4	74,9216 As 33 Arsen -3, +3, +5	78,96 Se 34 Selen -2, +4, +6	79,904 Br 35 Brom -1, +1, +5, +7	83,80 Kr 36 Krypton 0																				
85,4678 Rb 37 Rubid +1		87,62 Sr 38 Stront +2	88,9059 Y 39 Itr +3	91,224 Zr 40 Cyrkon +4	92,9064 Nb 41 Niob +2, +3, +5	95,94 Mo 42 Molibden +2, +3, +4, +5, +6	(97,905) Tc 43 Technet +4, +6, +7	101,07 Ru 44 Ruten +2, +3, +4, +6, +8	102,906 Rh 45 Rod +2, +3, +4	106,42 Pd 46 Pallad +2, +4	107,868 Ag 47 Srebro +1, +2	112,411 Cd 48 Kadm +2	114,818 In 49 Ind +3	118,710 Sn 50 Cyna +2, +4	121,760 Sb 51 Antymon -3, +3, +5	127,60 Te 52 Tellur -2, +4, +6	126,905 I 53 Jod -1, +1, +5, +7	131,29 Xe 54 Ksenon 0																				
132,905 Cs 55 Cez +1		137,327 Ba 56 Bar +2	Lantanowce La – Lu		178,49 Hf 72 Hafn +4	180,948 Ta 73 Tantal +5	183,84 W 74 Wolfram +2, +3, +4, +5, +6	186,207 Re 75 Ren +4, +5, +7	190,23 Os 76 Osm -2, +4, +6, +8	192,217 Ir 77 Iryd +3, +4, +5	195,08 Pt 78 Płatyna +2, +3, +4, +5	196,967 Au 79 Złoto +1, +3	200,59 Hg 80 Rtęć +1, +2	204,383 Tl 81 Tal +1, +3	207,20 Pb 82 Ołów +2, +4	208,980 Bi 83 Bizmut +3, +5	(208,982) Po 84 Polon -2, +4, +6	(209,987) At 85 Astat -1, +1, +3, +5, +7	(222,018) Rn 86 Radon 0																			
(223,020) Fr 87 Franc +1		(226,025) Ra 88 Rad +2	Aktynowce Ac – Lr		(261) Rf 104 Rutherford —	(262) Db 105 Dubn —	(266) Sg 106 Seaborg —	(264) Bh 107 Bohr —	(269) Hs 108 Hasn —	(268) Mt 109 Meitner —	(271) Ds 110 Darmstad —	(272) Uuu 111	(285) Uub 112		(289) Uuq 114		(292) Uuh 116		(293) Uuo 118																			
138,906 La 57 Lantan +3		140,115 Ce 58 Cer +3, +4	140,908 Pr 59 Praseodym +3, +4	144,24 Nd 60 Neodym +3	(144,913) Pm 61 Promet +3	150,36 Sm 62 Samar +2, +3	151,965 Eu 63 Europ +2, +3	157,25 Gd 64 Gadolin +3	158,925 Tb 65 Terb +3, +4	162,50 Dy 66 Dysproz +3, +4	164,930 Ho 67 Holm +3	167,26 Er 68 Erb +3	168,9342 Tm 69 Tul +2, +3	173,04 Yb 70 Iterb +2, +3	174,967 Lu 71 Lutet +3																							
(227,028) Ac 89 Aktyn +3		232,038 Th 90 Tor +3, +4	(231,036) Pa 91 Protaktyn +4, +5	238,029 U 92 Uran +3, +4, +5, +6	(237,048) Np 93 Neptun +3, +4, +5, +6	(244,064) Pu 94 Pluton +3, +4, +5, +6	(243,061) Am 95 Ameryk +3, +4, +5, +6	(247,07) Cm 96 Klur +3, +4	(247,07) Bk 97 Berkel +3, +4	(251,08) Cf 98 Kaliforn +3	(254,08) Es 99 Einstein +3	(257,099) Fm 100 Ferm +3	(258,099) Md 101 Mendelew +3, +5	(259,1) No 102 Nobel +2, +3	(262,1) Lr 103 Lorens +3																							

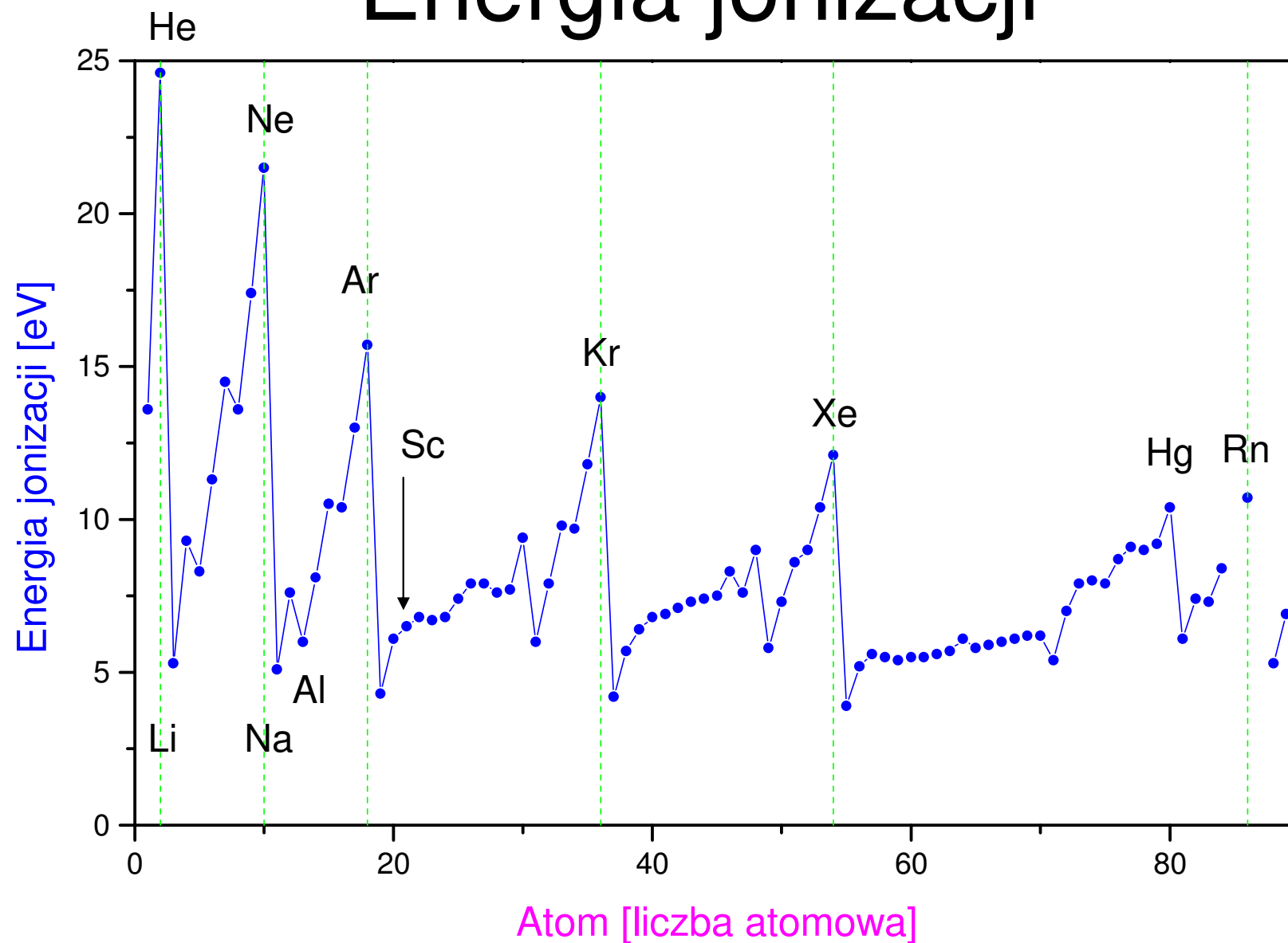
Ilość elektronów na najbardziej „zewnątrznym” orbitalu określa właściwości chemiczne pierwiastka. Atomy chromu, manganu, żelaza nie mają ściśle określonej jednej „wartościowości” – mogą przyjmować lub oddawać różne ilości elektronów.

GRUPY GŁÓWNE	1	IA	2	IIA
1	1,00794 H 1 Wodór +1, -1			
2	6,941 Li 3 Lit +1		9,01218 Be 4 Beryl +2	
3	22,9898 Na 11 Sód +1		24,305 Mg 12 Magnez +2	
4	39,0983 K 19 Potas +1		40,078 Ca 20 Wapń +2	
5	85,4678 Rb 37 Rubid +1		87,62 Sr 38 Stront +2	
6	132,905 Cs 55 Cez +1		137,327 Ba 56 Bar +2	
7	(223,020) Fr 87 Franc +1		(226,025) Ra 88 Rad +2	

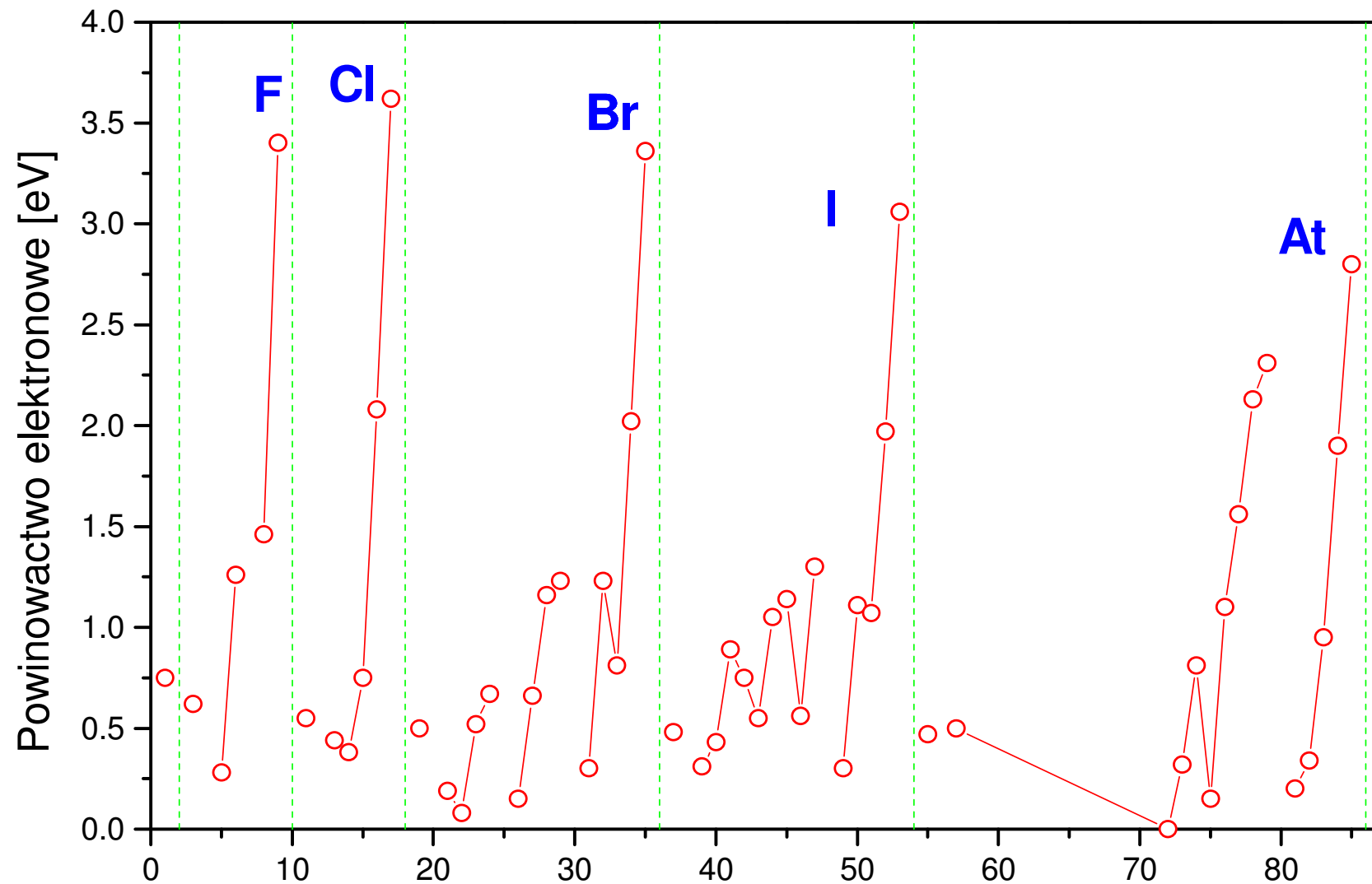
UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW

Masa atomowa	51,996
Symbol pierwiastka	Cr 24
	Chrom
	Liczba atomowa (porządkowa)
	Nazwa w języku polskim
	Stopień utlenienia

Energia jonizacji

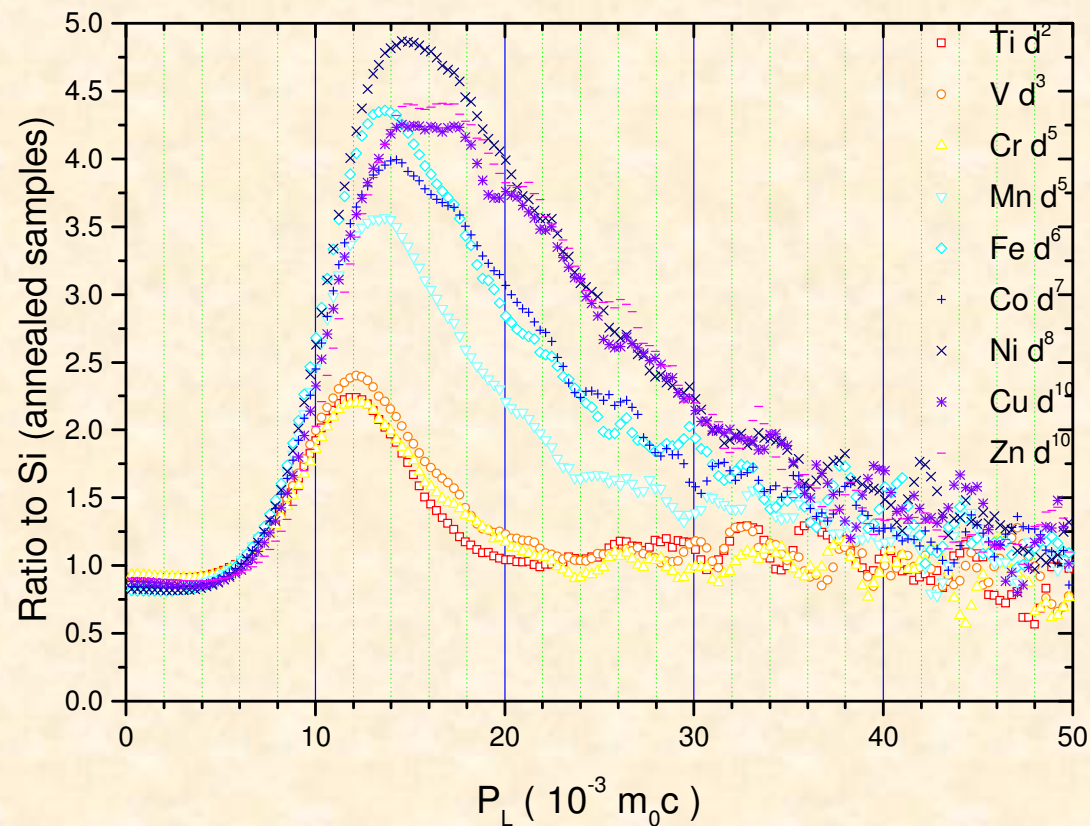


Elektroujemność



Struktura elektronowa odzwierciedla się w wielu różnych własnościach pierwiastków – fizycznych, chemicznych, metalurgicznych

- na przykład, w widmach anihilacji pozytonów (pomiarach prędkości „orbitalnych” elektronów walencyjnych)



Struktura elektronowa odzwierciedla się w wielu różnych własnościach pierwiastków – fizycznych, chemicznych, metalurgicznych

- na przykład, w widmach anihilacji pozytonów (pomiarach prędkości „orbitalnych” elektronów walencyjnych)

