

РЕЦЕНЗИЯ

Върху дисертационен труд за получаване на научната и образователна степен “Доктор”.

Автор на дисертационния труд: **Иво Темелков**.

Тема на дисертационния труд: **Намиране на пътища за получаване на свръхстудени молекули NaK чрез лазерна спектроскопия.**

Рецензент: професор дфн. **Светослав Рашев Славов**, ИФТТ БАН.

Актуалност на проблема. Без никакво съмнение, темата на този дисертационен труд е актуална и интересна. Това се дължи на преди всичко на големия интерес в последно време към получаването на газове от свръхстудени молекули. Свръхстудените молекули (молекули с нулева кинетична енергия, намиращи се в най-ниско вибрационно, и ротационно състояние) предоставят богати възможности за провеждане на спектроскопски изследвания с много висока разделителна способност, осъществяване на кохерентен контрол на химични реакции, и дори потенциал за реализиране на квантови компютри. NaK е особено подходяща защото тя е хетероядрена и има значителен постоянен диполен електричен момент (осигуряващ силни взаимодействия на големи разстояния в охладените молекулни ансамбли), освен това електронната структура на алкалните двуатомни молекули е достатъчно проста а съставящите я алкални атоми могат да се охладят лесно до получаване на кондензат на Бозе-Айнщайн.

Дисертационният труд представлява едно задълбочено и подробно изследване на спектроскопията на някои от нисковъзбудените електронни състояния на молекулата NaK и съответните ротационно-вибрационни състояния, както и на тяхната свръхфина структура. Тези данни са необходими, за да може да се приложи схема на Λ -възбъждане с два лазерни лъча, известна като STIRAP (стимулиран адиабатен Раманов преход), посредством който получените чрез фотоасоциация на атоми Na и K молекули NaK във възбудено електронно състояние с ниска кинетична енергия, да бъдат приведени в най-ниското ротационно-вибрационно ниво на основното електронно състояние. Основната идея на този тип охлаждане се състои в следното: първоначално молекулите се намират в резонанс на Фешбах, близо до асимптотата $\text{Na}(3s)+\text{K}(4s)$ на триплетното възбудено състояние $a^3\Sigma^+$; директното прехвърляне на заселеността към най-ниското ротационно-вибрационно ниво на основното електронно състояние е невъзможно, затова се използва индиректен двустъпален процес (два лазера) включващ междинно високовъзбудено състояние (комбинация от две взаимодействащи състояния) $V^1\Pi/c^3\Sigma$, при което сигналите са силни, но е необходимо отлично познаване на

фината и свръхфината структура на участващите състояния, както и изключителна стабилност на лазерите.

Иво Темелков познава състоянието на проблема. Първият раздел (или част) на дисертацията озаглавен Обзор (съдържащ глави 3-5) запознава читателя с теоретичните и експерименталните основи на проблема и на използвания подход. Разгледани са първо основите на теоретичното описание на двуатомните молекули, като се започва с приближението на Борн-Опенхаймер, позволяващо да се раздели електронното от ядреното движение в молекулата. Разгледани са подробно различните видове ъглови импулси (моменти) в молекулата и възможните схеми на свързването им (правила на Хунд) в зависимост от спецификата на конкретната молекула и електронно състояние. Систематизирани са свойствата на симетрия на вълновите функции и на съответните състояния. Даден е кратък, но актуален и компетентен обзор на известните литературни данни за спектроскопията и взаимодействията при някои ниско възбудени електронни състояния на молекулата NaK, представляващи интерес за изследванията в дисертацията. Представена е накратко и лазерната техника STIRAP (стимулиран адиабатен Раманов преход), използвана като основен експериментален инструмент в дисертацията.

Общ преглед на дисертационния труд

Структурата на дисертацията е в известен смисъл нетрадиционна. (Ще отбележим, че структурата на автореферата се различава донякъде от структурата на дисертацията, което също не е общоприето.) Първата глава представлява Въведение. Втората глава, озаглавена Обхват на дисертацията, представлява описание именно на нейната структура. За съжаление, описаната тук структура се отличава в известна степен от истинската, като са объркани някои глави и параграфи. Напр., там пише че Част II – Експеримент, съдържа 7 глави а от дисертацията не става много ясно колко точно са главите, но във всеки случай не повече от 5. Впрочем, съдържанието също не е пълно и не включва последните три точки в дисертацията, а именно Списък на фигурите, Списък на таблиците и Цитирана литература (89 заглавия). Следва Част I (наречена Обзор, съдържащ глави 3-5) на който се спряхме по-горе. Следващата Част II е озаглавена Експеримент и включва според мен глави 6-8. Най-много място е отделено на описанието на експерименталната установка и на подобренията, внесени в нея от автора на дисертацията (§6.1): вакуумна камера, пещ и формиране на ултразвуков сноп от NaK молекули; три вида стабилизирани лазери, филтри, λ -метри, детектор на флуоресценцията и компютърна система за обработка на данните. В §6.2 са описани предварителните експерименти за

оптимизиране на параметрите на установката (подобряване на качествата на молекулния сноп и на лазерите, оценка на точността на λ -метъра и на стабилизиращия интерферометър и оптимизиране на Λ -схемата на възбуждане). В глава 7 са описани основните експериментални измервания в дисертацията, които включват: §7.1. Спектроскопия на възбуждане на флуоресценцията от поднивата на $V^1\Pi/c^3\Sigma^+$ състоянието чрез сканиране на напompващия лазер, с цел детайлно изучаване на структурата на това състояние, и §7.2. Спектроскопско изследване (с използване на Λ -схемата) на фината и свръхфината структура на най-високо възбудените вибрационни състояния на $a^3\Sigma^+$ електронното състояние. Следващата глава 8 е посветена на интерпретацията на получените от експеримента спектроскопски данни и на теоретичното моделиране на свръхфината структура на $a^3\Sigma^+$ състоянието с използването на моделни Хамилтониани, разработени от проф. Тиман. Също така в тази глава е получен и оптимизиран аналитичен израз (в действителност три съставляващи аналитични изрази) за потенциалната крива на $a^3\Sigma^+$ състоянието. Не ми стана ясно по какъв начин от този израз се пресмятат енергетичните поднива на $a^3\Sigma^+$ състоянието, за да се определят оптимизираните параметри на израза. Накрая, в тази глава са обсъдени възможните пътища за получаване на охладени NaK молекули, с използване на Λ -схемата на възбуждане. Глава 9 съдържа разширено изложение на основните изводи от работата и формулировка на основните научни приноси на автора. Глава 10 представя публикационната активност по материала в дисертацията: една статия публикувана във Phys. Review A, една изпратена за печат в същото списание и участие с постерни доклади в 4 международни конференции. Тази публикационна активност е едно свидетелство за високото качество на работата. Следват две допълнения: Допълнение А съдържа списък на относителни честоти (не е указано в какви единици), съответстващи на компонентите на свръхфината структура на състоянието $a^3\Sigma^+$, с подробно описание посредством квантови числа (assignments) а Допълнение В представя абсолютни честоти и честотни разлики за някои от нивата. Накрая има Списък на фигурите, Списък на таблиците и Цитирана литература

Кратка аналитична характеристика на работата и основни приноси на автора.

В Част II – Експеримент, Глава 6, е описана подробно твърде сложната и много-компонентна използвана експериментална установка, както и всички подобрения и усъвършенствания върху съществуващата дотогава установка, осъществени от автора на дисертационния труд, с цел удовлетворяване на много по-високите изисквания свързани с поставената в дисертацията цел. Преди всичко, да се спрем на машината за произвеждане на свързвочковия молекулен сноп и вакуумната камера. Основно подобрение тук е отстраняването на облака от NaK молекули, пречещи на разпространението на снопа, чрез монтирането на

скимер пред дюзата на пещта. Използването на свръхзвуков молекулен сноп за експериментите позволява да се редуцира в огромна степен Доплеровото уширение на спектралните линии, както и уширението, дължащо се на удари между молекулите, които са в основно вибрационно ниво. Но как стои въпросът с ротационната температура на снопа? В автореферата се споменава, че вибрационната и ротационна температура е няколко десетки Келвина. При използването на молекулни снопове често се оказва, че вибрационната и ротационната температури са различни. В камерата с високо налягане понякога се добавя буферен газ (напр. He или Ar), с цел да се редуцира ротационната температура на молекулите в снопа (до около 5K), което позволява да се увеличи заселеността на основното ниво за сметка на по-високо възбудените нива. Защо тук това не се прави и има ли някаква по-точна оценка за ротационната температура на снопа?

От основно значение както за спектралните измервания, така и за цялостната Λ -схема на възбуждане и охлаждане, е използваната система от лазери. За напompващ лазер (на прехода $X^1\Sigma^+ \rightarrow B^1\Pi/c^3\Sigma^+$) е използван непрекъснат багрилен лазер Coherent CR-699, напompван с Ar йонен лазер Coherent Innova 200, с багрило Родамин 6G. За пробен лазер на прехода $a^3\Sigma^+ \rightarrow B^1\Pi/c^3\Sigma^+$ е използван титан-сапфиров лазер Teknoscan TIS-SF-07 напompван от Coherent Verdi, 10 W. За калибриране при честотните измервания в експеримента е използван честотно стабилизирани He-Ne лазер (Präzisionsmesstechnik), като еталон за честота. За подобряване на съотношението сигнал/шум, е подменена фабричната дюза на напompващия багрилен лазер а за постигане на необходимата точност при записване на спектрите на свръхфината структура на състоянието $a^3\Sigma^+$ е използван конфокален Фабри-Перо интерферометър, стабилизирани по еталонния He-Ne лазер. За абсолютните спектрални измервания е използван ламбдаметър High Finesse WS7 а за допълнителна активна стабилизация по интензитет на напompващия лазер се използва системата Thorlabs LCC3111, монтирана по пътя на лазерния лъч, в близост до молекуления сноп. Голяма част от усъвършенстванията по експерименталната установка, водещи до подобряване параметрите на молекуления сноп, стабилността на лазерите, чувствителността на регистриращата система, са дело на автора на дисертацията.

Преди започване на същинските измервания, са проведени предварителни тестове с цел анализиране и оптимизиране на работата и на параметрите на установката както и оценка на точността на измерванията. При същинските измервания, първоначално, чрез сканиране само на напompващия лазер и регистриране на лазерно индуцираната флуоресценция, е записана частта от ивицата $X^1\Sigma^+ \rightarrow B^1\Pi/c^3\Sigma^+$ (8-0), която липсваше в резултатите от предишни измервания в литературата. Използвани са спектралните линии R(0) и R(1), които са много

подходящи като пътища за получаване на свръхстудени молекули. Следващото основно спектрално измерване в дисертацията, при което се записва свръхфината структура на няколко от най-високо възбудените вибрационни нива на $a^3\Sigma^+$ – състоянието, се осъществява с помощта на Λ -схемата. При това измерване честотата на напмпващия лазер остава постоянна а се сканира честотата на пробния лазер, свързващ първоначално възбуденото ниво на $V^1\Pi/c^3\Sigma^+$ – състоянието с поднивата на $a^3\Sigma^+$ - състоянието. Когато честотата на пробния лазер съвпадне с честотата на молекулен преход, интензитетът на регистрираната флуоресценция силно намалява. По такъв начин е записана фината и свръхфината структура на високо възбудените вибрационни нива на $a^3\Sigma^+$ - състоянието, включително на последното, с вибрационно квантово число 18, което не е било наблюдавано до тогава. Наблюдавана е за пръв път вибрационната зависимост на величината на свръхфиното разцепване. С цел да се опише коректно наблюдаваната в измерванията с висока разделителна способност спектрална структура, е усъвършенстван съществуващия дотогава теоретичен модел за $a^3\Sigma^+$ - състоянието. С помощта на усъвършенствания модел е възможно да се симулират в детайли наблюдаваните спектри и да се опишат в термините на квантови числа всички регистрирани квантови нива.

Извършено е детайлно описание на потенциалната крива на $a^3\Sigma^+$ - състоянието, състояща се от три различни аналитични израза, за трите характерни области на междудрени разстояния. На базата на съществуващите преди и на получените и уточнени в дисертацията спектрални данни, са обсъдени възможностите и са посочени примерни пътища за лазерно охлаждане на молекулите $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$ а също така и на изотопомера $^{20}\text{Na}^{40}\text{K}$.

Убеден съм, че **материалът върху който се градят приносите на дисертацията, е достоверен.** Това следва както от подробното описание на експерименталната установка и на проведените спектрални изследвания и тестове, така и от многобройните проверки и оценки на точността на настройките на лазерите. Положени са усилия за постигане на едно удовлетворително съотношение сигнал/шум при спектрите. Постигнато е максимално стесняване на напмпващите и пробните лазерни линии и стабилизация на техните честоти. Направени са оценки на грешките и неточностите, дължащи се на различни странични влияния. Правени са проверки и сравнения с резултатите на други автори като в редица случаи е постигнато подобрене на точността и разширяване обхвата на по-ранните измервания.

Моето мнение е, че **основните научни приноси** в дисертацията се заключават в получаване на значително количество нови научни факти а също и на потвърдителни и

коригиращи факти, допринасящи за обогатяване на познанията в една актуална и бързо развиваща се и предизвикваща голям интерес научна област.

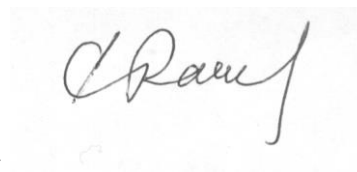
Убеден съм, че написването на самия дисертационен труд е до голяма степен дело на Иво Темелков, а що се отнася до резултатите и приносите описани в него, една значителна и напълно достатъчна част са негово дело. Както обаче отбелязах на няколко места по-горе, изложението съдържа някои формални недостатъци - на някои места липсва яснота и последователност, някои използвани съкращения или обозначения не са добре дефинирани, не особено добрия английски на който е написана - всичко това, макар и в минимална степен, затруднява четенето. Въпреки това общото впечатление е, че дисертацията и авторефератът са написани ясно, последователно и физически обосновано. Авторът много коректно е изтъкнал чуждите приноси, където има такива.

Авторефератът е написан добре, отговаря на изискванията и правилно отразява извършената работа и приносите в дисертацията.

Общо заключение. Работата представлява един изключително ценен научен труд и принос към съществуващите до този момент научни знания за спектроскопията на молекулата NaK и осъществява по мое мнение една важна крачка към получаване в близко бъдеще на охладени NaK молекули. Извършена е много голяма по обем работа, и то на много високо научно ниво. Напълно убеден съм, че работата представлява един висококачествен дисертационен труд, който удовлетворява и дори надхвърля стандартните изисквания. Поради това, без колебание ще гласувам за присъждане на научната и образователна степен Доктор на Иво Темелков.

София, 12 Май, 2015 г.

Рецензент:



/ Светослав Рашев /