

## Druhá přednáška o axiomu jednoty

### CHYBY NIELSE BOHRA

Ph.M. Kanarev

Email: [kanphil@mail.ru](mailto:kanphil@mail.ru)

<http://Kanarev.innoplaza.net>

#### 1. Úvod

Nyní se pokusíme najít zdroje chyb Nielse Bohra, které způsobily chybné představy, týkající se orbitálního pohybu elektronů v atomu. Začátek těchto chyb je spojen s omyly, ukrytými v analýze spektra atomu vodíku [1], [2].

Experimentátoři, zabývající se spektroskopii zaregistrovali stovky tisíc spektrálních čar atomů, iontů a molekul. Je to největší soubor informací o mikrosvětě [3], [4]. To je důvod, proč je správná interpretace spektra velmi důležitá pro vytvoření správné představy o mikrosvětě. Nyní uvidíme, jak nesprávná interpretace spektra atomu vodíku posílila chybnou myšlenku, týkající se orbitálního pohybu elektronu v atomu. Je známo, že Niels Bohr v roce 1922 obdržel Nobelovu cenu s tímto odůvodněním: “Za zásluhy o studium struktury atomu” [5]. Jsou všechny důvody pro to, poukázat na jeho chybu a opravit ji.

Tato chyba je založena na Louis de Broglieho chybné myšlence, týkající se vlnové povahy elektronu. Ten byl za ni roku 1929 odměněn Nobelovou cenou z následujícího důvodu: “Za objev vlnové povahy elektronu” [5]. V následujících přednáškách podrobně popíšeme elektromagnetickou strukturu elektronu a ukážeme, že to je částice, ne vlna. Vytvářejí se difrakční vzory jako výsledek interakce spinů elementárních částic, když se kříží jejich dráhy. To je důvod, proč výše zmíněné vzory nemají souvislost s vlnovými vlastnostmi elementárních částic [2].

Takže podle de Broglieovy chybné myšlenky celkový počet  $n$  vln  $\lambda$  elektronu je umístěn v obvodu o poloměru  $R$ , který je opisován elektronem během jeho orbitálního pohybu. Níže máme [6]

$$2pR = n \cdot l . \quad (16)$$

Tuto rovnici přepíšeme následujícím způsobem

$$2pRmln = nml^2n . \quad (17)$$

Vezmeme-li v úvahu, že  $ln = V$  a  $ml^2n = h$ , obdržíme korelaci postulovanou Nielsem Bohrem

$$\frac{h}{mVR} = \frac{2p}{n} . \quad (18)$$

Takže rovnice mezi Coulombovou elektrostatickou silou  $e^2/R^2$  a Newtonovou setrvačnou silou  $mV^2/R$  vyplýve z Coulombova zákona a Newtonova zákona

$$\frac{e^2}{R^2} = \frac{mV^2}{R} \Rightarrow \frac{e^2}{R} = mV^2. \quad (19)$$

Když společně vyřešíme rovnice (18) a (19), dostaneme

$$V = \frac{2pe^2}{nh}. \quad (20)$$

$$R = \frac{n^2 h^2}{4p^2 m e^2}. \quad (21)$$

Potom vzorec pro kinetickou energii  $E_k$  elektronu bude následující:

$$E_k = \frac{mV^2}{2} = \frac{2p^2 m e^4}{n^2 h^2}. \quad (22)$$

Energie (22) je v porovnání s výrazem (19) poloviční a my nevíme, proč. Nicméně můžeme napsat následující rovnici kinetických energií elektronu, když je na orbitech  $n_1$  a  $n_2$ :

$$E_{k1} = \frac{m_1 V_1^2}{2} = \frac{2p^2 m_1 e^4}{n_1^2 h^2}, \quad (23)$$
$$E_{k2} = \frac{m_2 V_2^2}{2} = \frac{2p^2 m_2 e^4}{n_2^2 h^2}.$$

Rozdíl těchto energií je roven energii  $hn$  emitovaného nebo absorbovaného fotonu. Uvažuje se, že hmotnost elektronu  $m_1 = m_2 = m$  se nemění. Vezmeme-li toto v úvahu, máme:

$$n = \frac{2p^2 e^4}{h^3} \left( \frac{m_1}{n_1^2} - \frac{m_2}{n_2^2} \right) \Rightarrow n = \frac{2p^2 e^4 m}{h^3} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (24)$$

To je Bohrovův vzorec pro výpočet spektra atomu vodíku, získaného z jeho orbitálního pohybu kolem jádra, tj. protonu [7]. Rovnice  $2p^2 e^4 m / h^2$  má být rovna ionizační energii  $E_i$  [7]. Potom energie  $E_{ph}$  emitovaného nebo absorbovaného je určena následujícím vzorcem

$$E_{ph} = hn = \frac{2p^2 e^4 m}{h^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = E_i \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (25)$$

Logika výše uvedených výpočtů a souhlas teoretických výsledků s experimentem nikoho nenechávají na pochybách, že vzorec (25) skutečně popisuje proces orbitálního pohybu elektronu v atomu vodíku.

Přesto máme důvody k pochybnostem. První pochybnost je následující. Jak mohou obíhající elektrony spojovat atomy do molekul, když atom neobsahuje jeden elektron, ale několik nebo tucty??? **Žádná odpověď.**

Když se elektron pohybuje z orbity na orbitu, vazební síly elektronu s jádrem by se měly změnit. To je důvod, proč by měla existovat energie, která odpovídá této síle, a měla by být ve spektru atomů. Měl by existovat zákon závislosti této energie na čísle orbity, kde je elektron umístěn. Máme všechny důvody předpokládat, že vzorec (25) pro výpočet spektra má jeden další rozvoj a je možné, že tento rozvoj bude mít jiný fyzikální smysl. Nyní najdeme nový rozvoj tohoto vzorce a uvidíme, že elektron nemá žádnou energii, odpovídající jeho orbitálnímu pohybu, ale je zde vazební energie s atomovým jádrem.

Měli bychom poznamenat, že Bohrovy myšlenky, týkající se orbitálního pohybu elektronu v atomu, našly své následovníky a podnítily další vývoj směrem do slepé uličky. Největší příspěvky k vývoji tímto směrem přinesli E. Schroedinger a P. Dirac, kterým byla v roce 1933 udělena Nobelova cena s tímto zdůvodněním: "Za objev nových forem atomové teorie", prakticky za rozvoj chybných Bohrových myšlenek [5]. Nobelovu cenu dostal i W. Pauli v roce 1945 „Za objev principu, pojmenovaného po něm (Pauliho princip)“, který upevnil chybné Bohrovy myšlenky, týkající se pohybu elektronu v atomu [5].

Schroedingerova rovnice je korunou spektroskopické teorie [8], [9], [11], [12], [13]. Umožnila výpočet spektra všech atomů podobných vodíku (atomů s jedním elektronem) a analyzovat pravděpodobné chování elektronu v atomu. Ale možnosti Schroedingerovy rovnice se ukázaly být omezené. Je nemožné vypočítat spektra všech následujících elektronů (počínaje od atomového jádra) pomocí Schroedingerovy rovnice. Jak je poznamenáno v základní práci [10], v těchto případech jsou pro výpočet spekter atomů a iontů použity přibližné metody, které jsou založeny na Schroedingerově a Maxwellově rovnici.

Empirická povaha přibližných metod komplikuje vytvoření představy, týkající se interakce elektronu s jádrem atomu. V souladu Pauliho principem jsou v moderní fyzice elektrony distribuovány na slupky, úrovně a podúrovně [14].

Měli bychom poznamenat, že použitelnost přibližných metod výpočtu spekter atomů, iontů a molekul se blíží k nule. Pouze takové metody mohou být považovány za užitečné, které dávají možnost určit zákonitosti vytváření vazebních energií mezi jádry atomů a jejich elektrony, stejně jako mezi valenčními elektrony atomů v molekulách [1], [2].

### 3. Začátek nové teorie spekter

Analyzujme pouze jeden energetický přechod elektronu v atomu vodíku. Vazební energie  $E_1$  elektronu, když je na první energetické úrovni tohoto atomu, se rovná ionizační energii  $E_i$  atomu vodíku, tj.  $E_1 = E_i = 13.60 \text{ eV}$  (elektronvolt). Když elektron absorbuje foton s energií 10,20 eV a přejde na druhou energetickou úroveň, energie tohoto spojení s jádrem se zmenší na hodnotu 3,40 eV. Přirozeně, když je elektronem absorbován foton, jeho energie se zvětší a můžeme napsat [1], [2]

$$13,60 + 10,20 = 23,80. \quad (26)$$

Ale tento výsledek je v rozporu s experimentem, který podtrhuje fakt, že vazební energie elektronu s jádrem po absorbování fotonu se nezvýší, ale sníží a bude se rovnat 3,40 eV, nikoli 23,80 eV. To je důvod, proč předchozí hodnota by měla být napsána následovně [1], [2]

$$13,60 + 10,20 = 3,40. \quad (27)$$

Abychom z rovnice (27) odstranili rozpor, musíme energii elektronu v atomu považovat za zápornou a rovnici (27) přepsat následovně [1], [2]

$$-13,60 + 10,20 = -3,40. \quad (28)$$

S tím je však velmi obtížné souhlasit. Jde o to, že elektron v atomu má potenciální a kinetickou složku energie. Výše zmíněná dohoda je přijatelná pro potenciální energii, ale nelze ji použít pro energii kinetickou. Proto je nutné pokusit se najít přesvědčivější důkaz odůvodněnosti dohody vyjádřené rovnicí (28).

Především v rovnici (28) není celková energie elektronu  $E_e$ . Hodnota 13,60 eV se rovná ionizační energii  $E_i$  atomu vodíku. Smysl této energie spočívá ve faktu, že když elektron absorbuje foton s energií 13,60 eV, ztratí spojení s jádrem a stane se volným elektronem. To znamená, že hodnota 13,60 eV odpovídá vazební energii elektronu s jádrem vodíku v okamžiku, kdy je na první energetické úrovni. Energie  $E_{ph} = 10,20 \text{ eV}$  je energie absorbovaného fotonu, který umožňuje přechod elektronu na druhou energetickou úroveň, to je důvod, proč energie  $E_b = 3,40 \text{ eV}$ , která se rovná rozdílu  $13,60 - 10,20 = 3,40 \text{ eV}$ , odpovídá vazební energii elektronu s jádrem atomu v okamžiku, kdy je elektron na druhé energetické úrovni [1], [2].

Do rovnice (28) zavedme celkovou energii  $E_e$  volného elektronu [1], [2].

$$E_e - 13,60 + 10,20 = E_e - 3,40. \quad (29)$$

Měli bychom připomenout, že 13,60 eV je ionizační energie atomu vodíku. Ta odpovídá vazební energii elektronu s protonem v době, kdy elektron je na první energetické úrovni, 3,40 eV je vazební energie, která odpovídá druhé energetické úrovni elektronu; 10,20 eV je energie absorbovaného fotonu. Hodnotu  $E_e$  můžeme z rovnice (29) opět odstranit, protože se tím rovnice nezmění a budeme předpokládat její podobnost s rovnicí (28).

Nyní je jasné, že energie elektronu v atomu má kladnou hodnotu a rovnice (28) odráží změnu vazebních energií elektronu pouze během energetických přechodů a mínusy před hodnotami 13,60 a 3,40 neznamenaají zápornou energii, ale proces odečtení energie, která se spotřebuje na spojení elektronu s protonem [1].

Je jasné, že v době, kdy je elektron umístěn na první energetické úrovni v atomu vodíku, jeho celková energie  $E_e$  je zmenšena o hodnotu 13,60 eV. Když je absorbován foton s energií  $E_{ph} = 10,20 \text{ eV}$ , celková energie elektronu se zvýší a vazební energie elektronu s jádrem se sníží o  $-13,60 + 10,20 = -3,40 \text{ eV}$ . Je zřejmé, že zákon zachování energie je v rovnici (29) přísně zachován. Napišme podobné vztahy pro přechod elektronu z první na třetí energetickou úroveň a na čtvrtou úroveň [1], [2].

$$E_e - 13,60 + 12,09 = E_e - 1,51, \quad (30)$$

$$E_e - 13,60 + 12,75 = E_e - 0,85. \quad (31)$$

Je snadné odvodit, že když je elektron odtržen od jádra atomu, jeho vazební energie  $E_b$  s jádrem se změní podle vztahu

$$E_b = \frac{E_i}{n^2} = \frac{E_1}{n^2} = \frac{13,60}{n^2} \text{ eV}, \quad (32)$$

kde  $n = 1, 2, 3, \dots$  je číslo energetické úrovně elektronu v atomu, hlavní kvantové číslo.

Toto je matematický model zákona změny vazební energie s jádrem atomu vodíku a atomů vodíkového typu. Kdyby Niels Bohr tento zákon odvodil, kvantová fyzika a zvláště pak chemie by byla nyní úplně jiná.

Fyzikální význam této energie spočívá na faktu, že se rovná energii emitovaného nebo absorbovaného fotonu, když elektron přechází z jedné energetické úrovně na jinou. Takže když dochází k přechodu elektronu z jedné energetické úrovně na jinou energetickou úroveň, je nutné vynaložit energii, která změní sílu interakce s protonem.

Věnujme pozornost faktu, že v tomto případě ionizační energie  $E_i$  je rovna vazební energii  $E_1$  elektronu s jádrem, odpovídající první energetické úrovni ( $n = 1$ ).

Zákon o vytvoření absorpčního spektra atomu vodíku a atomů vodíkového typu má původ ve vztazích (28), (29), (30), (31) a (32).

$$E_e - E_i + E_{ph} = E_e - \frac{E_1}{n^2} \Rightarrow E_{ph} = E_i - \frac{E_1}{n^2} \quad (33)$$

Protože se spektrální čáry absorpce kryjí se spektrálními čarami emise, matematický model zákona vyzařování by měl být stejný jako model zákona absorpce (33). Je přirozené, že elektron nezáří, když je na první energetické úrovni, protože tato úroveň je krajní. Ale když je na druhé úrovni, může emitovat foton s energií  $E_{ph} = 10.20eV$ . V tomto případě bude rovnice procesu vyzařování zapsána následujícím způsobem

$$E_e - 3,40 - 10,20 = E_e - 13,60. \quad (34)$$

Když je elektron na třetí ( $n = 3$ ) a čtvrté energetické úrovni, má vazební energie s jádrem  $E_{b3} = 1.51eV$  a  $E_{b4} = 0.85eV$ . Když elektron přechází ze třetí a čtvrté úrovně na první úroveň, bude emitovat fotony s energiemi  $E_{ph3} = 12.09eV$  a  $E_{ph4} = 12.75eV$  a rovnice těchto procesů budou zapsány obdobně:

$$E_e - 1,51 - 12,09 = E_e - 13,60, \quad (35)$$

$$E_e - 0,85 - 12,75 = E_e - 13,60. \quad (36)$$

Obecně mohou být tyto vztahy zapsány takto

$$E_e - \frac{E_1}{n^2} - E_{ph} = E_e - E_i. \quad (37)$$

Když od této rovnice odečteme  $E_e$  a upravíme ji, dostaneme [1], [2]

$$E_{ph} = E_i - \frac{E_1}{n^2}, \quad (38)$$

To úplně odpovídá rovnici (33). Takže pro absorpci i vyzařování fotonu platí stejný matematický model.

Nyní uvažujme o fyzikálním smyslu energií, zahrnutých v zákoně (33), (38) vytváření spekter atomů a iontů.  $E_{ph} = hn_p$  je energie absorbovaného nebo emitovaného fotonu.  $E_i$  je ionizační energie, která se rovná energii fotonu, která má za následek, že se zruší vazba elektronu s jádrem a elektron se stane volným. To znamená, že ionizační energie je určena podle stejných vztahů jako energie fotonu  $E_i = hn_i$ . Vazební energie elektronu s jádrem atomu

$$E_b = \frac{E_1}{n^2} = \frac{hn_1}{n^2} \quad (39)$$

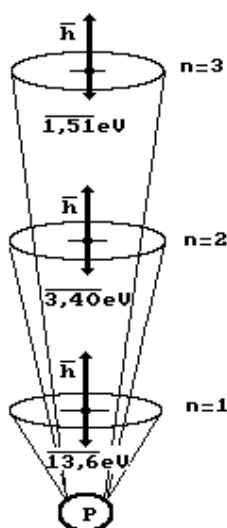
se rovnají energiím fotonů. Například v atomu vodíku vazební energie  $E_b = E_1$  elektronu s atomovým jádrem, která odpovídá první energetické úrovni, se rovná energii jeho ionizace  $E_1$ . Proto  $E_1 = E_i = hn_1 = hn_i$ . Vezmeme-li v úvahu matematický model zákona emise a absorpce (38) fotonů elektrony během jejich energetických přechodů v atomech, můžeme napsat [1], [2]

$$hn_{ph} = hn_i - \frac{hn_1}{n^2}. \quad (40)$$

nebo

$$n_{ph} = n_i - \frac{n_1}{n^2} \quad (41)$$

Dostali jsme matematický model zákona vytváření spekter atomů a iontů, která obsahují pouze frekvence fotonů, jež jsou absorbovány nebo emitovány, tj. rotační frekvence fotonů ve vztahu k jejich osám. A kde je frekvence rotace elektronu kolem jádra atomu? Žádná neexistuje. Energetický model tohoto zákona (38) neobsahuje žádnou energii, která odpovídá orbitálnímu pohybu elektronu.



Obr. 4. Schéma energetických skoků elektronu atomu vodíku.

To je úžasné zjištění. Téměř sto let jsme předpokládali, že elektron v atomu rotuje kolem jádra jako planeta kolem Slunce. Zákon vytváření spektra atomu vodíku (38), (40), (41) popírá orbitální pohyb elektronu. Tento zákon neobsahuje žádnou energii, která odpovídá

orbitálnímu pohybu elektronu; to znamená, že žádný takový pohyb neexistuje. Tento úžasný závěr nás nutí přemýšlet o mnoha věcech, v první řadě o chvatném přijetí interpretace spektra atomu vodíku od Nielse Bohra.

Je přirozené, že elektron je k protonu přitahován nestejnými elektrickými póly a že stejné magnetické póly tuto přitažlivou sílu vyrovnávají.

Když se vazební energie  $E_b$  elektronu s jádrem zvýší, elektron se dostane blíž k jádru nebo se ponoří hloub do “buňky” (cell). Pojem “buňka” pro nás znamená objem kuželu od jeho vrcholu v atomovém jádře, v němž elektron rotuje jako káča. Čím větší je vazební energie elektronu s jádrem, tím blíž je k jádru nebo je hloub ve své buňce.

Když jsou absorbovány fotony, vazební energie elektronu s jádrem se zmenší a během své rotace se elektron vzdálí od jádra a dostane se blíž k povrchu atomu. Když elektron vyzařuje fotony, jeho vazební energie s jádrem se zvětší a ponoří se hloub do své “buňky”.

### 3. Výpočet spektra atomu vodíku

Do vzorců (38) a (39) vložme  $E_1 = 13,6$  a  $n = 2, 3, 4 \dots$  Jako výsledek dostaneme teoretické hodnoty  $E_{ph}$  (teor.) energií fotonů, absorbovaných nebo emitovaných elektronem během energetických přechodů v atomu vodíku, které se prakticky úplně shodují s experimentálními hodnotami  $E_{ph}$  (exper.) těchto energií a vazební energií  $E_b$  tohoto elektronu s jádrem atomu (tabulka 1).

Tabulka 1. Spektrum atomu vodíku

| Hodnoty          | n  | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| $E_{ph}$ (exper) | eV | 10.20  | 12.09  | 12.75  | 13.05  | 13.22  |
| $E_{ph}$ (theor) | eV | 10.198 | 12.087 | 12.748 | 13.054 | 13.220 |
| $E_b$ (theor.)   | eV | 3.40   | 1.51   | 0.85   | 0.54   | 0.38   |

Ze zákona spektroskopie (38) se vyplývá, že energie absorbovaných a emitovaných fotonů během přechodu elektronu mezi energetickými úrovněmi  $n$  a  $n + 1$  se vypočítá podle vzorce [1], [2]

$$E_{ph} = E_1 \cdot \left[ \frac{1}{n^2} - \frac{1}{(n+1)^2} \right]. \quad (42)$$

Je jasné, že vzorec (42) se podobá vzorcí (25). Rozdíl je ve faktu, že vazební energie elektronu s jádrem, když je na první energetické hladině není ionizační energie atomu. Pro elektron atomu vodíku se tato energie bude rovnat energii ionizační  $E_1 = E_i$ .

V tabulce 2 jsou zaneseny výsledky výpočtu - podle tohoto vzorce - energií fotonů  $E_{ph}$  (teor.), emitované nebo absorbované elektronem atomu vodíku při přechodu mezi hladinami  $n$  a  $n + 1$  a jsou porovnány s experimentálními daty  $E_{ph}$  (exper.).

Tabulka 2. Energie přechodů mezi hladinami elektronu atomu vodíku

| Hladiny          | n, n+1 | 2...3 | 3...4 | 4...5 | 5...6 | 6...7 | 7...8 |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_{ph}$ (exper) | eV     | 1.89  | 0.66  | 0.30  | 0.17  | 0.10  | 0.07  |
| $E_{ph}$ (theor) | eV     | 1.888 | 0.661 | 0.306 | 0.166 | 0.100 | 0.065 |

Vzorec (42) dává možnost vypočítat energie fotonů, které jsou absorbovány a emitovány během energetického přechodu elektronu. Když například elektron přechází ze třetí na desátou energetickou úroveň, absorbuje foton s energií, která se vypočítá podle vzorce

$$E_{ph} = 13,6 \cdot \left[ \frac{1}{9} - \frac{1}{(3+10)^2} \right] = 1,43eV. \quad (43)$$

Když elektron přechází z patnácté na pátou energetickou úroveň, emituje foton s energií

$$E_{ph} = 13,6 \cdot \left[ \frac{1}{25} - \frac{1}{(5+15)^2} \right] = 0,51eV. \quad (44)$$

Takže tyto vzorce dávají možnost vypočítat energii absorbovaného a emitovaného fotonu elektronem během jeho přechodu mezi kterýmikoli energetickými úrovněmi v atomu vodíku.

#### 4. Výpočet spektra atomu hélia

Atom hélia má dva elektrony. Ionizační energie prvního z nich je  $E_{i1}=24,587$  eV a ionizační energie druhého elektronu je  $E_{i2}=54,416$  eV [3], [4]. Spektrum druhého elektronu je spočítáno pomocí Bohrovy rovnice (25) přesně, protože v tomto případě je atom hélia atomem vodíkového typu. Spektrum prvního elektronu s ionizační energií  $E_{i1}=24,587$  eV pomocí rovnice (25) Nielse Bohra spočítat nelze.

Stav atomu hélia, když jsou oba jeho elektrony na prvních energetických úrovních, se nazývá hlavní nevybuzený stav. Vybuzovací (excitační) energie je energie absorbovaného fotonu. Rovná se rozdílu mezi ionizační energií  $E_i$  elektronu a vazební energií elektronu s atomovým jádrem, odpovídající energetické hladiny, na níž se elektron přesune poté, co je foton absorbován. Takovým energetickým hladinám říkáme stacionární.

Nyní přichází zajímavý a kritický okamžik. Pokud je matematický model (38) vlastně zákonem vytváření spekter atomů a iontů, měli bychom pomocí něho obdržet experimentální hodnoty excitačních energií, odpovídající stacionárním energetickým úrovním prvního elektronu atomu hélia. Měli bychom poznamenat, že vazební energie  $E_1 = 13.468$  je určena z experimentálních dat podle speciální metody, podrobně popsané v pracích [1], [2]. Když vložíme  $E_i = 24,587$  a  $E_i = 13,468$  do vzorců (38) a (39), výsledkem bude tabulka 3.



Tabulka 3. Spektrum prvního elektronu atomu hélia

| Hodnoty           | n  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_{ph}$ (exper)  | eV | 21.22 | 23.09 | 23.74 | 24.04 | 24.21 |
| $E_{ph}$ (theor.) | eV | 21.22 | 23.09 | 23.74 | 24.05 | 24.21 |
| $E_b$ (theor.)    | eV | 3.37  | 1.50  | 0.84  | 0.54  | 0.37  |

Všimněte si, že tabulky 1 a 3 obsahují téměř shodné vazební energie  $E_b$  elektronů s atomovým jádrem. To dokazuje vazbu každého z nich s jedním protonem jádra.

### 5. Výpočet spektra atomu lithia

Atom lithia má tři elektrony. Atom lithia, obsahující jeden elektron, je považován za atom vodíkového typu. Jeho spektrum se vypočítá podle Bohrovy (25) nebo Schroedingerovy rovnice. Ale spektra prvního a druhého elektronu tohoto atomu nelze přesně spočítat pomocí Bohrovy nebo Schroedingerovy rovnice. Uvažujme o možnosti použití našeho vzorce.

Ionizační energie druhého elektronu atomu lithia se rovná  $E_i=75,638$  eV, vazební energie elektronu s atomovým jádrem, odpovídající první energetické úrovni, se rovná  $E_1=54.152$  eV. Když tato data dosadíme do vzorců (38) a (39), dostaneme (tabulka 4).

Tabulka 4. Spektrum druhého elektronu atomu lithia

| Hodnoty           | n  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_{ph}$ (exper)  | eV | 62.41 | 69.65 | 72.26 | 73.48 | -     |
| $E_{ph}$ (theor.) | eV | 62.41 | 69.62 | 72.25 | 73.47 | 74.13 |
| $E_b$ (theor.)    | eV | 13.54 | 6.02  | 3.38  | 2.17  | 1.50  |

Vypočítejme spektrum prvního elektronu atomu lithia. Jeho ionizační energie je  $E_i=5,392$  eV, fiktivní vazební energie s jádrem, odpovídající první energetické úrovni, je  $E_1=14,05$  eV. Když tato data dosadíme do matematického modelu vytváření spekter atomů a iontů (38) a do vzorce (39) pro výpočet vazebních energií tohoto elektronu, odpovídajících stacionárním energetickým hladinám, dostaneme spektrum tohoto elektronu (tabulka 5).

Tabulka 5. Spektrum prvního elektronu atomu lithia

| Hodnoty           | n  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-------------------|----|------|------|------|------|------|
| $E_{ph}$ (exper)  | eV | -    | 3.83 | 4.52 | 4.84 | 5.01 |
| $E_{ph}$ (theor.) | eV | 1.18 | 3.83 | 4.51 | 4.83 | 5.00 |
| $E_b$ (theor.)    | eV | 3.51 | 1.56 | 0.88 | 0.56 | 0.39 |

## 6. Výpočet spektra atomu berylia

Atom berylia má čtyři elektrony. Čtvrtý elektron má největší ionizační energii, první elektron má nejmenší ionizační energii. Ionizační energie třetího elektronu atomu berylia je rovna  $E_i=153,893$  eV. Vazební energie s jádrem, jež odpovídá první energetické úrovni elektronu, se rovná  $E_1=120,892$  eV.

Když hodnoty  $E_i=153,893$  eV a  $E_1=120,892$  eV dosadíme do vzorců (38) a (39), dostaneme hodnoty, zapsané do tabulky 6.

Tabulka 6. Spektrum třetího elektronu atomu berylia.

| Hodnoty           | n  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_{ph}$ (exper)  | eV | 123.7 | 140.4 | 146.3 | 149.0 | 150.5 |
| $E_{ph}$ (theor.) | eV | 123.7 | 140.5 | 146.3 | 149.0 | 150.5 |
| $E_b$ (theor.)    | eV | 30.22 | 13.43 | 7.56  | 4.84  | 3.36  |

Druhý elektron atomu berylia má ionizační energii  $E_i=18.211$  eV a vazební energii s jádrem, odpovídající první fiktivní energetické úrovni  $E_1 = 56.259$  eV. Když tuto hodnotu a ionizační energii  $E_i=18.211$  eV dosadíme do vzorců (38) a (39), dostaneme (tabulka 7)

Tabulka 7. Spektrum druhého elektronu atomu berylia.

| Hodnoty           | N  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_{ph}$ (exper)  | eV | -     | 11.96 | 14.72 | 15.99 | 16.67 |
| $E_{ph}$ (theor.) | eV | 4.15  | 11.96 | 14.70 | 15.96 | 16.65 |
| $E_b$ (theor.)    | eV | 14.81 | 6.25  | 3.52  | 2.25  | 1.56  |

Teorie předpovídá (tabulka 7) existenci excitační energie 4,15 eV, odpovídající druhé energetické úrovni, ale zdá se, že to je fiktivní hodnota energie.

První elektron atomu berylia má ionizační energii  $E_i=9,322$  eV a energii odpovídající vazební energii elektronu s jádrem, když se nachází na první energetické úrovni  $E_1=16.17$  eV. Když hodnoty  $E_i=9,322$  eV a  $E_1=16,17$  eV dosadíme do vzorců (38) a (39), dostaneme (tabulka 8)

Tabulka 8. Spektrum prvního elektronu atomu berylia.

| Hodnoty           | n  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|-------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| $E_{ph}$ (exper)  | eV | 5.28 | 7.46 | 8.31 | 8.69 | 8.86 | 8.98 | 9.07 |
| $E_{ph}$ (theor.) | eV | 5.28 | 7.53 | 8.31 | 8.67 | 8.87 | 8.99 | 9.07 |
| $E_b$ (theor.)    | eV | 4.04 | 1.80 | 1.01 | 0.65 | 0.45 | 0.33 | 0.25 |

Když tedy odstraníme elektrony jeden po druhém z atomu berylia, jejich vazební energie, když se porovnají s vazebními energiemi elektronu atomu vodíku, se změní podle tabulky 9; když jsou všechny elektrony přítomny v atomu, jejich vazební energie s protony budou stejné (tabulka 10). Podobné vazební energie elektronů s protony mají další, nikoli první elektrony v atomech a tabulky 6, 7 a 8 se snadno redukuje na tabulku 10.

Protože z experimentální spektroskopie vyplývá, že elektrony se nepohybují po orbitech, každý elektron tohoto atomu vzájemně působí s protonem (obr. 4, 5).

Tabulka 9. Vazební energie  $E_b$  elektronu atomu vodíku  $e_H$  a první, druhý, třetí a čtvrtý elektron atomu berylia  $Be$  s jádrem během jejich postupného odebírání z atomu.

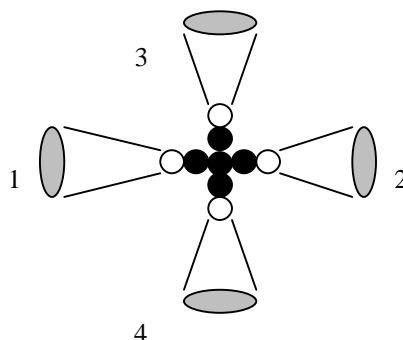
|       |        |       |       |      |      |      |      |      |      |
|-------|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| N     | 1      | 2     | 3     | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| $e_H$ | 13.6   | 3.40  | 1.51  | 0.85 | 0.54 | 0.38 | 0.28 | 0.21 | 0.17 |
| 1     | 16.17  | 4.04  | 1.80  | 1.01 | 0.65 | 0.45 | 0.33 | 0.25 | 0.20 |
| 2     | 56.26  | 14.06 | 6.25  | 3.52 | 2.25 | 1.56 | 1.15 | 0.88 | 0.69 |
| 3     | 120.89 | 30.22 | 13.43 | 7.56 | 4.83 | 3.36 | 2.47 | 1.89 | 1.49 |
| 4     | 217.71 | 54.43 | 24.19 | 13.6 | 8.71 | 6.05 | 4.44 | 3.40 | 2.69 |
|       |        |       |       |      |      |      |      |      |      |
| n     | 10     | 11    | 12    | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   |
| $e_H$ | 0.14   | 0.11  | 0.09  | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 1     | 0.16   | 0.12  | 0.10  | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 2     | 0.56   | 0.46  | 0.39  | 0.33 | 0.29 | 0.25 | 0.22 | 0.19 | 0.17 |
| 3     | 1.21   | 1.00  | 0.84  | 0.72 | 0.62 | 0.54 | 0.47 | 0.42 | 0.37 |
| 4     | 2.18   | 1.80  | 1.51  | 1.29 | 1.11 | 0.97 | 0.85 | 0.75 | 0.67 |

Tabulka 10. Vazební energie  $E_b$  elektronu atomu vodíku  $e_H$  a elektrony (1, 2, 3, 4) atomu berylia  $Be$  s jádrem, když jsou všechny elektrony v jádře.

|       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n     | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| $e_H$ | 13.6  | 3.40 | 1.51 | 0.85 | 0.54 | 0.38 | 0.28 | 0.21 | 0.17 |
| 1     | 16.17 | 4.04 | 1.80 | 1.01 | 0.65 | 0.45 | 0.33 | 0.25 | 0.20 |
| 2     | 16.17 | 4.04 | 1.80 | 1.01 | 0.65 | 0.45 | 0.33 | 0.25 | 0.20 |
| 3     | 16.17 | 4.04 | 1.80 | 1.01 | 0.65 | 0.45 | 0.33 | 0.25 | 0.20 |
| 4     | 16.17 | 4.04 | 1.80 | 1.01 | 0.65 | 0.45 | 0.33 | 0.25 | 0.20 |
|       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| n     | 10    | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   |
| $e_H$ | 0.14  | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 1     | 0.16  | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 2     | 0.16  | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 3     | 0.16  | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 4     | 0.16  | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |

Protože na povrchu jádra jsou umístěny čtyři protony a každý z nich má jeden volný magnetický pól, magnetické póly elektronů stejné polarity s těmito póly vzájemně silově

působí a omezují přiblížení elektronů k protonům. Když se elektrony přesouvají na vyšší energetické hladiny, vzdalují se od atomového jádra a od sebe navzájem a vazba se oslabí. Data v tabulce 10 ukazují, že od 13. energetické úrovně vazební energie všech elektronů atomu berylia s jádrem jsou podobné energiím elektronu  $e_H$  atomu vodíku. To znamená, že když se elektrony vzdalují od jádra atomu, jejich vzájemný vliv téměř mizí a chovají se jako elektrony atomu vodíku [1], [2].



Obr. 5. Schéma struktury jádra a atomu berylia

1, 2, 3 a 4 jsou elektrony;

○ jsou protony; ● jsou neutrony .

Je nejvyšší čas přezkoumat roli Pauliho principu v atomu berylia. Tento princip je známý tím, že se ho používá pro popis elementárních částic, především elektronů v atomech, protonů a neutronů v jádrech atomů. Podle tohoto principu jsou elektrony v atomech rozmístěny v souladu s energetickými hladinami a podhladinami, které jsme neviděli, když jsme analyzovali strukturu atomu berylia a spektra jeho elektronů. Není divu, protože Pauliho princip je založen na orbitálním pohybu elektronů v atomech; jak jsme ukázali, tento pohyb elektrony neprovádějí. To omezuje rámec použití Pauliho principu při popisu mikrosvěta.

Protože Bohrova rovnice (25) dovoluje vypočítat pouze spektrum atomu vodíku a atomů vodíkového typu a neumožňuje určit vazební energie elektronu s jádrem, lze s výhodou použít rovnice (38) a (39). Proto si metoda výpočtu spektra pomocí těchto rovnic zaslouhuje další výzkum.

Nyní vidíme, že příroda má hluboko ukryté tajemství chování elektronu v atomu, a chápeme, že není jednoduché ho odhalit; proto bychom se měli zdržet odsuzování Bohra a jeho následovníků. Nicméně nelze omluvit, že jsme na odhalení tohoto tajemství museli čekat tak dlouho. Příští přednáška bude věnována Maxwellovým rovnicím.

## REFERENCE

1. Ph.M. Kanarev. The Foundations of Physchemistry of Micro World. The fifth edition. Krasnodar, 2004. 400 pages.
2. Ph.M. Kanarev. The Foundations of Physchemistry of Micro World. The sixth edition. 500 pages. Ready for printing.
3. A.N. Zaidel et al. Spectral line tables. M., "Nauka", 1977
4. A.P. Striganov, G.A. Odintsova. Spectral line tables. M., "Nauka", 1977
5. Yu.A. Khramov. The physicists. M., "Nauka", 1983, 395 pages

6. Ph.M. Kanarev. Analysis of fundamental problems of modern physics". Krasnodar, 1993. 255 pages.
7. J. B. Marion. Physics and physical world. M., "Mir". 1975.
8. F.A. Berezin, M.A. Shubin. Schoedinger equations. M., MSU publishing house, 1983.
9. M. Gemmer. Evolution of notion of quantum mechanics. M., "Nauka", 1985. 380 pages
10. A.A, Nikitin, Z.B. Rudzikas. The foundations of theory of the spectra of the atoms and the ions. M., "Nauka", 1983
11. E.V. Shpolsky, Atomic physics. Volume1. M. 1963. 575 pages
12. R. Sproul. Modern physics. Quantum physics of the atoms of solid body and the nuclei. M., "Nauka", 1974. 591 pages
13. E. Vikhman. Quantum physics. M., "Nauka", 1977. 415 pages.
14. I.I. Novoshinsky, N.S. Novoshinskaya. Chemistry. Textbook for the 10th grade. M. "Onix 21 century", "Mir i obrazovanie", 2004, 350 pages