دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد
رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

عنوان پایان‌نامه

بررسی شفافیت القایی الکترومغناطیسی و اثر کر در نقطه‌ی کوانتومی کروی ۳ ترازی Λ در مجاورت نانوذره‌ی کروی فلزی

استاد راهنما
دکتر حسن رنجبر عسکری

نگارنده
علی اصغری نژاد

شهریورماه ۹۳

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی علوم پایه
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد
رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

علی اصغری نژاد

بررسی شفافیت القایی الکترومغناطیسی و اثر کر در نقطه‌ی کوانتومی کروی ۳ ترازی Λ در مجاورت نانوذره‌ی کروی فلزی

در تاریخ ۹۳/۶/۳۰ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه‌ی عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر حسن رنجبر عسکری با مرتبه‌ی علمی استاد امضاء

۲- استاد داور داخل گروه۱ دکتر مهیار ماهجوبی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور داخل گروه۲ آقای مجتبی رحیمی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۴- نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی دکتر حسین شکفته با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

تمامی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های
حاصل از پژوهش موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه
ولی‌عصر (عج) رفسنجان است.

چکیده

در این پژوهش، شفافیت القایی الکترومغناطیسی در سیستمی متشکل از یک نقطه‌ی کوانتومی کروی که در مجاورت یک نانوذره‌ی فلزی کروی قرار دارد مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرض بر این است که نقطه‌ی کوانتومی دارای پیکربندی سه ترازی مدل Λ است. در ابتدا، میدان الکتریکی کل درون نقطه‌ی کوانتومی محاسبه می‌شود. بعد از آن، با استفاده از رهیافت تقریب موج چرخان و دستگاه مختصات چرخان، هامیلتونی سیستم را بازنویسی می‌کنیم. سپس پذیرفتاری الکتریکی مرتبه‌ی اول و سوم این سیستم با استفاده از حل معادلات حاکم بر تحول زمانی عناصر ماتریس چگالی، بدست می‌آید. در نهایت با استفاده از رابطه‌ی بین ضریب جذب و ضریب شکست سیستم، به ترتیب با قسمت‌های موهومی و حقیقی ضریب پذیرفتاری، ضرایب جذب خطی، غیر خطی و همچنین ضرایب شکست خطی و غیر خطی را بدست می‌آوریم. سپس، با حل معادله‌ی شرودینگر برای نقطه‌ی کوانتومی با پتانسیل کروی و بدون در نظر گرفتن اثر اسپین-مدار، ویژه مقادیر و ویژه توابع این سیستم را بدست آورده و سپس با در نظر گرفتن قطبش در جهت z برای لیزرهای کنترل و کاوشگر، محاسبات مربوط به ضرایب جذب و ضرایب شکست سیستم را انجام می دهیم. با رسم نمودارهای مربوط به این ضرایب، آن‌ها را بررسی می‌کنیم. نتایج نشان می‌دهند که برای این سیستم، تغییر شعاع نقطه‌ی کوانتومی، باعث افزایش ارتفاع قله‌ها و همچنین جابجایی قله ها می‌شود. تغییر شعاع نانوذره و فاصله‌ی بین نانوذره و نقطه‌ی کوانتومی نیز قله‌ها را جابجا می‌کند. اما حساسیت ضرایب اپتیکی سیستم نسبت به تغییر شعاع نقطه‌ی کوانتومی بیشتر از حساسیت نسبت به دیگر موارد است. علاوه بر این، تاثیر تغییر دامنه و عدم تنظیم فرکانسی لیزر کنترل بر ضرایب اپتیکی این سیستم، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: نقطه‌ی کوانتومی کروی، نانوذره‌ی کروی فلزی ، شفافیت القایی الکترومغناطیسی، سیستم ترکیبی، ضریب جذب خطی، ضریب جذب غیر خطی، ضریب شکست خطی، ضریب شکست غیر خطی، اثر کر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه..... ۱

فصل دوم: شفافیت القایی الکترومغناطیسی..... ۵

۲-۱ مقدمه..... ۵

۲-۲ شفافیت القایی الکترومغناطیسی در یک سیستم ۳ ترازی..... ۶

۲-۳ کاربردهای شفافیت القایی الکترومغناطیسی..... ۸

۲-۳-۱ حافظه‌های کوانتومی..... ۸

۲-۳-۲ آشکارسازی گاز..... ۹

۲-۳-۳ اندازه‌گیری جابجایی ریدبرگ..... ۱۱

۲-۴ نانوذرات فلزی..... ۱۲

۲-۵ پلاسمون‌های سطحی..... ۱۳

۲-۵-۱ مقدمه..... ۱۳

۲-۵-۲ پلاسمون‌های سطحی در نانوذرات فلزی..... ۱۴

۲-۵-۳ کاربردهای پلاسمون‌های سطحی..... ۱۶

۲-۵-۴ تحقیقات بیوپزشکی..... ۱۷

۲-۵-۵ کاربرد در سلول‌های خورشیدی.....۱۹

عنوان **صفحه**

۲-۵-۶ کاربرد در فناوری اطلاعات.....۲۱

۲-۶ نقاط کوانتومی نیمرسانا.....۲۳

۲-۷ اکسایتون‌ها.....۲۴

۲-۷-۱ کاربرد در سلول خورشیدی.....۲۵

۲-۸ سیستم‌های ترکیبی شامل نقطه‌ی کوانتومی نیمرسانا و نانوذره‌ی فلزی.....۲۵

۲-۸-۱ کاربرد سیستم ترکیبی در سلول‌های خورشیدی بر پایه‌ی EIT ۲۶

۲-۸-۲ کاربرد EIT در کنترل اتلاف گرما در نانوذره‌ی فلزی.....۲۷

۲-۹ میدان الکتریکی درون نقطه‌ی کوانتومی کروی در مجاورت نانوذره‌ی فلزی درون میدان الکتریکی یکنواخت.....۲۸

فصل سوم: بررسی کمّی شفافیت القایی الکترومغناطیسی در سیستم ترکیبی.....۳۷

۳-۱ توصیف کوانتومی شفافیت القایی الکترومغناطیسی بر اساس ماتریس چگالی.....۳۷

۳-۱-۱ مقدمه.....۳۷

۳-۱-۲ ماتریس چگالی.....۳۷

۳-۱-۳ هامیلتونی نقطه‌ی کوانتومی کروی در مجاورت یک نانوذره‌ی فلزی کروی در بر همکنش با نور.....۳۸

۳-۱-۴ پذیرفتاری الکتریکی سیستم.....۴۵

۳-۲ ترازهای انرژی و ویژه توابع نقطه‌ی کوانتومی کروی.....۴۷

عنوان **صفحه**

۳-۳ ضریب جذب.....۴۹

۳-۴ بررسی ضریب جذب خطی.....۵۱

۳-۴-۱ بررسی اثر حضور نانوذره بر ضریب جذب.....۵۲

۳-۴-۲ تأثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی.....۵۳

۳-۴-۳ تأثیر شعاع نانوذره.....۵۳

۳-۴-۴ تأثیر فاصله‌ی بین نانوذره و نقطه‌ی کوانتومی.....۵۶

۳-۴-۵ تأثیر دامنه‌ی میدان لیزر کنترل ۵۸

۳-۴-۶ تأثیر عدم تنظیم فرکانسی لیزر کنترل.....۵۹

۳-۵ پذیرفتاری مرتبه‌ی سوم و ضریب جذب غیر خطی.....۶۱

۳-۵-۱ اثر حضور نانوذره‌ی فلزی بر ضریب جذب غیر خطی.....۶۱

۳-۵-۲ تأثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی.....۶۳

۳-۵-۳ تأثیر شعاع نانوذره.....۶۴

۳-۵-۴ تأثیر فاصله‌ی بین نانوذره و نقطه‌ی کوانتومی.....۶۶

۳-۵-۵ تأثیر دامنه‌ی میدان لیزر کنترل.....۶۷

۳-۵-۶ تأثیر عدم تنظیم فرکانسی لیزر کنترل.....۶۷

عنوان **صفحه**

فصل چهارم: بررسی ضریب شکست خطی و اثر کر در سیستم ترکیبی.....۷۱

۴-۱ مقدمه ۷۱

۴-۲ ضریب شکست خطی ۷۲

۴-۲-۱ اثر حضور نانوذره بر ضریب شکست خطی.....۷۳

۴-۲-۲ تأثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی.....۷۵

۴-۲-۳ تأثیر شعاع نانوذره.....۷۶

۴-۲-۴ تأثیر فاصله‌ی بین نانوذره و نقطه‌ی کوانتومی.....۷۸

۴-۲-۵ تأثیر دامنه‌ی میدان لیزر کنترل.....۷۹

۴-۲-۶ تأثیر عدم تنظیم فرکانسی لیزر کنترل.....۷۹

۴-۳ ضریب شکست غیر خطی (n_2) سیستم ترکیبی.....۸۲

۴-۳-۱ اثر حضور نانوذره بر ضریب شکست غیر خطی.....۸۲

۴-۳-۲ تأثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی.....۸۴

۴-۳-۳ تأثیر شعاع نانوذره.....۸۴

۴-۳-۴ تأثیر فاصله‌ی بین نانوذره و نقطه‌ی کوانتومی.....۸۷

۴-۳-۵ تأثیر دامنه‌ی میدان لیزر کنترل.....۸۹

عنوان **صفحه**

۴-۳-۶ تأثیر عدم تنظیم فرکانسی لیزر کنترل.....۹۰

فصل پنجم: نتیجه گیری.....۹۳

پیشنهادها.....۹۵

منابع.....۹۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: انواع پیکربندی سیستم کوانتومی ۳ ترازی برای ایجاد پدیده‌ی EIT.....۶

شکل ۲-۲: سیستم ۳ ترازی با پیکربندی Λ.....۷

شکل ۲-۳: جذب و شفافیت القایی الکترومغناطیسی.....۸

شکل ۲-۴: استفاده از تداخل‌سنج مایکلسون و پدیده‌ی EIT به عنوان آشکارساز گاز.....۱۰

شکل ۲-۵: آینه‌ی تداخل‌سنج مایکلسون همراه با سیستم‌های اتمی ۳ ترازه.....۱۱

شکل ۲-۶: چیدمان روش (الف) و سیستم کوانتومی مورد استفاده (ب) در الکتروسنجی با استفاده از شفافیت القایی الکترومغناطیسی.....۱۲

شکل ۲-۷: تشکیل پلاسمون سطحی در مرز بین یک دی‌الکتریک و فلز، بر اثر برهمکنش موج الکترومغناطیسی با الکترون‌های آزاد فلز.....۱۴

شکل ۲-۸: ساختار الکتریکی نانوذره‌ی فلزی در عدم حضور عوامل خارجی.....۱۵

شکل ۲-۹: تشکیل نوسانات پلاسمونی در نانوذره‌ی فلزی، بر اثر برهمکنش با میدان الکتریکی نور.....۱۵

شکل ۲-۱۰: نمودار جذب و دامنه‌ی نور عبوری در حالت تشدید پلاسمون سطحی.....۱۶

شکل ۲-۱۱: استفاده از تشدید پلاسمون سطحی در آشکارسازی DNA.....۱۸

شکل ۲-۱۲: برچسب گذاری سلولی توسط نانوذرات.....۱۹

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱۳: استفاده از پلاسمون‌های سطحی جهت افزایش بازده‌ی سلول‌های خورشیدی.....۲۱

شکل ۲-۱۴: کاربرد پلاسمون سطحی در فناوری اطلاعات.....۲۳

شکل ۲-۱۵: اکسایتون در نیمرسانا.....۲۴

شکل ۲-۱۶: استفاده از پدیده‌ی EIT برای افزایش بازده‌ی سلول خورشیدی.....۲۷

شکل ۲-۱۷: کنترل اتلاف گرما در یک نانوذره‌ی فلزی با استفاده از EIT.....۲۸

شکل ۲-۱۸: سیستم ترکیبی نانوذره‌ی فلزی-نقطه‌ی کوانتومی در میدان الکتریکی یکنواخت.....۲۹

شکل ۲-۱۹: برهمکنش یک دو قطبی الکتریکی با یک جسم کروی.....۳۲

شکل ۳-۱: نمودار ضریب جذب خطی سیستم ترکیبی در عدم حضور لیزر کنترل (خط تیره) و در حضور لیزر کنترل (خط چین) برای قطبش در جهت z ۵۱

شکل ۳-۲: نمودار ضریب جذب خطی سیستم بر حسب Δ_p/γ_{02} در دو حالت حضور و عدم حضور نانوذره در حضور پدیده‌ی EIT.....۵۲

شکل ۳-۳: نمودار قسمت موهومی و ضریب جذب سیستم در شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی برای قطبش در جهت z ۵۴

شکل ۳-۴: نمودار ضریب جذب خطی سیستم برای شعاع‌های مختلف نانوذره بر حسب Δ_p/γ_{02} برای قطبش در جهت z ۵۵

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۵: نمودار ضریب جذب خطی بر حسب Δ_p/γ_{02} وقتی که فاصله‌ی بین نانوذره و نقطه‌ی کوانتومی تغییر می‌کند و قطبش در جهت z است.....۵۷

شکل ۳-۶: نمودار ضریب جذب خطی بر حسب Δ_p/γ_{02} وقتی که دامنه‌ی میدان کنترل در حال افزایش است و برای قطبش در جهت z ۵۸

شکل ۳-۷: نمودار ضریب جذب خطی بر حسب Δ_p/γ_{02} برای مقادیر مختلف Δ_c و برای قطبش در جهت z ۶۰

شکل ۳-۸: نمودار ضریب جذب غیر خطی سیستم در حالت حضور و عدم حضور نانوذره‌ی فلزی بر حسب Δ_p/γ_{02}.....۶۲

شکل۳-۹: نمودار $\alpha_{Nonlinear}$ بر حسب Δ_p/γ_{02} برای شعاع‌های متفاوت نقطه‌ی کوانتومی.....۶۳

شکل ۳-۱۰: نمودار ضریب جذب غیر خطی برای شعاع‌های متفاوت نانوذره‌ی فلزی بر حسب Δ_p/γ_{02}.....۶۵

شکل ۳-۱۱: نمودار ضریب جذب غیر خطی بر حسب Δ_p/γ_{02} وقتی فاصله‌ی بین نانوذره و نقطه‌ی کوانتومی در حال افزایش است.....۶۶

شکل ۳-۱۲: نمودار ضریب جذب غیر خطی بر حسب Δ_p/γ_{02} برای مقادیر مختلف دامنه‌ی میدان کنترل.....۶۸

شکل ۳-۱۳: نمودار ضریب جذب غیر خطی بر حسب Δ_p/γ_{02} برای مقادیر متفاوت Δ_c.....۶۹

عنوان **صفحه**

شکل۴-۱: نمودار n_0 بر حسب Δ_p/γ_{02} در دو حالت حضور و عدم حضور لیزر کنترل برای قطبش z در جهت ۷۳

شکل ۴-۲: نمودار n_0 بر حسب Δ_p/γ_{02} در دو حالت حضور و عدم حضور نانوذره‌ی فلزی برای قطبش z در جهت ۷۴

شکل ۴-۳: نمودار n_0 برای شعاع‌های متفاوت نقطه‌ی کوانتومی در حضور میدان کنترل برای قطبش در جهت z ۷۵

شکل ۴-۴: نمودار n_0 برای شعاع‌های متفاوت نانوذره بر حسب Δ_p/γ_{02} ۷۷

شکل ۴-۵: نمودار n_0 بر حسب Δ_p/γ_{02} برای فواصل مختلف بین نقطه‌ی کوانتومی و نانوذره..... ۷۸

شکل ۴-۶: نمودار n_0 بر حسب Δ_p/γ_{02} برای مقادیر مختلف دامنه‌ی میدان کنترل..... ۸۰

شکل ۴-۷: نمودار n_0 برای مقادیر مختلف Δ_c بر حسب Δ_p/γ_{02} ۸۱

شکل ۴-۸: نمودار ضریب شکست غیر خطی (n_2) بر حسب Δ_p/γ_{02} در حضور لیزر کنترل و با قطبش در جهت z ۸۳

شکل ۴-۹: نمودار n_2 در دو حالت حضور و عدم حضور نانوذره..... ۸۴

شکل ۴-۱۰: نمودار n_2 برای مقادیر مختلف شعاع نقطه‌ی کوانتومی..... ۸۵

شکل ۴-۱۱: نمودار n_2 برای مقادیر مختلف R_m ۸۶

شکل ۴-۱۲: نمودار n_2 برای مقادیر مختلف d ۸۸

شکل ۴-۱۳: نمودار n_2 برای مقادیر مختلف دامنه‌ی لیزر کنترل..... ۸۹

شکل ۴-۱۴: نمودار n_2 برای مقادیر مختلف Δ_c بر حسب Δ_p/γ_{02} ۹۱

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۱-الف: استفاده از شفافیت القایی برای حذف طول موجهای با فرکانس‌های مختلف..... ۹۵

شکل ۵-۱-ب: استفاده از شفافیت القایی برای حذف طول موجهای با فرکانس‌های مختلف.....۹۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{lin})_{max}$ برای دو حالت حضور و عدم حضور نانوذره.....۵۳

جدول ۳-۲: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{lin})_{max}$ برای مقادیر متفاوت شعاع نقطه‌ی کوانتومی.....۵۵

جدول ۳-۳: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{lin})_{max}$ برای R_mهای متفاوت.....۵۶

جدول ۳-۴: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{linear})_{max}$ برای dهای مختلف.....۵۷

جدول ۳-۵: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{lin})_{max}$ وقتی دامنه‌ی میدان کنترل کاهش می‌یابد.....۵۹

جدول ۳-۶: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{linear})_{max}$ برای مقادیر مختلف Δ_c.....۶۰

جدول ۳-۷: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{lin})_{max}$ برای دو حالت حضور و عدم حضور نانوذره.....۶۲

جدول ۳-۸: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{nonlin})_{max}$ وقتی شعاع نقطه‌ی کوانتومی افزایش می‌یابد.....۶۴

جدول ۳-۹: مقادیر $(\Delta_p/\gamma_{02})^{max}$ و $(\alpha_{no})_{max}$ برای R_mهای مختلف.....۶۵

جدول ۳-۱۰: مقادیر $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\max}$ و $\left(\alpha_{nonlinear}\right)_{\max}$ برای مقادیر مختلف d ۶۷

جدول ۳-۱۱: مقادیر $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\max}$ و $\left(\alpha_{n\ o\ n}\right)_{\mathrm{m}i\ \mathrm{a}}$ برای مقادیر مختلف E_{0c} ۶۹

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱۲: مقادیر $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\max}$ و $\left(\alpha_{n\ o\ n\ l\ i}\right)_{\mathrm{m}\ a}$ برای مقادیر منفی و مثبت Δ_c ۷۰

جدول ۴-۱: مقادیر $\left(n_0\right)_{\max}$ و $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\max}$ برای دو حالت حضور و عدم حضور نانوذره در حضور لیزر کنترل.....۷۴

جدول ۴-۲: مقادیر $\left(n_0\right)_{\max}$ و $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\mathrm{m}\ a}$ برای مقادیر متفاوت شعاع نقطه‌ی کوانتومی.....۷۶

جدول ۴-۳: مقادیر $\left(n_0\right)_{\max}$ و $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\mathrm{m}\ a}$ وقتی که شعاع نانوذره در حال افزایش است.....۷۷

جدول ۴-۴: مقادیر $\left(n_0\right)_{\max}$ و $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\mathrm{m}}$ برای dهای مختلف.....۷۹

جدول ۴-۵: مقادیر $\left(n_0\right)_{\max}$ و $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\mathrm{m}}$ برای مقادیر مختلف E_{0c} ۸۱

جدول ۴-۶: مقادیر $\left(n_0\right)_{\max}$ و $\left(\Delta_p/\gamma_{02}\right)^{\mathrm{m}}$ برای مقادیر متفاوت Δ_c ۸۲