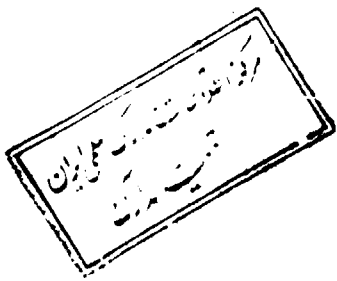


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۷۸ / ۱۲ / ۱۰

بسم الله الرحمن الرحيم

سرمایش لیزری

توسط:

علیرضا بیژن زاده

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای  
اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

فیزیک (گرایش اتمی)

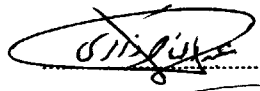
از

دانشگاه شیراز

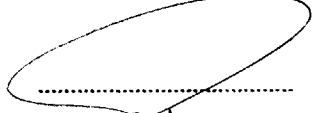
شیراز، ایران

5372

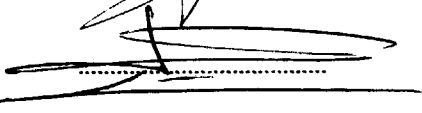
ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی  
امضاء اعضاء کمیته پایان نامه:



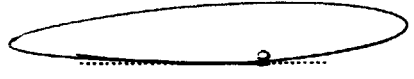
دکتر عبدالناصر زاکری، استادیار بخش فیزیک (رئیس کمیته)



دکتر حمید نادران، استادیار بخش فیزیک



دکتر محمد مهدی گلشن، استادیار بخش فیزیک



دکتر محمود مرادی، استادیار بخش فیزیک

شهریورماه ۱۳۷۸

۲۷۷۴۱

## تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر عزیزتر از جانم

که همچون شمعی فروزان از وجود خود کاستند تا نهال  
زندگی ام بارور گردد و طی این طریق جز در سایه همکاری و  
محبت آنان هرگز میسر نبود.

## سپاسگزاری

با سپاس به درگاه ایزد منان که در سایه الطافش توانایی آنرا یسافتم تا به پایان رسانم هر آنچه را که با یادش آغاز نمودم.

با تشکر و سپاس از استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر عبدالناصر ذاکری که در تهیه و تدوین این پایان نامه زحمات فراوانی را تقبل نموده اند. همچنین از اعضاء محترم کمیته پایان نامه، آقایان دکتر محمد مهدی گلشن، دکتر حمید نادگران و دکتر محمود مرادی کمال تشکر و امتنان را دارم و امیدوارم که همواره راهنما و گشاینده افق های تازه علم و دانش برای دانش پژوهان باشند.

در اینجا بر خود لازم می دانم از پدر، مادر و خانواده گرامی ام که همواره مددکار و مشوق من در طول دوران تحصیل بوده اند، از صمیم قلب تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده:  
سرمایش لیزری  
توسط:  
علیرضا بیژن زاده

سرمایش لیزری (laser cooling) روشی است که توسط نور لیزر می توان حرکت اتمها را کند کرد و دمای آنها را تا حد میکروکلوین پایین آورد. در این دما سرعت اتمها بسیار کند شده و می توان تک تک اتمها را با دقت زیادی مطالعه کرد و ساختار داخلی آنها را مشخص کرد. از کاربردهای سرمایش لیزری می توان ، طراحی ساعت های اتمی دقیقتر، تداخل سنج های اتمی ، جدا کردن ایزوتوپها، کشف ماده چگال بوز- انشتین در گازهای اتمی و ساخت لیزرهای اتمی را نام برد.

از آنجایی که سرمایش لیزری از دو مرحله بدام انداختن اتمها در تله و سرد کردن آنها تشکیل شده است. با در نظر گرفتن یک سیستم اتمی دو ترازی ، پایداری دو نوع تله (تله موج ایستا و تله موج گوسی) (standing wave trap and gaussian wave trap) برای اتمهای فلزات قلیایی (alkali metals) را بدست آورده و مشخص می کنیم که تله موج ایستا برای اتمهای سزیم پایدارترین تله ( با زمان مانده گاری  $61\text{ s} \approx$  ) می باشد البته در تله پرتو گوسی پایداری تله برای اتمهای سزیم ( با زمان مانده گاری  $30\text{ s} \approx$  ) با پایداری تله موج ایستا قابل مقایسه می باشد، ولی شدت پرتو گوسی

$(\approx 10^3)$  برابر کمتر از پرتو موج ایستا می باشد که از لحاظ عملی تله پرتو گوسی برای اتمهای سزیم مناسب ترین تله می باشد؛ و می تواند برای دست یافتن به دماهای بسیار پایین مورد استفاده قرار گیرد.

در ضمن پایین ترین حد دمایی در سرمایش لیزری را برای فلزات قلیایی بدست آورده و نتایجی که از تئوری سیستم اتمی دو ترازه بدست آمده را با نتایج تجربی مقایسه کرده و نقایص این تئوری را بیان می کنیم. در این روش پایین ترین حد دمایی را حد پس زنی (recoil limit) اتم قرار داده که برای اتمهای سزیم حدود  $(0.2 \mu\text{K})$  بدست می آوریم که با نتایج تجربی تقریباً توافق دارد. در آخر تغییرات چگالی اتمهای بدام افتاده را از طریق محاسبه بدست آورده و با نتایج تجربی مقایسه می کنیم و با رسم منحنی آن ملاحظه می شود که در زمانهای کوچک این نتایج کاملاً با هم توافق دارند.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
نه	فهرست جدولها
ده	فهرست شکلها
۱	فصل اول : مقدمه
۲	فصل دوم : بررسی حرکت اتمها در یک تله تابشی
۲	۲-۱- مقدمه
	۲-۲- نیروی فشار تابش تشدیدی
۵	(resonance radiation pressure force)
۷	۲-۲- تله اپتیکی (optical trap)
۱۱	فصل سوم : نیروی فشار تابشی
۱۱	۳-۱- مقدمه
۱۲	۳-۲- محاسبه نیروی فشار تابشی
۲۱	۳-۳- وابستگی نیرو به سرعت اتم
۲۴	فصل چهارم : افت و خیز نیرو
۲۴	۴-۱- مقدمه
۲۴	۴-۲- ثابت پخش شدگی ممنتوم (momentum diffusion constant)

۲۷	۲-۴- بحث روی ثابت پخش شدگی ممنتوم
۴۱	فصل پنجم : تله اپتیکی برای اتمهای گروه یک فلزات قلیایی
۴۱	۱-۵- مقدمه
۴۱	۲-۵- زمان مانده گاری اتم در تله
۴۶	۳-۵- تله موج ایستا
	۴-۵- تله اپتیکی پرتو موج ایستا برای اتمهای گروه یک فلزات
۴۸	قلیایی
۵۷	۵-۵- تله پرتو گوسی
	۶-۵- تله اپتیکی پرتو موج گوسی برای اتمهای گروه یک فلزات
۵۹	قلیایی
۶۳	فصل ششم : سرمایش لیزری
۶۳	۱-۶- مقدمه
۶۴	۲-۶- حد سرمایش دوپلری
۶۶	۳-۶- روش عملی سرد کردن اتمهای سزیم در سلول بخار
۷۳	۴-۶- روشهای تجربی اندازه گیری دما
۷۹	۵-۶- پایین ترین حد دمایی در سرمایش لیزری



۸۱	فصل هفتم : نتایج
۸۱	۱-۷- مقدمه
۸۱	۲-۷- پایداری تله برای فلزات قلیایی
۸۴	۳-۷- پایین ترین حد سرمایش برای فلزات قلیایی
۸۶	۴-۷- چگالی اتمهای بدام افتاده
۹۰	۵-۷- پیشنهادات برای ادامه کار

۹۱	منابع
----	-------

چکیده و عنوان به زبان انگلیسی

## فهرست جدولها

صفحه	جدول
۵۲	جدول (۱-۵). طول موج و آهنگ بازتابش اتمهای فلزات قلیایی
۵۴	جدول (۲-۵). فرکانس تشدید، بردار موج و جرم اتمی فلزات قلیایی
	جدول (۳-۵). پارامترهای تله با فاکتور بولتزمن ۱۰۰ برای فلزات
۵۶	قلیایی
	جدول (۴-۵). شدت پرتو تابیده شده، پارامتر نامیزانی بهنجار q،
	ماکزیمم ثابت پخش شدگی و زمان مانده گاری
۶۲	اتمهای فلزات قلیایی در تله پرتو گوسی
۸۰	جدول (۱-۶). انرژی پس زنی و پایین ترین حد دمایی فلزات قلیایی

## فهرست شکلها

صفحه

شکل

- شکل (۱-۶). نمودار تغییرات دما نسبت به نامیزانی فرکانس پرتو تابیده شده برای اتمهای سدیم با  $\gamma = 10 \text{ MHz}$ . ۶۵
- شکل (۲-۶). سلول تله با استفاده از تله مغناطیسی و اپتیکی برای بدام انداختن و سرد کردن اتمهای سزیم. برای تله اپتیکی، سیم پیچهای کوچک در آرایش پاد هلمهولتز عمل می کنند. شش پرتو لیزر در جهت فلشهای نشان داده شده، می باشد. برای تله مغناطیسی جریان در سیم پیچهای کوچک قطع و در سیم پیچهای بزرگ برقرار می شود. چهار میله جریان عمودی به دلیل محدودیت دو بعدی شکل نشان داده نشده است. ۶۷
- شکل (۳-۶). طرح خطوط میدان پیچه پاد هلمهولتز. خطوط تغییرات میدان در شکل نشان داده شده اند، که کمترین تغییرات آن در مرکز این مجموعه می باشد؛ و هرچه از مرکز دور شویم تغییرات افزایش پیدا می کند. ۶۹

شکل (۴-۶). طرح مجموعه (ZOT). در پیچه های مکانیکی که در شکل نشان داده شده است؛ امکان روشن و خاموش کردن پرتوهای لیزری سردکننده و آزمون (probe laser) را به ما می دهد.

۷۰

شکل (۵-۶). طرح یک تله اپتیکی در سه بعد. میدان " چهار قطبی کروی " توسط دو پیچه که دارای جریانهای مخالف هم می باشند، در امتداد محور z ها بوجود می آید. نور لیزر توسط فلشهای بزرگ در خلاف جهت هم در امتداد محورهای x و y و z با قطبش های نشان داده شده، منتشر می شوند.

۷۰

شکل (۶-۶). داده ها و اطلاعات از طریق محاسبه به روش TOF. ناحیه سایه دار بدلیل خطا در اندازه گیری دمای  $40 \mu\text{k}$  می باشد. پهنای داده ها از پهنای منحنی که از طریق محاسبه بدست آمده بیشتر است، چونکه از یک پرتاب به پرتاب دیگر سیستم ناپایدار است و اندازه گیری زمان کمی طولانی تر می شود.

۷۵

- شکل (۶-۷). نمودار دما برحسب نامیزانی فرکانس برای اتمهای  
 ۷۵ سدیم بوسیله روش TOF.
- شکل (۶-۸). روش چشمه. اندازه گیری سیگنال بر حسب  
 ارتفاع ناحیه آزمون از بالای مرکز شیره اپتیکی و  
 ۷۷ مقایسه آن با محاسبات.
- شکل (۶-۹). روش رهایی و دوباره بدام انداختن: اندازه گیری  
 نسبت فلونورسانسی کل شیره اپتیکی قبل و بعد  
 از یک دوره تاریکی  $t_{off}$ ، و مقایسه آن با  
 ۷۷ نسبتهایی که از طریق محاسبه بدست آمده است.
- شکل (۷-۱). تغییرات زمان مانده گاری برای اتمهای فلزات  
 ۸۲ قلیایی در تله موج ایستا.
- شکل (۷-۲). تغییرات زمان مانده گاری برای اتمهای فلزات  
 ۸۲ قلیایی در تله پرتو گوسی.
- شکل (۷-۳). نمودار شدت پرتو تابیده شده در تله پرتو ایستا  
 (سری ۱) و تله پرتو گوسی (سری ۲) برای اتمهای  
 فلزات قلیایی. در این نمودار شدت برحسب  
 $\left(\frac{KW}{cm^2}\right)$  می باشد، که برای مقایسه شدت پرتو

ایستا با پرتو گوسی ناگزیر شدت پرتو ایستا را  
 ۱۰۰ برابر کوچکتر از اندازه واقعی در نظر  
 گرفته ایم با این وجود از شدت پرتو گوسی  
 بسیار بیشتر است.

۸۲

شکل (۴-۷). آهنک خارج شدن اتمها از تله. گرادیان میدان  
 مغناطیسی  $\approx 12 \text{ G/cm}$  و شدت پرتو لیزر  
 $\approx 20 \text{ mW/cm}^2$  و فشار بخار اتمهای سزیم  
 $\approx 5 \times 10^{-11} \text{ Torr}$  می باشد.

۸۴

شکل (۵-۷). نمودار طیف اندازه گیری دما به روش (TOF)  
 برای اتمهای سزیم. دمای بدست آمده حدود  
 $T = 0.7 \mu\text{k}$  می باشد.

۸۵

شکل (۶-۷). توزیع ابر اتمی در یک تله که توسط یک دوربین  
 تلویزیونی CCD (charge-coupled-device) از ناحیه  
 فلئورسانس گرفته شده است.  $10^8$  اتم، توزیع ابر  
 اتمی، با چگالی یکنواخت کروی را بوجود می آورد.

۸۹

شکل (۷-۷). شدت درخشندگی ابر اتمهای بدام افتاده بر حسب  
 زمان. منحنی کشیده شده بهترین منحنی منطبق

شده روی داده های تجربی ، که دارای یک فرم  
نمایی می باشد. آهنگ اتلاف برابر با  $\alpha n + \beta n^2$   
می باشد.