

Posudek doktorské práce Mgr. Petra Dohnala

“Electron Ion Recombination in Low Temperature Plasma”

Práce je věnována experimentálnímu studiu rekombinace atomárních a molekulárních iontů s volnými elektrony. Cílem je stanovení rychlostních koeficientů této reakce za nízkých teplot v dohasínajícím plazmatu, a to nejen pro binární elektron-iontovou rekombinaci, ale i pro ternární elektron-iontovou rekombinaci s asistencí třetí částice, zde elektronů a helia. Práce pochází z pracoviště, které se tomuto tématu dlouhodobě věnuje a patří v tomto oboru ke světové špičce. Kvalita práce je podtržena 24 články publikovanými v mezinárodních recenzovaných časopisech na kterých se Petr Dohnal podílel jako jeden z autorů (z toho 5 jako hlavní autor).

Autor v práci popisuje širokou paletu použitých experimentálních technik, včetně Flowing Afterglow - Langmuir Probe (FALP), Stationary Afterglow (SA) a Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS). Ve všech případech je prokázáno detailní pochopení problematiky. Oceňuji též podrobný historický úvod k jednotlivým technikám. Autor se podílel na měření a analýze dat z již existujících aparatur, měl ale také principiální roli při stavbě nové aparatury (Cryo-FALP II), která umožňuje studium rekombinace při rekordně nízkých teplotách (50 K).

Disertace je psána formou ucelené práce, jednotlivé publikace (10) jsou připojeny. Celý text je psán anglicky, jazyková úroveň je slušná a svědčí bezproblémové komunikaci v angličtině. Text je vesměs přehledný, obrázky jsou informativní a kvalitní. K drobným formálním nedostatkům patří:

- Podrobný výpis typů použitých komerčních přístrojů text částečně znepřehledňuje, tyto údaje mohly být lépe uvedeny např. v poznámkách pod čarou.
- Kapitoly 2.2 a 2.3 popisují vybrané experimentální techniky. Bohužel, jednotlivé metody zde nejsou jasně uvedeny do kontextu autorovy práce a souvislosti začnou být zřejmé až v kapitole 3. Použitý styl by snad byl lépe zúročen přesunutím částí textu 2.2 a 2.3 do oddělených příloh odkazovaných v hlavním textu.
- Definice *ortho*, *para* (a *meta*) pro H_3^+ (D_3^+) nemusí být obecně známá a v textu chybí.
- Autorem integrální analýzy (viz rovnice 3.10) je O. Novotný, který ale není spoluautorem odkazovaného článku [Korolov et al., 2008] na str. 45. Vhodnější (doplňující) reference je jeho dizertační práce.
- Rovnice 3.1 lze přepsat bez konstanty S_v , která je nutně rovna $S_v = V_0 p_0 / (T_0 F_0)$, což vyplývá z limitního případu $F_{gas}=0 \Rightarrow V=0$. Motivace k uvedené formě zápisu není z textu zřejmá.

Výsledky práce zahrnují rychlostní rekombinační koeficienty pro ionty Ar^+ , H_3^+ , D_3^+ v teplotním rozsahu 50-300 K. Studium těchto parametrů v dohasínajícím plazmatu za nízkých teplot vyžaduje pochopení všech probíhajících procesů, včetně rekombinace za přítomnosti třetí částice. Autor práce se podrobně věnuje ternární rekombinaci za pomoci elektronů a helia. Pro Ar^+ , získané hodnoty ternární rekombinace jsou unikátní pro nízké teploty ($\geq 50K$) a dobře souhlasí s existujícími daty za vyšších teplot. Podobně výsledky binární radiativní rekombinace Ar^+ jsou unikátní pro studovaný rozsah teplot. Oba výsledky jsou v souladu s teoriemi daných procesů. V práci jsou dále uvedeny ternární i binární rychlostní koeficienty pro rekombinaci H_3^+ a D_3^+ v podobném rozsahu teplot. Ačkoli binární rychlostní konstanty jsou pro tyto ionty v dobré shodě s posledními teoretickými výsledky, ternární rychlostní konstanty se od teoretického popisu značně liší. Autor diskutuje možné experimentální důvody pro tuto neshodu. Další výsledky se týkají rekombinace H_3^+ v *ortho* a *para* konfiguraci nukleárního spinu. Výsledky binární rekombinace jsou v dobré shodě s teorií. Data byla získána pro teploty 77-200 K. Teplota plazmatu byla (v některých popsáných experimentech) kontrolována *in situ*, a data pro daný teplotní rozsah dosud nebyla experimentálně získána jinou vědeckou skupinou. Zejména výsledky pro *ortho* a *para* H_3^+ mají velký mezinárodní ohlas. Tato data jsou důležitá pro modelování chemie v mezihvězdných oblacích, kde spolehlivá experimentální data s touto specifikací nebyla k dispozici. Škoda že autor práce nezkusil diskutovat právě astrofyzikální důsledky jeho výsledků.

V souvislosti s interpretací výsledků nesouhlasím s jednoznačností tvrzení, že podíl $\text{para H}_3^+ / f_3$ je konstantní v čase (strana 85, na základě obrázku 29). Naopak z uvedených dat při 170 K je zřejmý mírný, ale statisticky signifikantní, pokles, tj. podíl para H_3^+ klesá s rekombinujícím plazmatem. To je ve shodě s faktem že rychlostní konstanta rekombinace pro para H_3^+ je vyšší než pro ortho H_3^+ (obrázek 27) a koncentrace para H_3^+ tudíž klesá rychleji. Pro nižší teploty, kde rozdíl mezi rekombinací ortho a para H_3^+ roste, se dá předpokládat ještě výraznější efekt. Konstantní podíl ortho a para H_3^+ v čase je důležitým předpokladem analýzy dat pro tuto skupinu experimentů (str. 84). Pravdivost tohoto předpokladu by si zasloužila podrobnější kvantitativní diskuzi.

Výsledky jsou zobrazeny převážně v grafech. Chyby experimentálních bodů prakticky nejsou popsány ani diskutovány v hlavním textu práce (v příložených člancích jsou alespoň odlišeny statistické a systematické chyby). Chybové úsečky v obrázku 27 pro ortho H_3^+ data patrně dosahují nulových nebo negativních hodnot rychlostní konstanty, což je fyzikálně nepravděpodobné.

Předkládaná práce jednoznačně splňuje požadavky pro doktorskou disertační práci a prokazuje autorovu schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Význam a úroveň disertace je dále podtržena publikovanými články autora.

RNDr. Oldřich Novotný, Ph.D.
Heidelberg, 16. 8. 2013

Columbia Astrophysics Laboratory
550 West 120th Street, MC 5247
New York, NY 10027, USA