

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد. M.Sc.

گرایش: فیزیک هسته ای

عنوان:

حل معادله حرکت دام یون غیر خطی (نوسانگر مربعی و نوسانگر مربعی-مکعبی)
با استفاده از روش موازنه هارمونیک و روش تکرار

استاد راهنما:

دکتر علیرضا درودی

استاد مشاور:

دکتر هوشیار نوشاد

پژوهشگر:

نغمه السادات سجادی

شهریورماه ۱۳۹۱

تقدیم به :

مادر، پدر، همسر عزیزم

خدای رابی ساگرم که از روی کرم پدر و مادری فدکار و همسری دلنوز نصیم ساخته تا در سایه
درخت پر بار وجودشان بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم، و

همسر نازنینم که موهبتی است از سوی پروردگار در زندگی.

چرا که این عزیزان پس از پروردگاریه، هستی ام بوده اند. دستم را گرفتند و راه رفیق

را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب به من آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند.

حال این برگ سبزی است تخم درویش تقدیم آنان....

تشکر و قدردانی :

بر خود لازم می‌دانم از تمامی کسانی که مرا در انجام این پروژه یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم. قدردانی خاضعانه خود را نسبت به مادر عزیز و مهربانم و همچنین پدر فرزانه‌ام که در تمامی طول زندگی یار و یاورم بوده‌اند ابراز می‌دارم. از آقایان دکتر درودی و دکتر نوشاد که با راهنمایی‌های خودشان مسیر انجام این پروژه را هموار نمودند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم. از آقای نصیری همسر عزیزم و خانم رضائیان اصل دوست مهربانم که در امور اجرایی و علمی این پروژه همکار و همیار من بودند تشکر می‌نمایم. امید است که با الطاف حق و رهنمودهای بیدریغ اساتید، همکاران و دوستان بتوانم در آینده منشأ کارهای بزرگتری به جامعه علمی کشور باشم.

بسمه تعالی

در تاریخ : نیم سال دوم ۹۰-۹۱

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای / خانم نغمه السادات سجادی از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره ۱۹ بحروف نوزده و با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء استاد راهنما



چکیده

طیف‌سنج جرمی دام یون دستگاهی است که یون‌های متحرک سریع را بر اساس نسبت جرم به بار آن‌ها جدا می‌کند.

یکی از متداولترین انواع این طیف‌سنج‌ها، دام یون چهارقطبی است. این وسیله برای شناسایی مولکول‌ها و اتم‌ها و نیز تعیین ساختار مولکولی استفاده شده و گستره کاربرد وسیعی در علوم و صنعت دارد. در این پروژه بررسی معادلات حرکت یون در دام یون چهارقطبی و محاسبه فرکانس‌های سکولار حرکت یون مدنظر است. ابتدا عملکرد معادلات حرکت یون در حالت ایده‌ال و با فرض میدان چهارقطبی بررسی می‌شود، سپس با در نظر گرفتن شرایط تجربی، معادله محوری حرکت یون با فرض برهم‌نهی میدان‌های شش‌قطبی و هشت‌قطبی محاسبه خواهد شد. معادله غیرخطی به دست آمده مشابه معادله نوسانگر دافینگ می‌باشد. این معادله به روش تکرار و روش موازنه هارمونیک حل می‌شود. با حذف جملات سکولار از معادلات خطی به دست آمده، مقادیر عددی فرکانس‌های مشخصه محوری به صورت تابعی از پارامترهای میدان محاسبه می‌شوند. سرانجام فرکانس‌های محاسبه شده توسط این روش‌ها با نتایج دقیق و نتایج تقریبی دیگر مقایسه می‌شوند. همچنین نمودار مکان-زمان حرکت یون محاسبه شده در تقریب‌های اول و دوم با نمودارهای جواب دقیق مقایسه می‌شوند. همچنین در این پروژه به معرفی روش‌های مختلف برای حل معادله غیرخطی نیز پرداخته خواهد شد. تمامی محاسبات و نمودارهای این پروژه با استفاده از برنامه ممتیکا انجام شده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱ مقدمه
۲	۱-۱) مقدمه
۲	۲-۱) طیف‌سنجی جرمی
۴	۳-۱) انواع طیف‌سنج جرمی
۴	۱-۳-۱) تفکیک‌کننده جرمی چهارقطبی (QMF)
۶	۲-۳-۱) دام یون چهارقطبی (QIT)
۸	۳-۳-۱) دام یون استوانه‌ای (CIT)
۹	۴-۱) کاربردهای دام یون
۱۳	فصل ۲ دام یون ایده‌آل (خطی)
۱۴	۱-۲) دام یون ایده‌آل (خطی)
۱۵	۲-۲) تئوری عملکرد دستگاه‌های چهارقطبی هذلولوی
۱۷	۱-۲-۲) معادلات حرکت یون در تفکیک‌کننده جرمی
۲۱	۲-۲-۲) معادلات حرکت در دام یون
۲۵	۳-۲) بررسی معادله ماتیو
۲۹	۴-۲) کاربرد تقریب چاه شبه پتانسیل در محاسبه انرژی جنبشی یون
۳۱	فصل ۳ دام یون غیرخطی
۳۲	۱-۳) دام یون غیرخطی
۳۳	۱-۱-۳) محاسبه توزیع پتانسیل
۳۵	۲-۳) معادله مسیر حرکت یون در دام یون غیرخطی
۳۹	۱-۲-۳) معادله محوری حرکت یون
۴۱	فصل ۴ روش‌های حل معادلات غیرخطی
۴۲	۱-۴) مقدمه
۴۳	۲-۴) روش لینداشتد-پوانکاره
۴۶	۳-۴) روش مقیاس‌های چندگانه
۴۹	۴-۴) روش میانگین‌گیری
۵۱	۵-۴) روش تکرار
۵۴	۶-۴) روش موازنه هارمونیک

۵۸	فصل ۵ کاربرد روش موازنه هارمونیک و روش تکرار
۵۹	۱-۵) مقدمه
۶۰	۲-۵) معادلات کمکی در حل معادله محوری حرکت یون
۶۲	۳-۵) روش موازنه هارمونیک
۶۶	۴-۵) روش تکرار
۷۳	فصل ۶ ارزیابی و تحلیل نتایج
۷۷	۱-۶) محاسبه مقادیر عددی فرکانس‌های مشخصه محوری
۷۷	۲-۶) مقایسه مقادیر عددی فرکانس‌های مشخصه محوری با نتایج دقیق
۸۲	۳-۶) نمودارهای مکان-زمان حرکت یون
۸۳	۱-۳-۶) نمودارهای مکان-زمان حرکت یون با استفاده از روش موازنه هارمونیک
۸۶	۲-۳-۶) نمودارهای مکان-زمان حرکت یون با استفاده از روش تکرار
۸۹	۴-۶) پیشنهادات
۹۰	پیوست‌ها
۱۰۶	مراجع

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۶-۱. مقایسه مقادیر محاسبه شده $\frac{\omega}{\omega_0}$ برای مقادیر مختلف f_1 با نتایج دقیق در روش موازنه هارمونیک.....	۷۸
جدول ۶-۲. مقایسه مقادیر محاسبه شده $\frac{\omega}{\omega_0}$ برای مقادیر مختلف f_2 با نتایج دقیق با استفاده از روش موازنه هارمونیک.....	۷۹
جدول ۶-۳. مقایسه مقادیر محاسبه شده $\frac{\omega}{\omega_0}$ برای مقادیر مختلف f_1 و f_2 با نتایج دقیق در روش موازنه هارمونیک.....	۷۹
جدول ۶-۴. مقایسه مقادیر محاسبه شده $\frac{\omega}{\omega_0}$ برای مقادیر مختلف f_1 با نتایج دقیق و با روش اختلال هموتوبی در روش تکرار.....	۸۰
جدول ۶-۵. مقایسه مقادیر محاسبه شده $\frac{\omega}{\omega_0}$ برای مقادیر مختلف f_2 با نتایج دقیق و با روش اختلال هموتوبی در روش تکرار.....	۸۰
جدول ۶-۶. مقایسه مقادیر محاسبه شده $\frac{\omega}{\omega_0}$ برای مقادیر مختلف f_1 و f_2 با نتایج دقیق در روش تکرار.....	۸۱

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱. تفکیک‌کننده جرمی با الکترودهای استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای
۷	شکل ۱-۲. دام یون چهارقطبی
۹	شکل ۱-۳. طرحی از دام یون استوانه‌ای
۱۷	شکل ۱-۲. تفکیک‌کننده جرمی با الکترودهای هذلولوی
۱۸	شکل ۲-۲. خطوط هم‌پتانسیل در تفکیک‌کننده جرمی
۲۱	شکل ۲-۳. طیف‌سنج دام یون با دو الکتروده کلاهدک و یک الکتروده حلقوی با ساختار هذلولوی
۲۲	شکل ۲-۴. خطوط هم‌پتانسیل در صفحه rz برای دام یون
۲۲	شکل ۲-۵. خطوط هم‌پتانسیل در صفحه xy برای دام یون
۲۳	شکل ۲-۶. خطوط هم‌پتانسیل زینی شکل در دو بعد
۲۴	شکل ۲-۷. خطوط هم‌پتانسیل دام یون در سه بعد به صورت سطح زینی شکل
۳۵	شکل ۳-۱. توزیع پتانسیل الف) شش‌قطبی ب) هشت‌قطبی
۶۱	شکل ۵-۱. نمودار پتانسیل با فرض پارامترهای میدان با مقادیر $f_1 = f_2 = f_3 = 0.05$
۶۱	شکل ۵-۲. نمودار پتانسیل با فرض پارامترهای میدان با مقادیر $f_1 = 0.1, f_2 = 0.2, f_3 = 0.15$
۶۲	شکل ۵-۳. نمودار پتانسیل با فرض پارامتر میدان با مقدار $f_2 = 0.30$
	شکل ۶-۱. نمودار مکان-زمان حرکت یون (حل دقیق) در بازه زمانی $0 \leq t \leq T$ برای حالت
۸۳	$f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$
	شکل ۶-۲. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب اول) با استفاده از روش موازنه هارمونیک برای
۸۳	حالت $f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$
	شکل ۶-۳. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب دوم) با استفاده از روش موازنه هارمونیک برای
۸۳	حالت $f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$
	شکل ۶-۴. مقایسه نمودارهای مکان-زمان تقریب اول و تقریب دوم (روش موازنه هارمونیک) با
۸۳	نمودار حل دقیق حرکت یون برای حالت $f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$
	شکل ۶-۵. نمودار مکان-زمان حرکت یون (حل دقیق) در بازه زمانی $0 \leq t \leq T$ برای حالت
۸۴	$f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$
	شکل ۶-۶. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب اول) با استفاده از روش موازنه هارمونیک برای
۸۴	حالت $f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$

- شکل ۶-۷. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب دوم) با استفاده از روش موازنه هارمونیک برای حالت $f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$ ۸۴
- شکل ۶-۸. مقایسه نمودارهای مکان-زمان تقریب اول و تقریب دوم (روش موازنه هارمونیک) با نمودار حل دقیق حرکت یون برای حالت $f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$ ۸۴
- شکل ۶-۹. نمودار مکان-زمان حرکت یون (حل دقیق) در بازه زمانی $0 \leq t \leq T$ برای حالت $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$ ۸۵
- شکل ۶-۱۰. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب اول) با استفاده از روش موازنه هارمونیک برای حالت $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$ ۸۵
- شکل ۶-۱۱. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب دوم) با استفاده از روش موازنه هارمونیک برای حالت $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$ ۸۵
- شکل ۶-۱۲. مقایسه نمودارهای مکان-زمان تقریب اول و تقریب دوم (روش موازنه هارمونیک) با نمودار حل دقیق حرکت یون برای حالت $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$ ۸۵
- شکل ۶-۱۳. نمودار مکان-زمان حرکت یون (حل دقیق) در بازه زمانی $0 \leq t \leq T$ برای حالت $f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$ ۸۶
- شکل ۶-۱۴. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب اول) با استفاده از روش تکرار برای حالت $f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$ ۸۶
- شکل ۶-۱۵. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب دوم) با استفاده از روش تکرار برای حالت $f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$ ۸۶
- شکل ۶-۱۶. مقایسه نمودارهای مکان-زمان تقریب اول و تقریب دوم (روش تکرار) با نمودار حل دقیق حرکت یون برای حالت $f_1 = 0.07, f_2 = -0.07$ ۸۶
- شکل ۶-۱۷. نمودار مکان-زمان حرکت یون (حل دقیق) در بازه زمانی $0 \leq t \leq T$ برای حالت $f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$ ۸۷
- شکل ۶-۱۸. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب اول) با استفاده از روش تکرار برای حالت $f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$ ۸۷
- شکل ۶-۱۹. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب دوم) با استفاده از روش تکرار برای حالت $f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$ ۸۷
- شکل ۶-۲۰. مقایسه نمودارهای مکان-زمان تقریب اول و تقریب دوم (روش تکرار) با نمودار حل دقیق حرکت یون برای حالت $f_1 = 0.20, f_2 = 0.20$ ۸۷
- شکل ۶-۲۱. نمودار مکان-زمان حرکت یون (حل دقیق) در بازه زمانی $0 \leq t \leq T$ برای حالت $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$ ۸۸

شکل ۶-۲۲. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب اول) با استفاده از روش تکرار برای حالت

۸۸ $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$

شکل ۶-۲۳. نمودار مکان-زمان حرکت یون (تقریب دوم) با استفاده از روش تکرار برای حالت

۸۸ $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$

شکل ۶-۲۴. مقایسه نمودارهای مکان-زمان تقریب اول و تقریب دوم (روش تکرار) با نمودار حل

دقیق حرکت یون برای حالت $f_1 = 0.01, f_2 = 0.01$

۸۸

فصل ۱

مقدمه

۱-۱) مقدمه

طیف‌سنج جرمی دستگاهی است که یون‌های متحرک سریع را بر اساس نسبت جرم به بار آن‌ها جدا می‌کند. انواع مختلفی از این نوع دستگاه‌ها مانند طیف‌سنج جرمی چهارقطبی و زمان پرواز^۱ وجود دارند. در این پروژه به بررسی طیف‌سنج جرمی چهارقطبی خواهیم پرداخت.

یکی از متداول‌ترین انواع این طیف‌سنج دام یون چهارقطبی است، که به طور گسترده‌ای در طیف‌سنجی جرمی، خنک‌سازی یونی، اسپکتروسکوپی، استانداردهای فرکانس و محاسبات کوانتومی کاربرد دارد. این وسیله همچنین برای شناسایی مولکول‌ها، اتم‌ها و تعیین ساختار مولکولی استفاده شده و کاربرد وسیعی در علوم و صنعت دارد.

دام یون وقتی به عنوان یک طیف‌سنجی جرمی عمل می‌کند که میدان درون دستگاه طوری عوض شود که مسیر یون‌هایی که به طور همزمان محصور شده‌اند و نسبت جرم به بار ($\frac{m}{Q}$) مشخص و پشت سرهم دارند، به ترتیب ناپایدار شوند. یون‌ها بعد از خروج از دام با آشکارسازها برخورد می‌کنند و سیگنال خروجی تولید می‌کنند. این روش نسبتاً آسانی برای جداسازی جرمی در دام یون می‌باشند که تحولی در طیف‌سنجی جرمی (MS)^۲ ایجاد کرده است.

۱-۲) طیف‌سنجی جرمی

برای بررسی عملکرد دام یون در ابتدا به طور مختصر به اساس کار طیف‌سنجی جرمی خواهیم پرداخت. این نوع طیف‌سنجی شامل مراحل زیر است:

۱- اتم‌سازی از نمونه مورد نظر.

۲- تبدیل کسر قابل توجهی از اتم‌های تشکیل شده به جریانی از یون‌ها.

^۱Time of flight

^۲Mass Spectrometry

۳- جداسازی یون‌های تشکیل شده بر اساس نسبت جرم به بار آن‌ها ($\frac{m}{Q}$)، که در آن m جرم یون بر حسب واحدهای جرم اتمی و Q بار آن است.

۴- اندازه‌گیری جریان تولید شده، هنگامی که یون‌های تشکیل شده از نمونه به یک آشکارساز مناسب برخورد می‌کنند.

بر اساس این روند، یونیزاسیون و وارد کردن آن‌ها به دستگاه یکی از مراحل مهم طیف‌سنجی است. راه‌های مختلفی برای تولید یون‌ها وجود داشته و می‌توان منابع ایجاد یون را به دو دسته تقسیم کرد:

۱- منابع گازی: در این منابع مولکول‌ها به فرم گازی تبدیل شده و سپس یونیزه می‌شوند. از جمله این روش‌ها می‌توان به یونیزاسیون الکترونی و شیمیایی، تولید یون به روش الکترواسپری^۱ و یونیزاسیون سریع در بمباران‌های اتمی اشاره کرد.

۲- منابع واجذبی^۲: در این سیستم نمونه‌ها مستقیماً از حالت مایع یا جامد به فرم گازی تبدیل می‌شوند. مزیت این روش امکان گرفتن طیف از مولکول‌های حساس به حرارت است. زیرا روش‌های دیگر بر روی نمونه‌های غیرفرار و ناپایدار از نظر حرارتی قابل اعمال نیستند. یونیزاسیون لیزری یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر برای تبدیل نمونه‌های جامد یا مایع، به یون‌های گازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مکانیسم تشکیل یون در اثر تابش پرتو لیزر تاکنون به خوبی درک نشده است، اما نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مختلف با لیزرهای گوناگون نشان می‌دهد که طول موج لیزر عامل مهمی در یونیزاسیون نیست، بلکه نکته قابل اهمیت مدت و ضربان‌های لیزر است. با استفاده از این روش طیف‌های جرمی برای نمونه‌های بیوشیمیایی حساس نسبت به حرارت و از نوع جامد و مایع قابل بررسی است [۱].

^۱Electrospray

^۲Desorption

باریکه یونی ایجاد شده از طیف‌سنج جرمی عبور کرده و به تپ قابل استفاده برای یک آشکارساز تبدیل می‌شود. انواع مختلفی از آشکارسازها وجود دارند که برای طیف‌سنجی جرمی می‌توان آن‌ها را به دو دسته تقسیم کرد:

- ۱- صفحات عکاسی و قفس فارادی که بارهایی را که به آشکارساز می‌رسند به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کنند. اولین طیف‌سنج‌های جرمی صفحات عکاسی را به عنوان آشکارساز به کار گرفتند.
- ۲- آشکارسازهای تکثیرکننده فوتون یا الکترون و آشکارسازهای آرایه‌ای که شدت تپ را افزایش می‌دهند [۲].

۱-۳) انواع طیف‌سنج جرمی

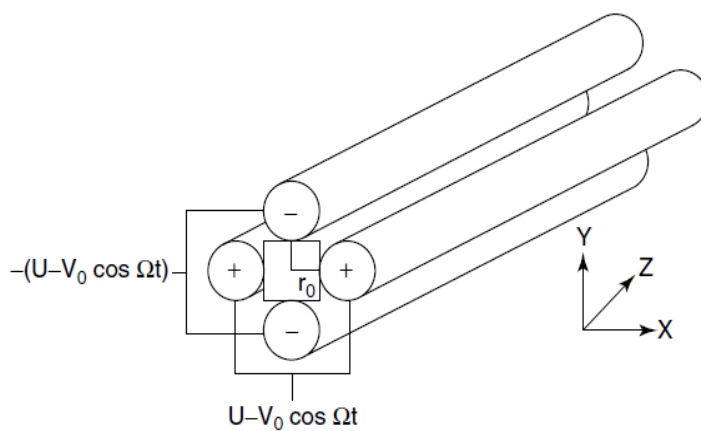
این نوع طیف‌سنج بر اساس ساختار هندسی آن به صورت‌های مختلفی ساخته می‌شود. در این جا سه نوع از این طیف‌سنج معرفی می‌شود.

۱-۳-۱) تفکیک‌کننده جرمی چهارقطبی (QMF)^۱:

این دستگاه از چهار میله استوانه‌ای موازی با مقطع هذلولوی تشکیل شده است. این میله‌ها به عنوان الکتروده به کاررفته و از جنس فلزی می‌باشند. الکترودهای مجاور دارای بار مخالف بوده و اساس کار این دستگاه بر مبنای ایجاد یک میدان چهارقطبی استوار است. پتانسیل اعمالی به الکترودها به صورت $\phi = U - V \cos \omega t$ است که در آن ω بسامد زاویه‌ای برابر $2\pi f$ و f فرکانس رادیو فرکانسی (RF) است، U پتانسیل مستقیم و V دامنه ولتاژ RF است. هنگام ورود یون به درون فضای بین میله‌ها، ولتاژهای مستقیم و دامنه متناوب روی میله‌ها هم زمان افزایش می‌یابند، در حالی که نسبت آن‌ها ثابت باقی می‌ماند. ثابت شده است که اگر به جای الکترودهای فوق از الکترودهای استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای

^۱Quadrupole mass filter

استفاده شود و نسبت شعاع استوانه‌ها به شعاع داخلی بین الکترودها حدوداً برابر ۱.۱۶ اختیار شود، میدان حاصله نیز با تقریب خوبی با میدان ناشی از الکترودهای با مقطع هذلولوی برابر خواهد بود و به همین لحاظ الکترودها را برای سادگی عموماً استوانه‌ای در نظر می‌گیرند. در هر لحظه معین، تمام یون‌ها به جز آن‌هایی که یک مقدار مشخص جرم به بار دارند به میله‌ها برخورد کرده و به مولکول‌های خنثی تبدیل می‌شوند. بنابراین یون‌ها با گستره محدودی از مقادیر $\frac{m}{Q}$ به آشکارساز می‌رسند. حرکت یون در دستگاه به دو صورت پایدار و ناپایدار خواهد بود. در حرکت پایدار ذرات در صفحه x و y با دامنه محدود نوسان می‌کنند و از میدان چهارقطبی در راستای z بدون برخورد به الکترودها عبور کرده و به آشکارساز می‌رسند. اما در حرکت ناپایدار، دامنه‌ها در راستای x و y یا در هر دو راستا به صورت نمایی افزایش یافته و در نتیجه ذرات به الکترودها برخورد کرده و از بین می‌روند. شکل (۱-۱) تفکیک‌کننده جرمی را با ساختار الکترودهای استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای نشان می‌دهد [۴].



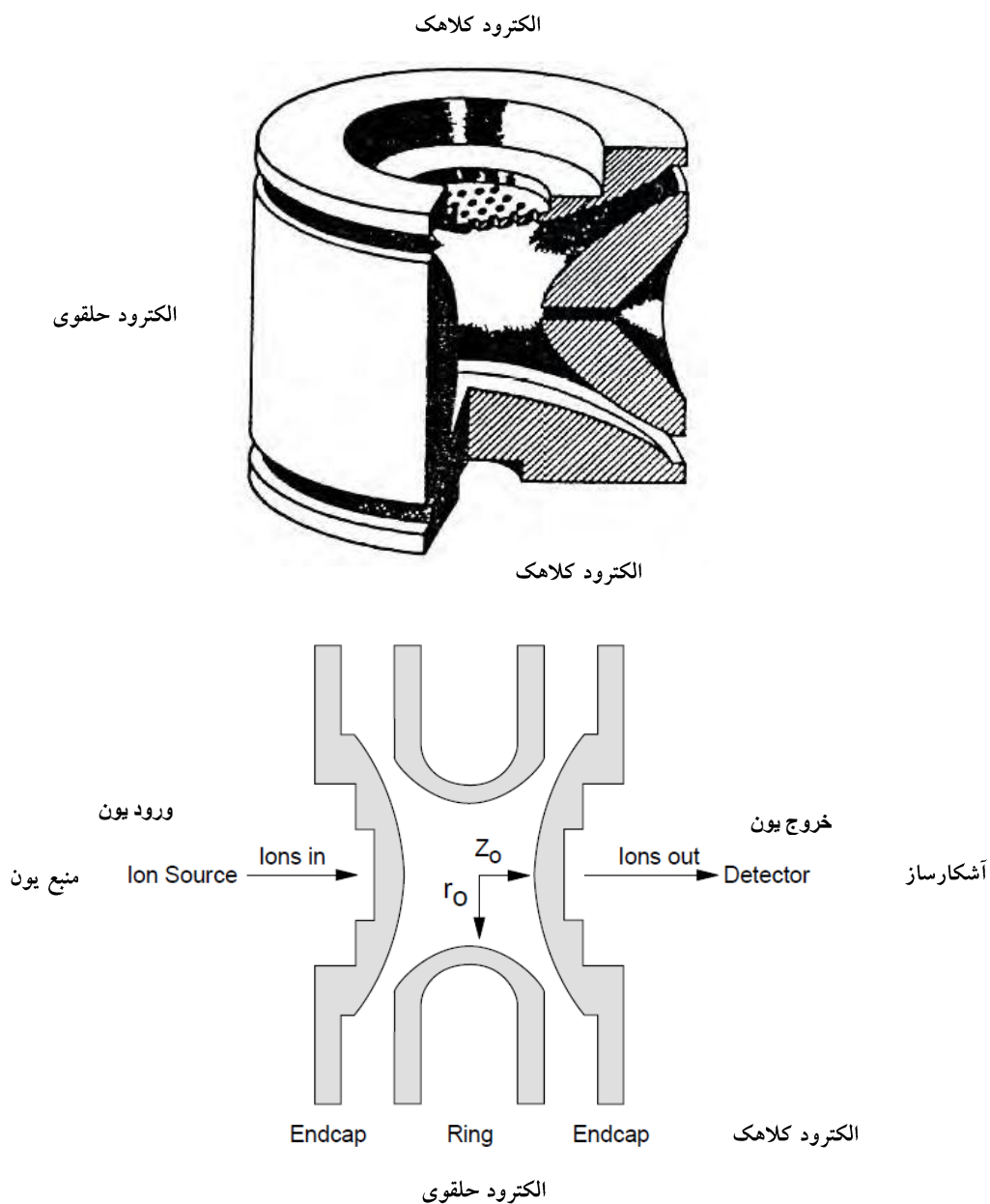
شکل ۱-۱. تفکیک‌کننده جرمی با الکترودهای استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای [۴]

۱-۳-۲) دام یون چهارقطبی (QIT)^۱: [۵]

این طیف سنج از یک الکتروود فلزی مرکزی به نام الکتروود حلقوی و دو الکتروود فلزی دیگر در بخش‌های بالایی و پایینی به نام الکتروودهای کلاهک تشکیل می‌شود. متداول‌ترین شکل هندسی این الکتروودها هذلولوی است. این ساختار هندسی یک میدان چهارقطبی الکتریکی را در فضای دام به وجود می‌آورد. این میدان با اتصال الکتروودها به ولتاژهای مستقیم و متناوب با بسامد رادیویی ایجاد شده و باعث محصور شدن یون‌ها می‌گردد. عموماً الکتروودهای کلاهک به ولتاژ $\phi = U - V \cos \omega t$ و الکتروود حلقه به زمین متصل می‌شود. میدان الکتریکی متناوب ایجاد شده در دام باعث حرکت نوسانی یون در ناحیه مرکزی آن می‌شود. عموماً جنس الکتروودهای به کار رفته از فولاد ضد زنگ ساخته می‌شود. در بعضی موارد نیز فولاد ضد زنگ که با اکسید کروم پوشانده شده، به کار گرفته می‌شود. همچنین برای طیف‌سنجی ترکیبات آلی کلردار از مولیبدن استفاده می‌شود. علت استفاده از مولیبدن این است که فلز دیرگدازی است و با ترکیبات آلی کلردار واکنش نمی‌دهد، در نتیجه ضریب انبساط حرارتی آن کم است و باعث تغییر شکل کمی در دام یون می‌شود. کارکرد بهینه برای QIT با متمرکز کردن ابر یونی در مرکز دام، به وسیله برخورد با گاز زمینه دستگام میسر شده و عموماً گاز هلیوم، نئون یا آرگون به کار گرفته می‌شود. از آنجا که حرکت یون‌های محصور شده در دام پریودیک است، دامنه مسیر یون‌های متمرکز شده در اثر برخورد را می‌توان به وسیله تحریک و تشدید یون‌ها افزایش داد. این تشدید با اعمال یک پتانسیل کم دامنه با بسامد رادیو فرکانسی به الکتروودهای کلاهک امکان پذیر است.

شکل (۱-۲) دام یون چهارقطبی را با شعاع الکتروود حلقوی r_0 و z_0 فاصله مرکز دستگام تا الکتروود کلاهک نشان می‌دهد.

^۱Quadratic ion trap



شکل ۱-۲. دام یون چهارقطبی [۵].

برای اهداف کاربردی الکتروودها بریده می‌شوند ولی از دید نظری و ایده‌آل تا بی‌نهایت ادامه دارند. امروزه در بیشتر دام‌های تجاری اندازه r_0 حدود 1cm یا 0.707cm است. اگرچه این دستگاه حتی در مقیاس‌های نانو نیز ساخته شده است. طیف‌سنج دام یون چهارقطبی یک دستگاه فوق‌العاده با حساسیت بالا، بازه جرمی وسیع و قدرت تفکیک جرمی بالا می‌باشد. طیف‌سنج جرمی دام یون

چهارقطبی^۱ از این جهت که از نظر فیزیکی در مقایسه با دستگاههای قطاع مغناطیسی و الکتريکی کوچک است و نسبتاً ارزان است یک دستگاه فوق‌العاده است.

اگرچه این دستگاه حساس‌ترین دستگاه طیف‌سنجی جرمی نیست ولی یکی از حساس‌ترین آنهاست و چون عملکردهای مختلف انتخاب جرم به طور متوالی قابل انجام است دام یون می‌تواند به‌عنوان طیف‌سنجی جرمی پشت سر هم^۲ بکار رود.

یک تفاوت برجسته بین این دستگاه و دیگر طیف‌سنج‌های جرمی این است که در فشار 10^{-3} Torr کار می‌کنند و این فشار برای دستگاه‌های دیگر $10^{-9} - 10^{-6} \text{ Torr}$ است. بنابراین زمان اسکن جرمی کوتاه بوده و در حدود 0.01 ثانیه می‌باشد [۴ و ۶].

۱-۳-۳ دام یون استوانه‌ای (CIT^۳):

برای مصارف مختلف، هندسه‌های متفاوتی از دام یون برای طیف‌سنجی پیشنهاد شده است. دام یون استوانه‌ای به دلیل آسان‌تر بودن ساخت آن نسبت به *QIT* با ساختار هذلولوی، مورد توجه واقع شده است. عملکرد دام یون استوانه‌ای از لحاظ مشخصات باید مشابه با دام یون چهار قطبی هذلولوی باشد. اگرچه *CIT* هندسه ساده‌ای دارد اما معادله حرکت یون در آن پیچیده و حل تحلیلی مشکلی خواهد داشت. این دستگاه شامل یک الکتروود حلقه و دو الکتروود انتهایی متصل به زمین و مقابل هم در راستای محور *z* است. این الکتروودها در یک ساختار استوانه‌ای شکل قرار گرفته‌اند. در الکتروودهای کلاهیک روزنه‌هایی برای ورود و خروج یون وجود دارد. شکل (۱-۳) نمایی از این نوع طیف‌سنج را نشان می‌دهد.

^۱Quadrupole Ion Trap Mass Spectrometry

^۲Tandem mass spectrometry

^۳Cylindrical ion trap