

## 8. Atomové orbitály – řešení

Vztahy:

$$\text{celková stínící konstanta } \sigma = \sum \sigma_i$$

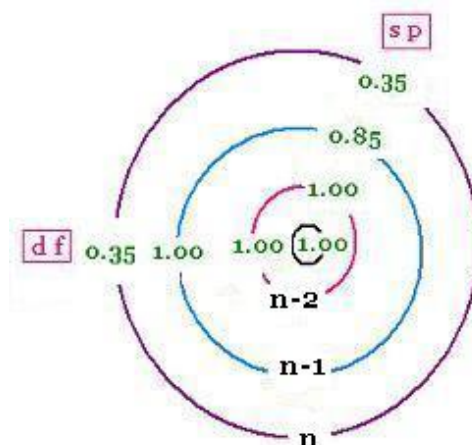
$$\text{efektivní náboj } Z^* = Z - \sigma$$

$$\text{orbitální poloměr } \rho = \frac{n^2 a_0}{Z^*}$$

Konstanty:

$$\text{Rydbergova konstanta } Ry = 13,6 \text{ eV}$$

$$\text{Bohrův poloměr } a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,529 \text{ \AA}$$



Slaterova pravidla pro výpočet stínících konstant pro elektrony v s- a p-orbitalech:

Nachází-li se elektron v orbitalu ...	... ostatní elektrony z orbitalů s hlavním kvantovým číslem $n'$ přispívají k jeho stínění konstantou ...			
	$n' < n - 1$	$n' = n - 1$	$n' = n$	$n' > n$
1s	–	–	0,30	0
$ns, np$	1	0,85	0,35	0

Slaterova pravidla pro výpočet stínících konstant pro elektrony v d- a f-orbitalech:

Slaterovy skupiny: (1s)(2s,2p)(3s,3p)(3d)(4s,4p)(4d)(4f)(5s,5p)(5d)(5f)...

Nachází-li se elektron ve Slaterově skupině ...	... vlevo ...	... stejné ...	... vpravo ...
... přispívá ke stínění elektronu v d- nebo f-orbitalu konstantou ...	1	0,35	0

Hodnoty efektivního hlavního kvantového čísla  $n^*$  pro 4., 5. a 6. periodu:

perioda	4.	5.	6.
$n^*$	3,7	4,0	4,2

Příklady:

Atomy s jedním elektronem (= atomy vodíkového typu)

1. Uvažujte kation  $\text{He}^+$ . Vypočítejte degeneraci a energii obsazené hladiny a ionizační potenciál kationtu, nachází-li se kation v

(i) základním stavu.

Řešení:

Kation se nachází ve stavu s  $n = 1$ . Této hodnotě hlavního kvantového čísla odpovídá pouze jeden orbital: 1s. Základní stav je tedy nedegenerovaný.

Energii hladiny (slupky)/elektronu vypočítáme pomocí vztahu

$$E_n = \frac{-RyZ^2}{n^2} \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$$

$$E_1 = \frac{-13,6 \cdot 2^2}{1^2} \text{ eV} = -54,4 \text{ eV}$$

Ionizační potenciál je energie, kterou je třeba dodat elektronu, abychom jej odtrhli z atomu/iontu. Obecně platí, že dodáme-li elektronu energii, elektron přeskočí na vyšší energetickou hladinu, tj. na

energetickou hladinu s vyšším  $n$ . Pro volný (odtržený) elektron  $n = \infty$ . Ionizační potenciál je tedy energetický rozdíl mezi hladinou (slupkou), ve které se elektron nachází a hladinou s  $n = \infty$ :

$$IP = E_{\infty} - E_n = \frac{-RyZ^2}{n^2} - \left( \frac{-RyZ^2}{n^2} \right) = RyZ^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n^2} \right) = 13,6 \cdot 2^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) \text{ eV} = \underline{54,4 \text{ eV}}$$

Obecně tedy platí, že ionizační potenciál je roven energii hladiny (slupky) s opačným znaménkem.

(ii) 1. excitovaném stavu.

Řešení:

Kation se nachází ve stavu s  $n = 2$ . Této hodnotě hlavního kvantového čísla odpovídají čtyři orbitály:  $2s$ ,  $2p_x$ ,  $2p_y$  a  $2p_z$ . Degenerace je tedy 4.

$$E_2 = \frac{-13,6 \cdot 2^2}{2^2} \text{ eV} = \underline{-13,6 \text{ eV}}$$

$$IP = \underline{13,6 \text{ eV}} \text{ (viz (i))}$$

(iii) 2. excitovaném stavu.

Řešení:

Kation se nachází ve stavu s  $n = 3$ . Této hodnotě hlavního kvantového čísla odpovídá devět orbitalů:  $3s$ ,  $3p_x$ ,  $3p_y$ ,  $3p_z$ ,  $3d_{xy}$ ,  $3d_{xy}$ ,  $3d_{xy}$ ,  $3d_{x^2-y^2}$  a  $3d_{z^2}$ . Degenerace je tedy 9.

$$E_3 = \frac{-13,6 \cdot 2^2}{3^2} \text{ eV} = \underline{-6,04 \text{ eV}}$$

$$IP = \underline{6,04 \text{ eV}} \text{ (viz (i))}$$

(iv) 3. excitovaném stavu.

Řešení:

Kation se nachází ve stavu s  $n = 4$ . Této hodnotě hlavního kvantového čísla odpovídá 16 orbitalů:  $4s$ ,  $4p_x$ ,  $4p_y$ ,  $4p_z$ ,  $4d_{xy}$ ,  $4d_{xy}$ ,  $4d_{xy}$ ,  $4d_{x^2-y^2}$ ,  $4d_{z^2}$  a 7 orbitalů f. Degenerace je tedy 16.

$$E_4 = \frac{-13,6 \cdot 2^2}{4^2} \text{ eV} = \underline{-3,4 \text{ eV}}$$

$$IP = \underline{3,4 \text{ eV}} \text{ (viz (i))}$$

### Atomy s mnoha elektrony

2. Pro valenční elektrony s- a p-prvků 1.-6. periody vypočítejte

(i) stínící konstanty.

Řešení:

H:

elektronová konfigurace:  $1s^1$

$$\sigma = 0 \cdot 0,3 = \underline{0}$$

He:

elektronová konfigurace:  $1s^2$

$$\sigma = 1 \cdot 0,3 = \underline{0,3}$$

Li:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^1$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 0 \cdot 0,35 = \underline{1,7}$$

Be:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 1 \cdot 0,35 = \underline{2,05}$$

B:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^1$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 2 \cdot 0,35 = \underline{2,4}$$

C:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^2$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 3 \cdot 0,35 = \underline{2,75}$$

N:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^3$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 4 \cdot 0,35 = \underline{3,1}$$

O:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^4$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 5 \cdot 0,35 = \underline{3,45}$$

F:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^5$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 6 \cdot 0,35 = \underline{3,8}$$

Ne:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6$

$$\sigma = 2 \cdot 0,85 + 7 \cdot 0,35 = \underline{4,15}$$

Na:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 0 \cdot 0,35 = \underline{8,8}$$

Mg:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 1 \cdot 0,35 = \underline{9,15}$$

Al:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 2 \cdot 0,35 = \underline{9,5}$$

Si:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 3 \cdot 0,35 = \underline{9,85}$$

P:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 4 \cdot 0,35 = \underline{10,2}$$

S:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 5 \cdot 0,35 = \underline{10,55}$$

Cl:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 6 \cdot 0,35 = \underline{10,9}$$

Ar:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

$$\sigma = 2 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 7 \cdot 0,35 = \underline{11,25}$$

K:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 0 \cdot 0,35 = \underline{16,8}$$

Ca:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 1 \cdot 0,35 = \underline{17,15}$$

Ga:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^1$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 2 \cdot 0,35 = \underline{26}$$

Ge:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^2$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 3 \cdot 0,35 = \underline{26,35}$$

As:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 4 \cdot 0,35 = \underline{26,7}$$

Se:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^4$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 5 \cdot 0,35 = \underline{27,05}$$

Br:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^5$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 6 \cdot 0,35 = \underline{27,4}$$

Kr:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$

$$\sigma = 10 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 7 \cdot 0,35 = \underline{27,75}$$

Rb:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 0 \cdot 0,35 = \underline{34,8}$$

Sr:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 5p^3$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 8 \cdot 0,85 + 1 \cdot 0,35 = \underline{35,15}$$

In:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^1$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 2 \cdot 0,35 = \underline{44}$$

Sn:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^2$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 3 \cdot 0,35 = \underline{44,35}$$

Sb:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^3$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 4 \cdot 0,35 = \underline{44,7}$$

Te:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^4$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 5 \cdot 0,35 = \underline{45,05}$$

I:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^5$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 6 \cdot 0,35 = \underline{45,4}$$

Xe:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6$

$$\sigma = 28 \cdot 1 + 18 \cdot 0,85 + 7 \cdot 0,35 = \underline{45,75}$$

(ii) efektivní náboje.

Řešení:  $Z^* = Z - \sigma$

H:  $Z^* = 1 - 0 = \underline{1}$

He:  $Z^* = 2 - 0,3 = \underline{1,7}$

Li:  $Z^* = 3 - 1,7 = \underline{1,3}$

Be:  $Z^* = 4 - 2,05 = \underline{1,95}$

B:  $Z^* = 5 - 2,4 = \underline{2,6}$

C:  $Z^* = 6 - 2,75 = \underline{3,25}$

N:  $Z^* = 7 - 3,1 = \underline{3,9}$

O:  $Z^* = 8 - 3,45 = \underline{4,55}$

F:  $Z^* = 9 - 3,8 = \underline{5,2}$

Ne:  $Z^* = 10 - 4,15 = \underline{5,85}$

Na:  $Z^* = 11 - 8,8 = \underline{2,2}$

Mg:  $Z^* = 12 - 9,15 = \underline{2,85}$

Al:  $Z^* = 13 - 9,5 = \underline{3,5}$

Si:  $Z^* = 14 - 9,85 = \underline{4,15}$

P:  $Z^* = 15 - 10,2 = \underline{4,8}$

S:  $Z^* = 16 - 10,55 = \underline{5,45}$

Cl:  $Z^* = 17 - 10,9 = \underline{6,1}$

Ar:  $Z^* = 18 - 11,25 = \underline{6,75}$

K:  $Z^* = 19 - 16,8 = \underline{2,2}$

Ca:  $Z^* = 20 - 17,15 = \underline{2,85}$

Ga:  $Z^* = 31 - 26 = \underline{5}$

Ge:  $Z^* = 32 - 26,35 = \underline{5,65}$

As:  $Z^* = 33 - 26,7 = \underline{6,3}$

Se:  $Z^* = 34 - 27,05 = \underline{6,95}$

Br:  $Z^* = 35 - 27,4 = \underline{7,6}$

Kr:  $Z^* = 36 - 27,75 = \underline{8,25}$

Rb:  $Z^* = 37 - 34,8 = \underline{2,2}$

Sr:  $Z^* = 38 - 35,15 = \underline{2,85}$

In:  $Z^* = 49 - 44 = \underline{5}$

Sn:  $Z^* = 50 - 44,35 = \underline{5,65}$

Sb:  $Z^* = 51 - 44,7 = \underline{6,3}$

Te:  $Z^* = 52 - 45,05 = \underline{6,95}$

I:  $Z^* = 53 - 45,4 = \underline{7,6}$

Xe:  $Z^* = 54 - 45,75 = \underline{8,25}$

(iii) orbitální poloměry v pm.

Řešení:  $\rho = \frac{n^2 a_0}{Z^*}$

H:  $\rho = \frac{1^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{1} \text{ m} = \underline{52,9 \text{ pm}}$

He:  $\rho = \frac{1^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{1,7} \text{ m} = \underline{31,1 \text{ pm}}$

Li:  $\rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{1,3} \text{ m} = \underline{162,8 \text{ pm}}$

$$\text{Be: } \rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{1,95} \text{ m} = \underline{108,5 \text{ pm}}$$

$$\text{B: } \rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{2,6} \text{ m} = \underline{81,3 \text{ pm}}$$

$$\text{C: } \rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{3,25} \text{ m} = \underline{65,1 \text{ pm}}$$

$$\text{N: } \rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{3,9} \text{ m} = \underline{54,3 \text{ pm}}$$

$$\text{O: } \rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{4,55} \text{ m} = \underline{46,5 \text{ pm}}$$

$$\text{F: } \rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{5,2} \text{ m} = \underline{40,7 \text{ pm}}$$

$$\text{Ne: } \rho = \frac{2^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{5,85} \text{ m} = \underline{36,2 \text{ pm}}$$

$$\text{Na: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{2,2} \text{ m} = \underline{216,4 \text{ pm}}$$

$$\text{Mg: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{2,85} \text{ m} = \underline{167,1 \text{ pm}}$$

$$\text{Al: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{3,5} \text{ m} = \underline{136,0 \text{ pm}}$$

$$\text{Si: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{4,15} \text{ m} = \underline{114,7 \text{ pm}}$$

$$\text{P: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{4,8} \text{ m} = \underline{99,2 \text{ pm}}$$

$$\text{S: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{5,45} \text{ m} = \underline{87,4 \text{ pm}}$$

$$\text{Cl: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{6,1} \text{ m} = \underline{78,0 \text{ pm}}$$

$$\text{Ar: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{6,75} \text{ m} = \underline{70,5 \text{ pm}}$$

U prvků 4. periody použijeme ve vztahu pro orbitální poloměr efektivní hlavní kvantové číslo 3,7.

$$\text{K: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{2,2} \text{ m} = \underline{329,2 \text{ pm}}$$

$$\text{Ca: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{2,85} \text{ m} = \underline{254,1 \text{ pm}}$$

$$\text{Ga: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{5} \text{ m} = \underline{144,8 \text{ pm}}$$

$$\text{Ge: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{5,65} \text{ m} = \underline{128,2 \text{ pm}}$$

$$\text{As: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{6,3} \text{ m} = \underline{115,0 \text{ pm}}$$

$$\text{Se: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{6,95} \text{ m} = \underline{104,2 \text{ pm}}$$

$$\text{Br: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{7,6} \text{ m} = \underline{95,3 \text{ pm}}$$

$$\text{Kr: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{8,25} \text{ m} = \underline{87,8 \text{ pm}}$$

U prvků 5. periody použijeme ve vztahu pro orbitální poloměr efektivní hlavní kvantové číslo 4,0.

$$\text{Rb: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{2,2} \text{ m} = \underline{384,7 \text{ pm}}$$

$$\text{Sr: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{2,85} \text{ m} = \underline{297,0 \text{ pm}}$$

$$\text{In: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{5} \text{ m} = \underline{169,3 \text{ pm}}$$

$$\text{Sn: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{5,65} \text{ m} = \underline{149,8 \text{ pm}}$$

$$\text{Sb: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{6,3} \text{ m} = \underline{134,3 \text{ pm}}$$

$$\text{Te: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{6,95} \text{ m} = \underline{121,8 \text{ pm}}$$

$$\text{I: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{7,6} \text{ m} = \underline{111,4 \text{ pm}}$$

$$\text{Xe: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{8,25} \text{ m} = \underline{102,6 \text{ pm}}$$

(iv) Jak se efektivní náboj a orbitální poloměr mění v periodě zleva doprava a na přelomu period?

Řešení:

Efektivní náboj v periodě zleva doprava roste a na přelomu period prudce klesá.

Orbitální poloměr v periodě zleva doprava klesá a na přelomu period prudce roste.

3. Pro orbitály 3d titanu, 4d zirkonia a 5d lanthanu vypočítejte

(i) stínící konstanty.

Řešení:

Ti:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$

$$\sigma = 18 \cdot 1 + 1 \cdot 0,35 + 2 \cdot 0 = \underline{18,35}$$

Zr:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^2$

$$\sigma = 36 \cdot 1 + 1 \cdot 0,35 + 2 \cdot 0 = \underline{36,35}$$

La:

elektronová konfigurace:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 5d^1$

$$\sigma = 54 \cdot 1 + 0 \cdot 0,35 + 2 \cdot 0 = \underline{54}$$

(ii) efektivní náboje.

Řešení:  $Z^* = Z - \sigma$

$$\text{Ti: } Z^* = 22 - 18,35 = \underline{3,65}$$

$$\text{Zr: } Z^* = 40 - 36,35 = \underline{3,65}$$

$$\text{La: } Z^* = 57 - 54 = \underline{3}$$

(iii) orbitální poloměry v pm.

Řešení:  $\rho = \frac{n^2 a_0}{Z^*}$

$$\text{Ti: } \rho = \frac{3^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{3,65} \text{ m} = \underline{130,4 \text{ pm}}$$

$$\text{Zr: } \rho = \frac{3,7^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{3,65} \text{ m} = \underline{198,4 \text{ pm}}$$

$$\text{La: } \rho = \frac{4,0^2 \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}{3} \text{ m} = \underline{282,1 \text{ pm}}$$