

Универзитет у Крагујевцу

**Природно-математички факултет**

Експериментална вежба из

Атомске физике

Асистент: др Владимир Марковић

## **Вежба**

### **Спектар дво-електронских атома: He, Hg**

#### **Увод**

Циљ ове вежбе је одређивање таласних дужина спектралних линија He и Hg.

#### **Задаци**

1. Одређивање константе дифракционе решетке  $H_2$  лампом.
2. Одређивање спектралних линија He.
3. Одређивање спектралних линија Hg.

#### **Експериментална апаратура и поступак извођења**

Експериментална апаратура која се користи у овој вежби је приказана на слици

1. Спектралне лампе које се повезују са извором напајања високог напона служе као извор зрачења. Напон на извору напајања подесити на око  $5kV$ . Лењир се поставља одмах иза спектралне лампе како би се избегле грешке паралаксе при читавању вредности на лењиру. Дифракциона решетка треба бити постављена на око  $50cm$  од спектралне лампе, на истој висини као и лењир. Дифракциону решетку треба поставити паралелно лењиру.

Светлост спектралне лампе се посматра кроз дифракциону решетку. Просторија треба бити замрачена како би се уочиле спектралне линије, али истовремено је потребно имати довољно светла како би се очитале вредности подеока на лењиру. Растојање  $2l$  између спектралних линија исте боје на левој и десној страни првог реда

спектра треба читати без померања главе, како се неби направила грешка паралаксе. Такође треба измерити растојање између лењира и дифракционе решетке.



Слика 1. Експериментална апаратура

### Теорија и израчунавање

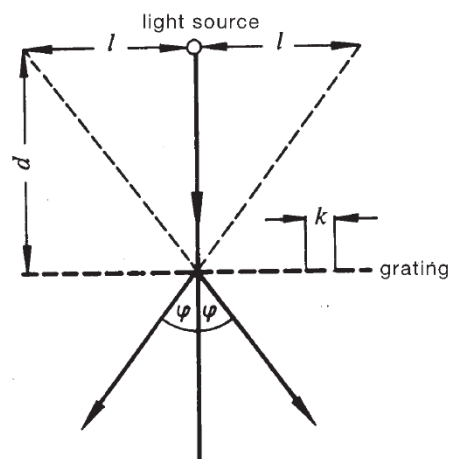
1. Уколико светлост таласне дужине  $\lambda$  дође до дифракционе решетке, константе дифракције  $k$ , долази до дифракције светлости. Максимално појачање светлости се дешава када је испуњен услов дифракционог максимума:

$$n\lambda = k \sin \varphi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Са слике 2 може се видети да важи:

$$\sin \varphi = \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}}, \quad \text{одакле је}$$

$$\lambda = \frac{k \cdot l}{\sqrt{d^2 + l^2}}, \quad k \text{-ти ред дифракционог максимума.}$$



Слика 2. Дифракција светлости на дифракционој решетки

2. Екситација  $He$  и  $Hg$  атома де догађа услед судара електрона са атомима унутар спектралне лампе. Овај процес је довољно познат. Разлика енергија између ексцитиованог стања  $E_1$  електрона атома  $He$  или  $Hg$  и основног стања  $E_0$  се у процесу деекситације емитује као квант светлости фреквенције  $\nu$ , при чему важи:

$$h\nu = E_1 - E_0,$$

где је  $h = 6.63 \cdot 10^{-34} Js$  - Планкова константа.

Нерелативистички Хамилтонов оператор двоелектронског атома Хелијума је:

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta_1 - \frac{\hbar^2}{2m} \Delta_2 - \frac{2e^2}{|\vec{r}_1|} - \frac{2e^2}{|\vec{r}_2|} + \frac{e^2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|},$$

где су  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ,  $m$  маса електрона и  $e$  његово наелектридање.

$\nabla_i = \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_i^2}$  је Лапласов оператор, а  $\vec{r}_i$  је вектор положаја  $i$ -тог електрона.

Спин-орбит интеракција је у овом случају занемарена узимајући у обзир мало  $Z = 2$  хелијума:

$$E_{so} \approx \frac{Z^4}{4 \cdot (137)^2}.$$

Уколико посматрамо  $\frac{e^2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}$  као члан интеракције електрона, тада својствене вредности Хамилтонијана без интеракције електрона су својствене вредности водониковог атома:

$$E_{n,m}^0 = -\frac{me^4}{8h^2} \left( \frac{1}{n^2} + \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, 3, \dots$$

Како је вероватноћа симултане двоелектронске ексцитације веома мала у поређењу са вероватноћом ексцитације једног електрона, спектар енергије система без интеракционог члана би био:

$$E_{l,m}^0 = -\frac{me^4}{8h^2} \left( 1 + \frac{1}{m^2} \right), \quad m = 1, 2.$$

Интеракциони члан између електрона укида дегенерацију по  $l$  чистог водониковог спектра. Уколико интеракциони члан посматрамо као пертурбацију, потребно је одредити пертурбациону корекцију енергији, чији члан би имао облик:

$$E_{nl\pm}^1 = \langle \phi_{nl\alpha}^{\pm} \left| \frac{e^2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|} \right| \phi_{nl\alpha}^{\pm} \rangle,$$

где је  $\phi_{nl\alpha}^{\pm}$  антисиметрична таласна функција два неинтерагујућа система са симетричним ( $\phi^+$ ) и антисиметричним ( $\phi^-$ ) чланом,  $l$  је орбитални квантни број, а  $\alpha$  представља сет других неопходних квантних бројева.

У случају атома Хелијума, орбитални момент имулса је једнак укупном орбиталном моменту импулса читавог атома, како се у обзир узима само ексцитација једног електрона, док други електрон остаје у основном стању ( $l = 0$ ).

Интеракција орбиталног ангуларног момента  $L$  са укупним спином  $S$  резултује, за  $S = 0$  синглетне серије и  $S = 1$  триплетне серије. Како је спин-орбитални члан интеракције мели, триплетно цепање је незнатно. Селекционо правило прелаза за промену сипина гласи:

$$\Delta S = 0,$$

Што резултује забрану прелаза између синглетних и триплетних нивоа.

Независно од спин-орбит интеракције, селекционо правило за укупни ангуларни момент гласи

$$\Delta J = 0, \pm 1,$$

Осим у случају када је  $J = 0$  и  $J' = 0$ .

Уколико је спин-орбит спрезање мало, важе селекциона правила за  $L$ :

$$\Delta L = 0, \pm 1.$$

Детаљан спектар атома Хелијума је приказан на слици 3.

3. Жива, за разлику од Хелијма је двоелектронски атом код кога је спин орбит спрезање изражено и не може се занемарити. У том случају укупни угаони момент

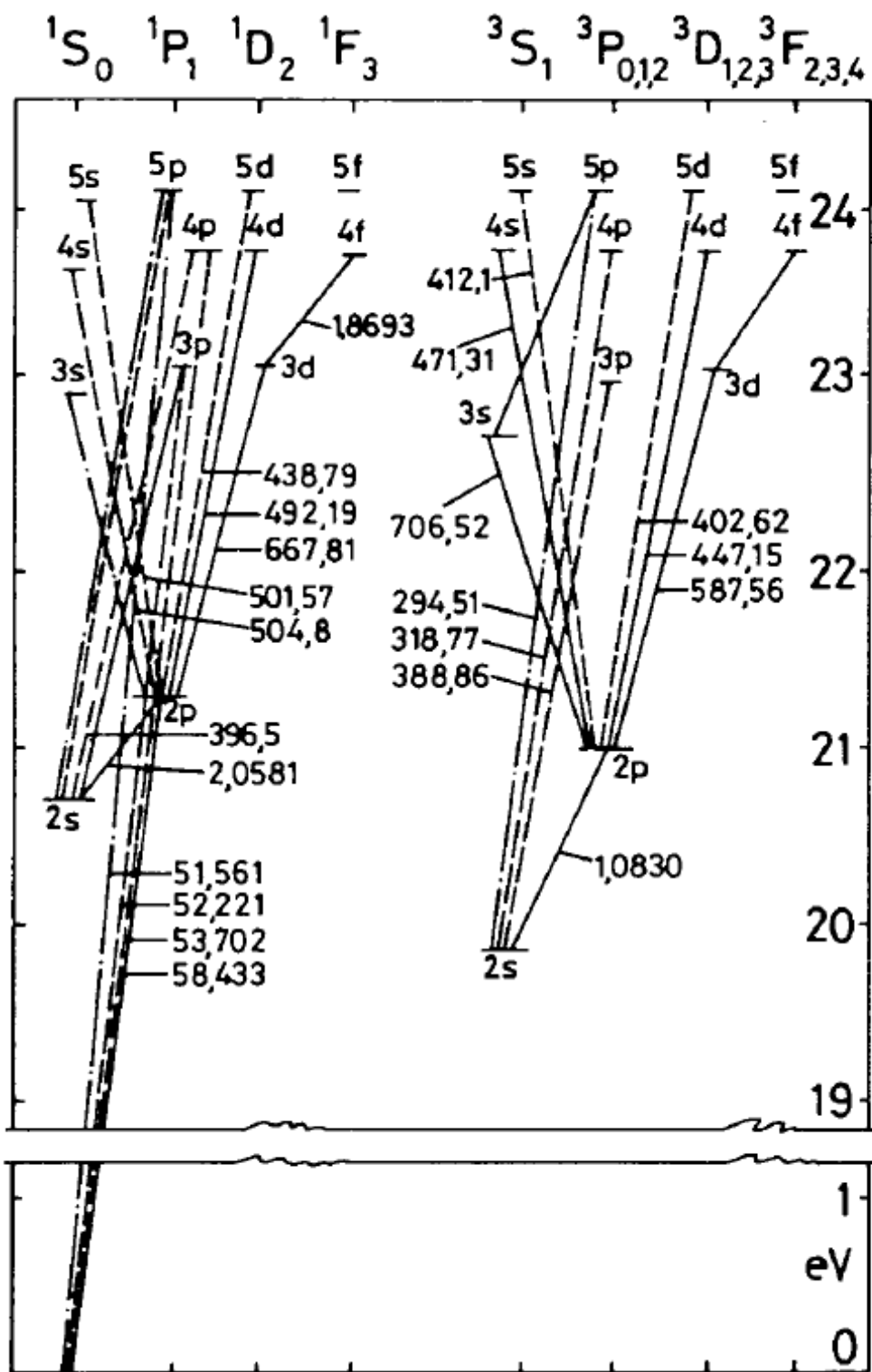
$$J = L + S$$

Представља параметар који се одржава. У овом случају триплетна структура је изражена. Чак ста више, селекционо правило

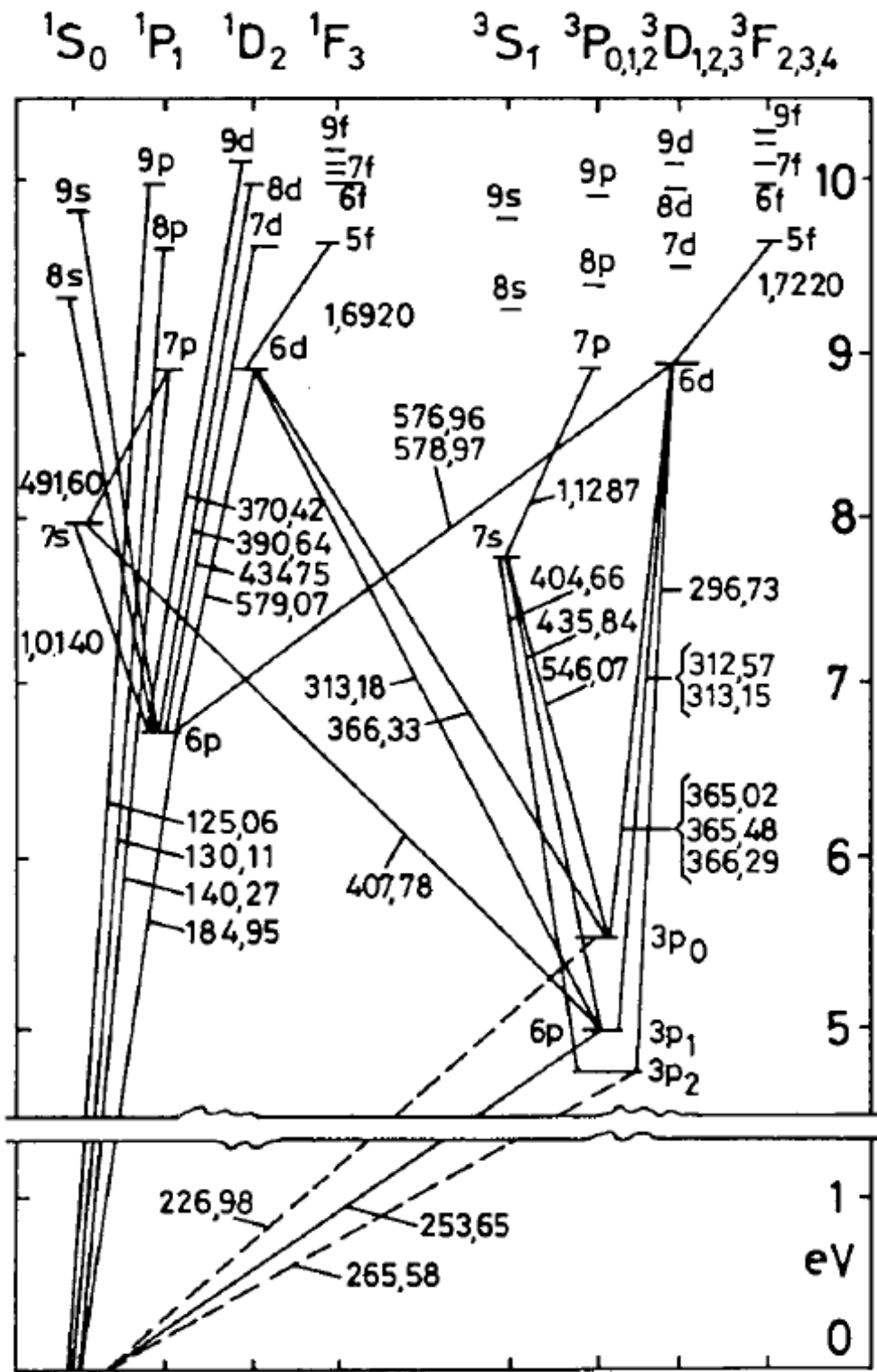
$$\Delta S = 0$$

Више се не може применити, узимајући у обзир да  $S$  није више параметар који се одржава (подсетити се  $L-S$  спреге и  $j-j$  спреге).

Детаљан спектар атома Живе је приказан на слици 4.



Слика 3. Спектар атома Хелијума



Слика 4. Спектар атома живе

## Задатак

Одредити таласне дужине спектралних линија за Хелијум и Живу и припадајуће грешке. На основу вредности таласне дужине одредити прелазе са Гротријанових дијаграма и уписати у Табели 1 и 2.

Табела 1. Спектралне лијније Хелијума

Боја	$\lambda(nm) \pm \Delta\lambda(nm)$	Прелаз
црвена		$3^1D \rightarrow 2^1P$
жуто – наранџаста		$3^3D \rightarrow 2^3P$
зелена		$3^1D \rightarrow 2^1P$
плаво-зелена		$4^1D \rightarrow 2^1P$
плава		$4^3S \rightarrow 2^3P$
љубичаста		$4^3D \rightarrow 2^3P$

Табела 2. Спектралне лијније Живе

Боја	$\lambda(nm) \pm \Delta\lambda(nm)$	Прелаз
		$6^1D1 \rightarrow 6^1P1$
жута		$6^3D1 \rightarrow 6^1P1$
зелена		$7^3S1 \rightarrow 6^3P1$
зелена		$8^1S1 \rightarrow 6^1P1$
плава		$7^1S \rightarrow 6^1P1$