

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



جامعة أم القرى  
كلية العلوم

## بسمه تعالی

### تأییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیات داوران نسخه نهایی پایان نامه آقای مهدی اسکندری رشته فیزیک تحت عنوان «مطالعه آزمایشگاهی آشکارساز صفحه عایق با استفاده از یک نسلکوب پرتو کیهانی» از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مورد تأیید قرار دادند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راعنا	دکتر احمد مشایخ	استادیار	
۲- استاد ناظر داخلی	دکتر محمدرضا ابوالحسنی	استادیار	
۳- استاد ناظر داخلی	دکتر احمد بزغلی	دانشیار	
۴- استاد ناظر خارجی	دکتر کامران کابلی	دانشیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدرضا ابوالحسنی	استادیار	

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی

### دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

اینجانب مهدی اسکندری دانشجوی رشته فیزیک ورودی سال تحصیلی ۸۱ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده علوم پایه متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم.

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته فیزیک است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر احمد مشاعی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب مهدی اسکندری دانشجوی رشته فیزیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مهدی اسکندری

تاریخ و امضا:



## دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک (ذرات بنیادی)

# مطالعه آزمایشگاهی آشکارساز صفحه عایق با استفاده از یک تلسکوپ پرتوهای کیهانی

نگارنده:

مهدی اسکندری

استاد راهنما:

دکتر احمد مشاعی

اسفند ۱۳۸۸

تقدیم

به دستان گرم و پر مهر پدرم

و قلب مهربان مادرم

## سپاس

گفت وگوهای من و شما اگر چه همیشه از سر سازندگی و بحر آبادی است؛ اما

بن بست منطقه ما گاه صفحاتی را سفیدی کند که شاید حتی ارزش فکر و تصمیم

برای سفیدسازی نداشته باشد. باشد که عمرم و ارادتم بیچگاه از قلم سفیدوتی

نشود، احساسم دچار سانور نشود و پاسم بر خامه قلمم جاری شود.

دکتر احمد مشاعی

دکتر کامران کاویانی

لاروس خسروی خراساد

## چکیده

آشکارساز صفحه عایق، از جمله آشکارسازهای گازی با صفحات موازی است که به دلیل زمان تفکیک کم و بازده بالا، یکی از پرکاربردترین آشکارسازها برای مقاصد راه‌اندازی و اندازه‌گیری زمان پرواز ذرات، می‌باشد. اگر چه آشکارساز صفحه عایق در دهه ۱۹۸۰ اختراع شد، اما در حال حاضر، همچنان مطالعه تئوری و تجربی این آشکارساز، تحت بررسی است. ما در این پژوهش به بررسی ساختمان آشکارساز صفحه عایق و چگونگی ساخت آن خواهیم پرداخت و در ادامه ضمن مطالعه آزمایشگاهی آشکارساز صفحه عایق با استفاده از یک تلسکوپ پرتوکیهانی که شامل دو آشکارساز سوسوزن می‌باشد نحوه تعیین راندمان آشکارساز صفحه عایق ارائه خواهد شد. در این پژوهش، همچنین شبیه سازی مدل دینامیک بر اساس حل عددی همزمان معادلات ترابرد به همراه معادله پواسون برای ذرات باردار ارائه می‌شود. این مدل مواردی چون، رشد و حرکت ذرات باردار در زمان و مکان، مد کار بهمنی، مد کار اشباع شده بهمنی، مد کار جریانی و میدان الکتریکی بار فضایی را به خوبی پیش‌بینی می‌کند. نتایج به دست آمده، در توافق خوبی با تجربه و دیگر شبیه‌سازی‌ها می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آشکارساز صفحه عایق، آشکارساز سوسوزن، تلسکوپ پرتوکیهانی، شبیه‌سازی، مدل دینامیک، معادلات ترابرد، بار فضایی، مد بهمنی، مد جریانی.



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدولها .....	۵
فهرست شکلها .....	۵
<b>۱- فصل اول: مروری بر فیزیک ذرات بنیادی</b>	۱
۱-۱ مقدمه ای بر ذرات بنیادی .....	۱
۲-۱ آشکارسازهای ذرات بنیادی .....	۶
۱-۲-۱ آشکارسازهای فوتونی .....	۷
۲-۲-۱ اتاقک حباب .....	۸
۳-۲-۱ اتاقک جرعه .....	۱۰
۴-۲-۱ اتاقک سیمی تناسبی .....	۱۰
۳-۱ روش های مختلف آشکارسازی .....	۱۱
۱-۳-۱ آشکارسازهای ردیاب .....	۱۱
۱-۳-۱-۱ اتاقک های تناسبی چند سیمی (MWPC) .....	۱۱
۲-۳-۱-۱ آشکارسازهای گازی با الگوی میکرونی .....	۱۸
۳-۳-۱-۱ آشکارسازهای ردیاب نیمه هادی .....	۲۱
۴-۳-۱-۱ ردیابهای فیبری سوسوزن .....	۲۱
۲-۳-۱ کالریمتری .....	۲۲
۱-۲-۳-۱ کالریمتر الکترومغناطیس .....	۲۳
۲-۲-۳-۱ کالریمتر هادرونی .....	۲۵
۳-۳-۱ آشکارسازی میون .....	۲۶
۴-۱ آشکارساز صفحه عایق .....	۲۸
۵-۱ آنچه در این پژوهش مورد مطالعه قرار می-گیرد .....	۲۸
<b>۲- فصل دوم: تئوری فرآیندهای آشکارسازی</b>	۳۰
۱-۲ برهمکنش ذرات با ماده .....	۳۰
۱-۱-۲ اتلاف انرژی بر اثر یونیزاسیون و برانگیختگی .....	۳۰
۲-۱-۲ سطح مقطع برخورد دیفرانسیلی .....	۳۱
۳-۱-۲ برخوردهای دور .....	۳۲
۴-۱-۲ برخوردهای نزدیک .....	۳۲
۵-۱-۲ اتلاف انرژی کل .....	۳۳
۶-۱-۲ اثر چگالی .....	۳۴

۳۵	اتلاف انرژی در RPC	۷-۱-۲
۳۶	۲ آشکارسازهای گازی	۲-۲-۲
۳۶	نمونه‌ای ساده از آشکارساز گازی	۱-۲-۲
۳۸	رابطه بین ولتاژ بالا و بار جمع شده	۲-۲-۲
۴۱	آشکارساز صفحه عایق	۳-۲-۲
۴۳	مد بهمنی RPC	۴-۲-۲
۴۴	مد جریانی RPC	۵-۲-۲
۴۷	۳-۲ مدل سازی دینامیکی براساس معادلات ترابرد	۳-۲-۲
۴۷	معادلات ترابرد و پارامترهای مورد نیاز	۱-۳-۲
۴۹	محاسبه میدان الکتریکی	۲-۳-۲
۵۲	حل عددی معادلات ترابرد	۳-۳-۲
۵۴	شرایط اولیه	۴-۳-۲
۵۵	پایداری معادلات ترابرد	۵-۳-۲
۵۷	الگوریتم برنامه‌نویسی	۶-۳-۲
۵۹	<b>۳- فصل سوم نتایج شبیه سازی مدل دینامیکی براساس معادلات ترابرد</b>	
۵۹	مد کار بهمنی	۱-۳
۶۳	شبیه‌سازی آشکارساز راه‌انداز RPC با ۵ خوشه	۲-۳
۶۷	انتقال از مد بهمنی به مد جریانی	۳-۳
۶۹	مد جریانی	۴-۳
۷۶	<b>۴- فصل چهارم: ساخت آشکارساز صفحه عایق</b>	
۷۶	مقدمه	۱-۴
۷۶	قسمت‌های مختلف RPC	۲-۴
۷۷	مخلوط گازی	۱-۱-۲-۴
۷۸	گاز اصلی	۲-۱-۲-۴
۷۸	گاز خاموش کننده	۳-۱-۲-۴
۷۹	گازهای الکترونگاتیو	۴-۱-۲-۴
۷۹	صفحات عایق	۱-۲-۴
۸۱	پوشش گرافیتی	۲-۲-۴
۸۲	لایه نارسانا	۳-۲-۴
۸۳	نوارهای قرائت جریان	۴-۲-۴
۸۳	جداکننده	۵-۲-۴
۸۴	انواع RPC	۳-۴

۸۴	طبقه‌بندی بر اساس عملکرد و اندازه گاف	۱-۳-۴
۸۵	طبقه‌بندی بر اساس پیکربندی و تعداد گاف	۲-۳-۴
۸۶	ساخت RPC با شیشه	۴-۴
۹۲	سیگنال‌گیری از RPC	۵-۴
۹۲	RPC با کلیت L3	۱-۵-۴
۹۳	القای سیگنال بر روی دو نوار قرائت	۲-۵-۴
۹۵	نمودار ولتاژ - جریان	۳-۵-۴
۹۶	RPC شیشه با ابعاد $40cm \times 50cm$	۴-۵-۴
۹۶	RPC شیشه با ابعاد $1m \times 29cm$	۵-۵-۴
۹۷	تاثیر صفحه عایق بر RPC	۶-۵-۴
۹۸	ساخت RPC با پلکسی گلاس	۷-۵-۴
۹۹	اندازه‌گیری مقاومت الکتروود RPC	۶-۴
۱۰۰	دستگاه ترکیب گازی	۷-۴
۱۰۳	<b>۵- فصل پنجم: سوسوزن‌ها</b>	
۱۰۳	تعریف سوسوزن	۱-۵
۱۰۵	اصول کاری	۲-۵
۱۰۵	سوسوزن‌های غیرآلی	۱-۲-۵
۱۰۶	سوسوزن‌های آلی	۲-۲-۵
۱۰۹	سوسوزن‌های گازی	۳-۲-۵
۱۰۹	اتصال PMT به سوسوزن	۳-۵
۱۱۳	آزمایش همزمانی	۴-۵
۱۱۵	اندازه‌گیری سرعت میون	۱-۴-۵
۱۱۶	اندازه‌گیری تغییر شار با تغییر ولتاژ PMT	۲-۴-۵
۱۱۸	کالیبراسیون سیم‌های رابط	۳-۴-۵
۱۲۰	تغییر شمارش ذرات در نقاط مختلف یک سوسوزن	۴-۴-۵
۱۲۳	تعیین نیمه عمر میون	۵-۴-۵
۱۲۵	آزمایش همزمانی بین سوسوزن و RPC	۵-۵
۱۲۶	تعیین راندمان RPC	۶-۵
۱۳۲	<b>۶- فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات</b>	
۱۳۵	مراجع	

## فهرست جدولها

صفحه	عنوان
۵	جدول ۱-۱ معرفی کوارک‌ها همراه با میزان جرم، بار و عدد باریونی
۵	جدول ۲-۱ هادرون‌هایی که تاکنون شناخته شده اند
۶	جدول ۳-۱ ذرات بنیادی که تاکنون مشاهده شده اند
۵۷	جدول ۱-۲ پارامترهای حل عددی برای دو نوع آشکارساز صفحه عایق راه‌انداز و زمانی
۱۱۷	جدول ۱-۵ نسبت تغییرات شمارش در هر ولتاژ بر شمارش متوسط را در متوسط آن ولتاژ
۱۱۹	جدول ۲-۵ طول‌سیم‌ها به همراه تاخیر زمانی آنها
۱۲۱	جدول ۳-۵ محل قرار گیری منبع رادیواکتیو به همراه کانال و تاخیر زمانی آن
۱۲۲	جدول ۴-۵ تعداد رخدادها در مکان قرار گیری منبع رادیواکتیو

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱	شکل ۱-۱ انواع نیروهای طبیعت
۲	شکل ۲-۱ ساختمان اتم هیدروژن
۲	شکل ۳-۱ نمایش نوترون در ساختمان اتمی برای ایزوتوپ‌های هیدروژن
۳	شکل ۴-۱ نمایش راه‌های هشت‌گانه و ده‌گانه
۴	شکل ۵-۱ تصویر ذره $\Omega^-$ که توسط اتاقک حباب مشاهده شده است
۴	شکل ۶-۱ نمایش اولین خانواده کوارک‌ها در نوکلئون همراه با رنگ
۸	شکل ۷-۱ اساس کار اثر فتوالکتریک
۸	شکل ۸-۱ تصویری از یک تکثیر کننده فوتونی
۹	شکل ۹-۱ نمای از ساختار اتاقک حباب
۹	شکل ۱۰-۱ یک رویداد را در اتاقک حباب اروپایی بزرگ (BEBC)
۱۰	شکل ۱۱-۱ تصویری از اتاقک‌های جرقه که تولید دو ذره باردار ثانویه را نشان می‌دهد
۱۱	شکل ۱۲-۱ نمایی از ساختمان اتاقک تناسبی چند سیمی
۱۲	شکل ۱۳-۱ مراحل تشکیل بهمن در اتاقک سیم تناسبی
۱۳	شکل ۱۴-۱ تصویری از تفکیک آشکارسازی دو ذره در اتاقک سیمی تناسبی
۱۳	شکل ۱۵-۱ اصول کاری اتاقک سوق
۱۴	شکل ۱۶-۱ تصویری از تشکیل میدان در اتاقک سوق با ابعاد بزرگ
۱۵	شکل ۱۷-۱ تصویری از اتاقک سوق استوانه‌ای در صفحه $r\phi$
۱۶	شکل ۱۸-۱ قطاعی از اتاقک سوق جت
۱۶	شکل ۱۹-۱ تصویر $r\phi$ محصولات برهمکنش حاصل از برخورد الکترون - پوزیترون
۱۷	شکل ۲۰-۱ نمای عرضی از TPC
۱۷	شکل ۲۱-۱ نمای سه بعدی از TPC
۱۸	شکل ۲۲-۱ نمایش ساختار اتاقک گازی با نوار ریز
۱۹	شکل ۲۳-۱ تصویری از اصول کاری آشکارساز میکرومگاز
۲۰	شکل ۲۴-۱ تصویری از ساختار GEM
۲۰	شکل ۲۵-۱ توزیع میدان الکتریکی در آشکارساز GEM و یک تصویر میکروسکوپی از فویل
۲۱	شکل ۲۶-۱ تصویری از ساختار یک آشکارساز سیلیکونی با نوارهای میکرونی
۲۱	شکل ۲۷-۱ مسیر ذره در بدنه فیبرهای سوسوزن، قطر فیبر 1mm
۲۲	شکل ۲۸-۱ میکرو عکس از کلاف متشکل از فیبرهای سوسوزن
۲۲	شکل ۲۹-۱ کلاف‌هایی از فیبرهای نوری شرکت‌های مختلف
۲۳	شکل ۳۰-۱ نمایش یک مدل ساده برای پارامترهای آبخار

تصویری از یک آشبار الکترومغناطیسی .....	شکل ۱-۳۱
نمای از یک آشبار هادرونی در یک جذب کننده هادرونی .....	شکل ۱-۳۲
لایه‌های مختلف آشکارسازی ذرات در CMS .....	شکل ۱-۳۳
تصویری از نحوه چیدمان آشکارسازهای میونی در آزمایش CMS .....	شکل ۱-۳۴
اتلاف انرژی ناشی از یونیزاسیون و برانگیختگی میون‌ها .....	شکل ۲-۱
نمونه‌ای ساده از یک شمارنده گازی .....	شکل ۲-۲
چیدمان آزمایشگاهی برای مطالعه رابطه ولتاژ بالا و بار جایگزیده .....	شکل ۲-۳
رابطه تغییرات جریان بر حسب ولتاژ میان دو الکتروود و تشکیل نواحی مختلف ...	شکل ۲-۴
تصویری شماتیک از ایجاد بار فضایی و تغییرات میدان الکتریکی درون گاف .....	شکل ۲-۵
نمای از آشکارساز صفحه عایق .....	شکل ۲-۶
تصویری از رشد بهمن در یک RPC .....	شکل ۲-۷
تصویر رشد جریانی در یک RPC .....	شکل ۲-۸
پالس ولتاژ اندازه‌گیری شده در یک RPC .....	شکل ۲-۹
نواحی کار RPC را نشان می‌دهد .....	شکل ۲-۱۰
تغییرات ضریب اول تاونزند، ضریب چسبندگی را بر حسب میدان الکتریکی .....	شکل ۲-۱۱
طریقه محاسبه میدان الکتریکی داخل گاف .....	شکل ۲-۱۲
مکان بارهای تصویری .....	شکل ۲-۱۳
نمایش شماتیک حل مسأله مقدار اولیه به روش تفاضل محدود .....	شکل ۲-۱۴
چگالی اولیه الکترون‌ها با توزیع گوسی .....	شکل ۳-۱
رشد چگالی ذرات باردار در RPC راه‌انداز در ولتاژ اعمالی $10kV$ .....	شکل ۳-۲
رشد و حرکت چگالی ذرات در زمان‌های ثابت در ولتاژ اعمالی $10kV$ .....	شکل ۳-۳
میدان الکتریکی بار فضایی در ولتاژ اعمالی $10kV$ .....	شکل ۳-۴
تغییرات میدان الکتریکی کل .....	شکل ۳-۵
شرایط اولیه چگالی الکترون‌ها با ۵ توزیع بار گاوسی .....	شکل ۳-۶
رشد و حرکت ۵ خوشه الکترونی به همراه چگونگی تغییرات میدان الکتریکی .....	شکل ۳-۷
تغییرات میدان الکتریکی کل .....	شکل ۳-۸
رشد چگالی ذرات باردار با ولتاژ اعمالی $11.14kV$ .....	شکل ۳-۹
رشد و حرکت چگالی ذرات باردار در ولتاژ اولیه اعمالی $11.14kV$ .....	شکل ۳-۱۰
میدان الکتریکی بار فضایی در ولتاژ اعمالی $11.14kV$ .....	شکل ۳-۱۱
سیگنال RPC در ولتاژهای مختلف .....	شکل ۳-۱۲
اختلال ایجاد شده در رشد چگالی بارها در ولتاژ اعمالی $11.42kV$ .....	شکل ۳-۱۳
رشد و حرکت چگالی ذرات باردار در ولتاژ اولیه اعمالی $11.42kV$ .....	شکل ۳-۱۴

۷۳	تغییرات میدان الکتریکی بار فضایی در ولتاژ اعمالی $11.42kV$ .....	شکل ۳-۱۵
۷۴	مختل شدن میدان الکتریکی کل با ولتاژ اعمالی اولیه $11.42kV$ .....	شکل ۳-۱۶
۷۵	چگالی الکترون و یون‌های مثبت .....	شکل ۳-۱۷
۷۷	قسمت‌های مختلف RPC .....	شکل ۴-۱
۸۰	رفتار مقاومت شیشه را به عنوان تابعی از دما .....	شکل ۴-۲
۸۱	مقاومت شیشه و باکلیت به عنوان تابعی از بار جمع شده .....	شکل ۴-۳
۸۲	قسمت‌های از $L3$ ، RPC : جداکننده و لایه نارسانا .....	شکل ۴-۴
۸۳	نمایی از یک RPC شیشه و نشان دادن جداکننده‌ها .....	شکل ۴-۵
۸۴	تصویری از جداکننده .....	شکل ۴-۶
۸۵	تصویری از یک RPC راه انداز تک گاف .....	شکل ۴-۷
۸۶	نمای از RPC‌های زمانی .....	شکل ۴-۸
۸۷	تصویری از ورودی گاز و ورودی ولتاژ بالا .....	شکل ۴-۹
۸۷	ابعاد RPC، جداکننده و نحوه اتصال ورودی گاز .....	شکل ۴-۱۰
۸۸	پوشش گرافیتی با استفاده از اسپری گرافیت .....	شکل ۴-۱۱
۸۸	اتصال سیم ولتاژ بالا به پوشش گرافیتی با استفاده از لاک گرافیت .....	شکل ۴-۱۲
۸۹	قرار دادن یک لایه مایلار بر روی پوشش گرافیتی .....	شکل ۴-۱۳
۸۹	نوارهای قرائت مسی .....	شکل ۴-۱۴
۹۰	قفس فارادی با استفاده از فویل آلومینیم .....	شکل ۴-۱۵
۹۰	ابعاد RPC و استفاده از لامل به عنوان جداکننده .....	شکل ۴-۱۶
۹۱	گام زمانی بر حسب میدان الکتریکی .....	شکل ۴-۱۷
۹۱	گام زمانی بر حسب ولتاژ .....	شکل ۴-۱۸
۹۳	سیگنال گرفته شده از $L3$ ، RPC .....	شکل ۴-۱۹
۹۳	چیدمان آزمایشگاهی برای دو نوار قرائت .....	شکل ۴-۲۰
۹۴	سیگنال حاصل از آزمایش القای بار بر روی دو نوار قرائت .....	شکل ۴-۲۱
۹۴	چیدمان آزمایشگاهی برای دو نوار در کنار هم .....	شکل ۴-۲۲
۹۵	القای سیگنال بر روی دو نوار قرائت در کنار هم .....	شکل ۴-۲۳
۹۵	نمودار جریان- ولتاژ برای دو گاز آرگون و هوا .....	شکل ۴-۲۴
۹۶	سیگنال گرفته شده از RPC .....	شکل ۴-۲۵
۹۷	نمودار ولتاژ-جریان و سیگنال‌های گرفته شده از RPC .....	شکل ۴-۲۶
۹۸	نمودار ولتاژ-جریان .....	شکل ۴-۲۷
۹۹	چیدمان آزمایشگاهی برای اندازه گیری مقاومت الکتروود .....	شکل ۴-۲۸
۱۰۰	جریان بر حسب $V_0$ برای RPC، .....	شکل ۴-۲۹

..... ۱۰۰	دستگاه ترکیب گازی	شکل ۴-۳۰
..... ۱۰۱	نمودار گاز اصلی	شکل ۴-۳۱
..... ۱۰۲	نمودار گاز خاموش کننده	شکل ۴-۳۲
..... ۱۰۲	نمودار گاز الکترونگاتیو	شکل ۴-۳۳
..... ۱۰۵	اصول کاری تقویت در PMT	شکل ۵-۱
..... ۱۰۶	باند های انرژی مجاز و ممنوع در کریستال	شکل ۵-۲
..... ۱۰۷	ساختار مولکولی آنترنس و تولون	شکل ۵-۳
..... ۱۰۷	نمای از تراز های انرژی	شکل ۵-۴
..... ۱۰۸	نمای ساده از تراز های انرژی	شکل ۵-۵
..... ۱۰۸	تصویری از یک سوسوزن پلاستیکی	شکل ۵-۶
..... ۱۱۰	قسمت های مختلف PMT	شکل ۵-۷
..... ۱۱۱	اتصال سوسوزن به هدایت کننده نوری	شکل ۵-۸
..... ۱۱۲	اتصال حفاظ استیلی و پوشش چدنی PMT	شکل ۵-۹
..... ۱۱۲	محل اتصال PMT به هدایت کننده نوری	شکل ۵-۱۰
..... ۱۱۲	تصویری از یک آشکارساز کامل	شکل ۵-۱۱
..... ۱۱۳	نمایش چگونگی شکل گیری فرآیند آبخاری ذرات در بالای جو	شکل ۵-۱۲
..... ۱۱۴	بخش های یک شمارنده	شکل ۵-۱۳
..... ۱۱۵	ترکیب مبدل زمان به دامنه و مبدل آنالوگ به دیجیتال	شکل ۵-۱۴
..... ۱۱۵	چیدمان آزمایشگاهی برای اندازه گیری سرعت میون	شکل ۵-۱۵
..... ۱۱۶	چیدمان آزمایش برای اندازه گیری تغییر شار با تغییر ولتاژ PMT	شکل ۵-۱۶
..... ۱۱۸	تغییرات متوسط شمارش هر ولتاژ بر متوسط شمارش بر حسب ولتاژ متوسط	شکل ۵-۱۷
..... ۱۱۹	چیدمان آزمایش مربوط به اندازه گیری تاخیر زمانی سیم های مختلف	شکل ۵-۱۸
..... ۱۲۰	نمودار میزان تاخیر زمانی بر حسب طول سیم های رابط	شکل ۵-۱۹
..... ۱۲۰	چیدمان آزمایش مربوط به تغییر شمارش ذرات در نقاط مختلف	شکل ۵-۲۰
..... ۱۲۱	نمودار تغییرات میزان تاخیر زمانی رسیدن نور به PMT	شکل ۵-۲۱
..... ۱۲۲	نمودار سطح موثر آشکارسازی در سوسوزن	شکل ۵-۲۲
..... ۱۲۳	چیدمان آزمایش مربوط به اندازه گیری طول عمر میون	شکل ۵-۲۳
..... ۱۲۴	توزیع زمانی واپاشی میون ها	شکل ۵-۲۴
..... ۱۲۵	چیدمان آزمایش همزمانی بین سیگنال های سوسوزن و RPC	شکل ۵-۲۵
..... ۱۲۶	میزان تاخیر زمانی رسیدن پالس RPC بر حسب افزایش ولتاژ	شکل ۵-۲۶
..... ۱۲۷	چیدمان آزمایشگاهی برای تعیین راندمان RPC	شکل ۵-۲۷
..... ۱۲۸	راندمان و نرخ شمارش تکی، به عنوان تابعی از ولتاژ موثر	شکل ۵-۲۸



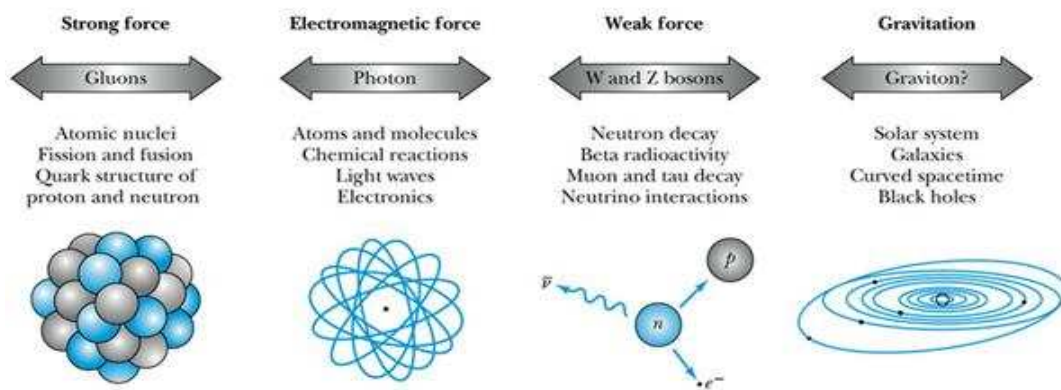
راندمان برحسب تابعی از ولتاژ موثر در تابش‌دهی های مختلف با دماهی ..... ۱۲۸	شکل ۵-۲۹
راندمان برحسب تابعی از بارهای جمع شده ..... ۱۲۹	شکل ۵-۳۰
جریان کل به عنوان تابعی از ولتاژ موثر در دماهای مختلف ..... ۱۳۰	شکل ۵-۳۱
راندمان برحسب تابعی از ولتاژ موثر گاف در نرخ‌های مختلف ..... ۱۳۱	شکل ۵-۳۲

## فصل ۱

### مروری بر فیزیک ذرات بنیادی

#### ۱-۱ مقدمه ای بر ذرات بنیادی

یکی از اهداف مهم فیزیک ذرات این است که راهی برای یکپارچه بودن نیروها پیدا کند، (اینکه آنها با داشتن منظرهای متفاوت شبیه هستند)، شبیه به کاری که ماکسول<sup>۱</sup> در گذشته برای نیروهای الکتریکی و مغناطیسی انجام داد (شکل ۱-۱).

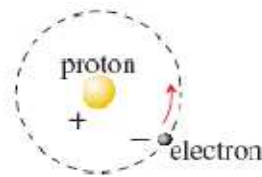


شکل ۱-۱ انواع نیروهای طبیعت شامل نیروهای قوی، الکترومغناطیس، ضعیف

و گرانش را نشان می‌دهد.

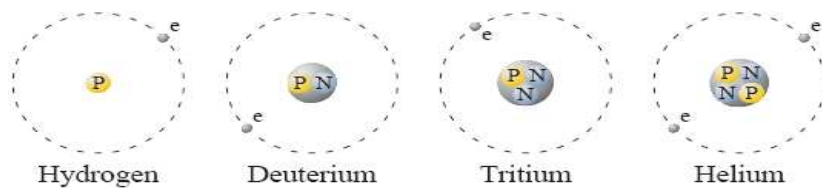
<sup>1</sup> Maxwell

برای نیل به این هدف اولین قدم شناخت ذرات بنیادی و فیزیک ذرات بنیادی است. فیزیک ذرات بنیادی با کشف الکترون به وسیله تامسون<sup>۱</sup> در سال ۱۸۹۷ متولد شد. البته مدل ارائه شده توسط تامسون با آزمایش معروف پراکندگی رادرفورد<sup>۲</sup>، که نشان داد بار مثبت در هسته اتم متمرکز است، رد شد. در سال ۱۹۱۴ نیلز بور<sup>۳</sup> مدل منظومه‌ای را برای هیدروژن پیشنهاد کرد (شکل ۱-۲). با استفاده از این مدل توانست طیف هیدروژن را محاسبه کند که سازگاری آن با تجربه بسیار تماشایی بود.



شکل ۱-۲ ساختمان اتم هیدروژن [1].

طبیعی بود فرض شود هسته اتمهای سنگین‌تر ترکیبی از دو یا چند پروتون وابسته به هم باشند. متاسفانه اتم سنگین‌تر بعدی (هلیوم) هرچند حامل دو الکترون بود اما چهار بار سنگین‌تر از هیدروژن بود و لیتیم (با سه الکترون) هفت بار سنگین‌تر از هیدروژن و همین‌طور تا آخر. این مشکل سرانجام با کشف نوترون در سال ۱۹۳۲ توسط چادویک<sup>۴</sup> حل شد (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳ نمایش نوترون در ساختمان اتمی برای ایزوتوپ‌های هیدروژن و اتم هلیوم [1].

<sup>1</sup> J. J. Thomson

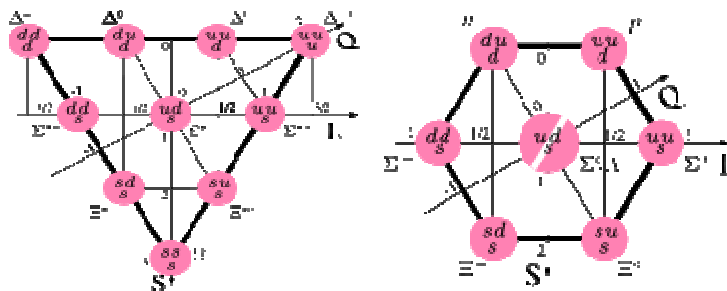
<sup>2</sup> Ernest Rutherford

<sup>3</sup> Niels Bohr

<sup>4</sup> James Chadwick

اما سوالی که مطرح می شود این است که چه چیزی اجزای هسته را به هم پیوند می دهد؟ چون پروتون ها با بار مثبت باید همدیگر را دفع کنند. پس نیروی قویتری از نیروی دافعه باید وجود داشته باشد که پروتون ها (و نوترون ها) را به هم بپیوندد.

اولین نظریه قابل ملاحظه نیروی قوی را یوکاوا<sup>۱</sup> در سال ۱۹۳۴ پیشنهاد کرد. یوکاوا فرض کرد که پروتون و نوترون با نوعی میدان یکدیگر را جذب می کنند. این میدان می بایست به صورت مناسب کوانتیده شود، برد کوتاه نیرو نشان می داد که میانجی باید نسبتا سنگین باشد، یوکاوا حساب کرد که جرم آن باید حدود ۳۰۰ برابر جرم الکترون یا حدود ۱/۶ جرم یک پروتون باشد. چون این ذره بین الکترون و پروتون قرار می گیرد، ذره یوکاوا مزون (به معنی «میان وزن») نام گرفت. به همین روش الکترون، لپتون «سبک وزن» و پروتون و نوترون باریون «سنگین وزن» نام گرفتند. در سال ۱۹۴۷ پاول<sup>۲</sup> و همکارانش در بریستول کشف کردند [2] که واقعا دو ذره میان وزن در پرتوهای کیهانی وجود دارد، که آنها را  $\pi$  پیون و  $\mu$  میون نامیدند. مزون واقعی یوکاوا  $\pi$  است. که در جو بالایی تولید می شود، اما خیلی قبل از آنکه به زمین برسد به طور طبیعی به نوترینو و میون فرو می پاشد. با انجام دیگر آزمایشات تعداد مزون ها و باریون ها زیاد شدند. تا اینکه در سال ۱۳۶۱ موری گلمان<sup>۳</sup> آنچه به اصطلاح «راه هشت گانه» نامیده می شود را معرفی کرد (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴ نمایش راه های هشت گانه و ده گانه که توسط گلمان ارائه شد [1].

<sup>1</sup> Yukawa

<sup>2</sup> Cecil Powell

<sup>3</sup> Murray Gell-Mann