

## 7. Sféricky symetrické problémy

### 7.1 Moment hybnosti

7.1.) Jakým způsobem se odvodí vyjádření operátoru momentu hybnosti (jeho složek), operátoru  $\hat{L}^2$  a  $\hat{T}$  ve sférických souřadnicích?

7.2.) Pro jaké potenciály je moment hybnosti, resp. průmět momentu hybnosti do daného směru integrálem pohybu?

7.3.) Najděte vlastní stavy operátoru  $\hat{L}_z$  ve sférických souřadnicích.

### 7.2 Atom vodíku

7.4.) Na kterých kvantových číslech závisí energie a jednotlivé části vlnové funkce? Jaké hodnoty mohou nabývat kvantová čísla  $l, m$  při pevně zvoleném  $n$ ? Rozepište detailně všechny možnosti pro  $n = 3$ . Určete stupeň degenerace energetické hladiny  $n$ .

7.5.) V tabulce jsou kvantová čísla pro různé stavy atomu vodíku. Určete, které stavy jsou možné a které jsou nemožné?

n	3	2	4	5	5	10
l	2	3	3	5	3	0
m	0	1	-4	0	-2	0

7.6.) a) Kolik hodnot může nabývat  $l$  při pevně zvoleném  $n$ ?

b) Kolik hodnot může nabývat  $m$  při pevně zvoleném  $l$ ?

c) Kolik hodnot může nabývat  $m$  při pevně zvoleném  $n$ ?

d) Jaký je stupeň degenerace každé energetické hladiny?

7.7.) Jaká energie je třeba k utržení elektronu z atomu vodíku? Jaká je vlnová délka fotonu, který může excitovat vodík v základním stavu do prvního excitovaného stavu? Jakému přechodu odpovídá světlo vodíkové výbojky o vlnové délce 656 nm?

7.8.) Ověřte vlnové délky a barvy viditelných čar Balmerovy série ve spektru atomu vodíku.

7.9.) Jakým napětím je třeba urychlit elektron, aby měl dostatečnou energii

a) k excitaci atomu vodíku ze základního stavu do první excitovaného stavu?

b) k ionizaci atomu vodíku?

7.10.) Elektron v atomu vodíku vybudíme do 3. excitovaného stavu. Určete energii, která k tomu byla nutná. Vypočtete a graficky znázorníte různé možné energie (a vlnové délky) fotonů, které atom vodíku může vyzářit během návratu do základního stavu. Do kterých spektrálních sérií patří.

7.11.) Pro základní stav atomu vodíku spočítejte:  $\langle \hat{r} \rangle$ ,  $\langle \hat{r}^2 \rangle$  a nejpravděpodobnější vzdálenost elektronu od jádra. Jaká je pravděpodobnost nalezení částice ve vzdálenosti větší než  $3a$ ? Jaká je pravděpodobnost nalezení elektronu v jádře ( $r_{\text{jadro}} \approx 10^{-15}$  m)? (pozn.  $\psi_{100} = N e^{-r/a}$ , nezapomeňte normovat)

7.12.) Neutron o rychlosti 34 km/s se srazí s vodíkovým atomem v základním stavu v klidu. Ukažte, že tato srážka musí být pružná, tj. zachová se kinetická energie. (Návod: Ukažte, že atom se při této srážce nemůže excitovat.)

7.13.) Celková energie elektronu v základním stavu je -13,6 eV. Považujme ho za klasickou částici, která obíhá proton po kruhové dráze o Bohrově poloměru. Určete jeho potenciální energii, kinetickou energii a rychlost.

7.14.) V roce 1996 se fyzikům podařilo vytvořit atom antivodíku. Ten se skládá z pozitronu, který se pohybuje kolem antiprotonu. Pozitron je antičástice elektronu a antielektron je antičástice protonu. Částice a antičástice mají stejnou hmotnost, ale opačný náboj. Jak se bude lišit spektrum antivodíku od spektra vodíku?