



دانشگاه گجرات  
سازمان آموزشی و تحصیلات عالی

دانشکده علوم  
گروه آموزشی فزیک

کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

# بررسی تجربی تأثیر منابع پرتوزا بر رسانندگی الکتریکی گازها با تأکید بر هوا

پژوهشگر:

حسین افضل

استاد راهنما:

دکتر مهسا نوری اصل

استاد مشاور:

دکتر محمد حمدی پور

شهریور ۱۳۹۸



عنوان و نام پدیدآور:	بررسی تجربی تأثیر منابع پرتوزا بر رسانندگی الکتریکی گازها با تأکید بر هوا/حسین افضل
استادان راهنما:	دکتر مهسا نوری اصل
استادان مشاور:	دکتر محمد حمدی پور
تاریخ دفاع:	۱۳۹۸/۰۶/۲۷
تعداد صفحات:	۱۱۴ ص.
شماره پایان نامه:	گروه فیزیک

#### چکیده:

**هدف:** هدف ما بررسی تأثیر پرتوهای رادیواکتیو بر رسانندگی الکتریکی گازها با تأکید بر هوا است.

**روش شناسی پژوهش:** در این پژوهش ابتدا مبانی نظری رسانندگی گازهای در معرض پرتوهای یونیزان بررسی می شود. سپس با دستگامی که طراحی کردیم با اعمال ولتاژ به دو الکتروود، یون های ایجاد شده در اثر پرتوهای رادیواکتیو را جمع آوری کرده و جریان بسیار ضعیف ایجاد شده را اندازه گیری می کنیم. از روی جریان اندازه گیری شده می توانیم رسانندگی الکتریکی گاز را بدست آوریم و عوامل دخیل در آن را مورد بررسی قرار می دهیم.

**یافته ها:** توانستیم در قسمت بررسی مبانی نظری، روابط جریان را در مدل های مختلف بدست بیاوریم. در قسمت تجربی رسانندگی الکتریکی گازهای مورد بررسی را اندازه گیری کرده و برآوردی از ضریب باز ترکیب یون ها را بدست آوردیم.

**نتیجه گیری:** با استفاده از آمپرسنج بسیار حساس در مقیاس فمتو آمپر و پیکو آمپر می توانیم فعالیت چشمه های بسیار ضعیف را مورد بررسی قرار دهیم. یکی از کاربردهای این پژوهش می تواند اندازه گیری مقدار رادون موجود در هوا می باشد.

**واژه های کلیدی:** پرتوهای رادیواکتیو، یونیزاسیون، اتافک یونش.

## ۱- مقدمه و هدف

---

### ۱-۱- مقدمه

با توجه به تأثیر مواد رادیواکتیو بر سلامتی انسان، شناخت و بررسی روش‌های سنجش پرتوهای رادیواکتیو و سنجش دقیق آن اهمیت زیادی برای پژوهش‌گران و محققان در این زمینه داشته است. به همین سبب بشر از بدو شناخت مواد رادیواکتیو در تلاش بوده تا میزان تأثیر مواد رادیواکتیو را در محیط زندگی و کاری خود با دقت بیشتری اندازه‌گیری کند و شناخت خوبی از چگونگی فعالیت منابع رادیواکتیو داشته باشد.

به این دلیل که رسانایی الکتریکی گازها می‌تواند به عنوان سنجه‌ای از میزان پرتوهای رادیواکتیو باشد، بررسی اثر مواد رادیواکتیو بر رسانندگی گازها نیز دارای اهمیت خواهد بود که ما را مجاب می‌کند در راستای تحقق اهدافمان از این پژوهش گام برداریم.

هدایت الکتریکی هوا یکی از ویژگی‌های مهم خواص الکتریکی جو است. هدایت الکتریکی هوا که توانایی هوا در عبور جریان الکتریکی را مشخص می‌کند، توسط غلظت یون‌های سبک از هر دو قطبیت مثبت و منفی در جو و تحرک پذیری آن‌ها تعیین می‌شود. در میان منابع طبیعی یونیزاسیون هوا کارآمدترین‌ها عبارتند از: ۱- انتشار طول موج ماوراء بنفش (UV) ۲- پرتوهای کیهانی ۳- ایزوتوپ‌های رادیواکتیو (رادیوایزوتوپ‌ها).

در جو زمین معمولاً میزان اثر این منابع با ارتفاع تغییر می‌کند. اشعه فرابنفش تقریباً به طور کامل در فضای بالایی جو جذب می‌شود. در حالی که درگیری پرتوهای کیهانی با اتمسفر عمدتاً در استراتوسفر-تراپوسفر پایین اتفاق می‌افتد و منجر به آبراه‌های گسترده

از ذرات یونیزه و اشعه الکترومغناطیسی می‌شود. از منابع ایزوتوپ‌های رادیواکتیو هم می‌توان به گاز رادون اشاره کرد که به طور طبیعی از خاک و سنگ‌ها نفوذ می‌کند و سپس در هوا و در نزدیکی سطح زمین فروپاشی می‌کند. گاهی اوقات ممکن است در نزدیکی سطح زمین چندین منبع یونیزاسیون طبیعی به طور هم‌زمان موجود باشند.

در این کار پژوهشی ما با بررسی این مسائل که: رسانندگی گازها در اثر حضور پرتوهای رادیواکتیو به چه اندازه تغییر پیدا می‌کند، وابستگی رسانندگی گازها با نوع پرتوهای رادیواکتیو به چه صورت است و وابستگی رسانندگی گازها به انرژی پرتو به چه صورت است سعی خواهیم کرد اثر انواع مختلف پرتوهای رادیواکتیو بر رسانایی گازها را با تأکید بر هوا بررسی کنیم و اهدافمان را که پاسخ به مسائل بالا است دنبال کنیم.

آشکارسازهای پرتوهای رادیواکتیو معمولاً پرتوهای یونیزان را براساس اثری که آن پرتوها در داخل آشکارساز ایجاد می‌کنند، آشکارسازی می‌کنند. این تاثیر می‌تواند به شکل‌های مختلفی رخ دهد که براساس آن آشکارسازهای مختلفی نیز طراحی می‌شود. یکی از انواع این آشکارسازها اتاقک یونش است که با هندسه‌های مختلف الکتروود (صفحه تخت موازی، استوانه‌ای و کروی) ساخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس کار این آشکارسازها بر یونش گاز داخل آشکارساز که در اتاقک‌های یونش باز همان هوا می‌باشد، توسط پرتوی یونیزان خارجی استوار است. اما پدیده‌های دیگر نیز هستند که بر این مکانیزم تاثیر می‌گذارند که عمده‌ترین آن‌ها باز ترکیب یون‌های مثبت و منفی ایجاد شده با هم و باز ترکیب الکترون‌های ایجاد شده با یون‌های مثبت است. از دیگر عوامل می‌توان به اتصال الکترون‌های ایجاد شده به مولکول‌های خنثی و تبدیل آن‌ها به یون‌های منفی اشاره کرد. در اتاقک‌های یونش باز عوامل دیگری هم‌چون پخش یون‌های ایجاد شده به خارج از محفظه و همین‌طور پخش یون‌های طبیعی موجود در هوا، رطوبت هوا و سایر هواویزها به داخل محفظه آشکارسازی نیز رخ می‌دهند اشاره کرد که در روند آشکارسازی تاثیرگذار هستند.

بررسی جریان در اتاقک یونش صفحه موازی از سال‌های دور آغاز شده که اولین بار توسط تامسون و راترفورد مورد بررسی قرار گرفت (Thomson et. Al., 1896). تامسون

معادلات دیفرانسیل حاکم بر حرکت و باز ترکیب یون‌ها در میدان الکتریکی بین صفحات موازی را با صرف نظر از انتشار تنظیم کرد و یک راه حل تقریبی نیز ارائه داد (Thomson, 1899). معادلات دیفرانسیل تامسون ریاضی پیچیده‌ای دارد و راه حل تحلیلی که برای کل منحنی اشباع معتبر باشد یافت نشده است. میه<sup>۱</sup> نیز یک راه حل تقریبی بر اساس یک رویکرد تکراری را برای معادلات تامسون با توجه ویژه به جریان‌های کوچک و جریان‌های تقریباً به اشباع رسیده به دست آورد که در هر دو کارایی جمع‌آوری کم و زیاد، شکل تحلیلی ساده‌ای را ارائه می‌دهد (Mei, 1904). سیلگر<sup>۲</sup> هم یک راه حل تقریبی را بیان کرد (Seeliger, 1910). سیمن<sup>۳</sup> برای محدوده‌ی اتاق‌های یونش پر شده با هوا نشان داد که راه حل میه و سیلگر در توافق هستند (Seemann, 1912). مجموعه گسترده‌ای از اندازه-گیری‌های آزمایشی سیمن توافق خوبی را با تحلیل میه نشان داد. تانزند<sup>۴</sup> با فرض این که یون‌ها با سرعت ثابت حرکت می‌کنند یک راه حل پارامتری به دست آورد که در نزدیکی اشباع تقریباً درست می‌باشد (Townsend, 1915).

اما بوگ<sup>۵</sup> و ویلسون<sup>۶</sup> تجزیه و تحلیل ابعادی ظریفی از متغیرهایی که می‌تواند در مرتبه اشباع یک جریان یونش اندازه‌گیری شده تاثیر گذارد، انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که برای یک گاز در شرایط استاندارد نسبت جریان I به جریان اشباع، متناسب با  $d^2 q \frac{1}{2} / V$  است که در آن d، فاصله بین صفحات، q نرخ یونیزاسیون و V ولتاژ اعمال شده است (Boag, et. Al., 1952). بوگ و ویلسون با پیش فرض‌های مشابه به تانزند، اما با استفاده از روش‌های متفاوت، معادلات دیفرانسیل تامسون را به دست آوردند. اگر از هوا که یک گاز معمولی است در اتاقک یونش استفاده کنیم و موبیلتی یون‌ها برابر در نظر گرفته شود راه حل تانزند با بیان نزدیک اشباع میه، بیان بوگ-ویلسون، بیان بوگ و همچنین بیان میه در کارایی جمع‌آوری کم هماهنگ است. و این راه حل در کل منحنی اشباع فیت مناسبی ارائه می‌دهد و به عنوان یک مبنای خوب برای تقریب‌های بهبود یافته عمل می‌کند.

---

1- mei

2- Seeliger

3-Seemann

4- Townsend

5- Boag

6- Wilson

روزن<sup>۷</sup> و جورج<sup>۸</sup> یک راه حل کلی با چشم پوشی از بارهای فضایی یافتند این نخستین راه حل بود که جریان ایجاد شده توسط حرکت بارها (I)، را به ولتاژ اعمال شده به اتاقک یونش ( $\Delta V$ )، مرتبط می‌کرد و یک بیان از توزیع فضایی بارها بود. با این حال رابطه بین جریان و ولتاژ اعمالی به صورت یک فرمول ضمنی از هر دو متغیر (به عنوان مثال  $F(I, \Delta V)=0$ ) به دست آمده بود که فیت کردن داده با روش حداقل مربعات را غیر قابل انجام می‌کند (Rosen et. Al., 1975). اخیراً چابود<sup>۹</sup> راهی برای نوشتن  $\Delta V$  به عنوان یک تابع از I پیدا کرد (به عنوان مثال،  $\Delta V = f(I)$ ) که با این بیان می‌توان به صورت تجربی نمودار جریان-ولتاژ را در یک اتاقک یونش با استفاده از راه حل دقیق مسئله تامسون برای تخمین برخی از مفروضات نظری فیت کرد (Chabod, 2008).

موضوع بررسی رسانش الکتریکی گازها، به لحاظ تئوری و همچنین به لحاظ اندازه-گیری تجربی در سال‌های اخیر نیز مورد توجه قرار گرفته است و محاسبات ریاضی و اندازه‌گیری‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری زیادی در این خصوص انجام گرفته است که سعی کرده‌اند در شرایط مختلف و با تقریب‌های مختلف این مسئله را بررسی کنند و کاربردهای جدیدی برای این مسئله بیابند. به عنوان مثال سران<sup>۱۰</sup> و همکارانش از اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی هوا به عنوان سنجه‌ای برای اندازه‌گیری میزان رادون هوا مورد بررسی قرار دادند، که از کاربردهای اتاقک یونش می‌باشد (Seran et. Al., 2017). اندازه‌گیری‌های انجام شده تا بحال با چشمه‌های قوی و فواصل الکترودی پایین (مثلاً چند میلی‌متر) انجام شده که منجر به جریان اشباعی در محدوده نانو آمپر یا حتی بالاتر شده است.

در این پژوهش ما اندازه‌گیری‌ها را برای چشمه‌های ضعیف و در فواصل الکترودی زیاد (مثلاً چند سانتی‌متر) انجام داده‌ایم که جریان اشباع برای آن‌ها از مرتبه فمتو آمپر یا پیکو آمپر است یعنی با دقتی حداقل ۱۰۰۰ برابر بیشتر از اندازه‌گیری‌های موجود، کار کردن در چنین جریان‌های بسیار پایینی ظرافت‌های خاصی در طراحی سیستم آشکار

---

1- Rosen  
2- George  
3- Chabod  
4- Seran

ساز دارد مثلا بسیاری از موادی که در جریان‌های معمولی از آن‌ها به عنوان عایق استفاده می‌شود در این جریان‌ها رسانا خواهند بود که ما را مجبور می‌کند از مواد خاصی برای عایق‌بندی و ثابت کردن قطعات استفاده کنیم. که ما از یک محفظه درپوش‌دار پلی‌اتیلنی برای حفاظت سیستم از جریان هوای داخل آزمایشگاه و ناشی جریان الکتریکی و از یک عایق پلی‌کربنی به عنوان پایه برای الکترودهای مسی استفاده کرده‌ایم. نویزی که امواج الکترومغناطیسی محیط در دستگاه ایجاد می‌کند خیلی بزرگ‌تر از پاسخ بامعنی دستگاه است که این امر شیلد کردن دستگاه با پوشش فلزی را الزام می‌کند و همین‌طور لازم است از فیلترهای الکترونیکی در قسمت‌های مختلف مدار برای حذف نویزهای ناخواسته استفاده گردد.

در این کار پژوهشی ما با استفاده از دستگاه فمتو آمپرمتری که در اختیار داریم، اتاقک یونشی برای ذرات آلفا با اکتیویته‌های بسیار پایین و همین‌طور برای پرتوهای بتا طراحی می‌کنیم و با آن اندازه‌گیری‌هایمان را انجام می‌دهیم. جریانی که در اتاقک‌های یونش ایجاد می‌شود جریان بسیار ضعیفی است که در مورد چشمه‌ی آلفا با اکتیویته  $A$  و انرژی  $E$  تقریبا برابر،  $AEe \times 10^6/35$  است که از مرتبه پیکو آمپر است و برای ذرات بتا و گاما اندازه جریان بسیار کوچک‌تر بوده و از مرتبه فمتو آمپر و پایین‌تر خواهد بود. هرچند برای چشمه‌های آلفا با اکتیویته حدود  $330 \text{ kBq}$  دستگاه‌های اندازه‌گیری موجود و متداول هستند ولی برای چشمه‌های آلفا با اکتیویته بسیار پایین‌تر یا برای پرتوهای بتا به لحاظ جریان بسیار کوچکی که بر اثر یونش هوای بین الکترودها ایجاد می‌شود، دستگاهی برای جریان سنجی در اتاقک‌یونش وجود ندارد و ما در این مطالعه برای اولین بار توانستیم اندازه‌گیری‌هایی در رنج فمتو آمپر تا چند پیکو آمپر که به ما امکان آشکارسازی و اندازه‌گیری چشمه‌های آلفا با فعالیت بسیار پایین و چشمه‌های بتا و همچنین یافتن مشخصه جریان ولتاژ این چشمه‌ها با دقت زیاد را انجام دهیم.



## ۲-۱- نمودار اشباع در شدت یونیزاسیون بالا

در این بخش، یک مدل برای بررسی رسانندگی گازها تحت تابش شدید پرتوهای الکترونی را آورده‌ایم که توسط بوگ و همکاران ارائه شده است (Boag, et. Al., 1952). این مدل که یک تحلیل ابعادی از متغیرهای تجربی هدایت الکتریکی گاز داخل اتاقک یونش ارائه می‌دهد به ما کمک خواهد کرد تا شناخت خوبی از نحوه کار اتاقک یونش و متغیرهای آن داشته باشیم.

در این مدل منحنی اشباع به صورت تئوری و تجربی مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که وقتی منحنی اشباع تحت شرایط مختلف در یک اتاقک یونش صفحه موازی بر حسب، حاصل ضرب بدون بعد از چندین متغیر طراحی شده رسم می‌شود به یک منحنی عمومی واحد تبدیل می‌شود. کار آزمایشی با یک اتاقک یونش با الکترودهای فویل نازک انجام شده است. یک ناحیه سکه‌ای شکل بین فویل‌ها توسط پرتو الکترون‌های سریع یونیزه شده است. میزان دز را تا  $100\ 000\ \text{e.s.u./cm}^3 \times \text{sec}$  می‌توان تغییر داد. نشان داده شده است که اگر در یک اتاقک صفحه موازی فاصله صفحات کوچک باشد، شدت یونش بسیار بالا می‌تواند اندازه‌گیری شود.

متغیرهای تجربی که منحنی اشباع را بین الکترودهای صفحه موازی در یک گاز یونیزه شده یکنواخت تحت تأثیر قرار می‌دهند در جدول (۱-۱) آورده شده است. این‌ها همه کمیت‌های مستقل هستند که وارد معادله دیفرانسیل حاکم بر پدیده می‌شوند. متغیرهای دیگر مانند قدرت میدان  $E$  در فاصله  $x$  از صفحه مثبت نیز ممکن است در معادله دیفرانسیل ظاهر شود اما این‌ها متغیرهای وابسته هستند و با یک معادله دیگر به شکل  $\int_0^d E dx$  می‌توان به متغیرهایی که در پایین ذکر شده است ربط داد. منحنی اشباع البته تحت تاثیر نوع گاز مورد استفاده، درجه حرارت و فشار آن نیز است. این متغیرها به صراحت در جدول (۱-۱) دیده نمی‌شود زیرا فرض می‌کنیم که آن‌ها تنها به ضریب باز ترکیب،  $\alpha$  و موبیلیتی یون‌های مثبت و منفی،  $\mu_1$  و  $\mu_2$  تاثیر می‌گذارند.

### ۱-۲-۱- فرمول ابعادی و بررسی تجربی آن

فرض می‌کنیم:

(۱) باز ترکیب با نرخ  $an_1n_2$  جفت یون به ازای هر سانتی‌متر مکعب در ثانیه رخ می‌دهد که در آن  $n_1, n_2$  تعداد یون‌های مثبت و منفی در سانتی‌متر مکعب است و  $\alpha$  یک ویژگی ثابت در گاز است. این عبارت می‌تواند به شکل  $e.s.u \rho_1\rho_2 - (\frac{\alpha}{e})$ ، تعداد بار باز ترکیب شده در هر سانتی‌متر مکعب در هر ثانیه نوشته شود، که در آن  $\rho$  نشان دهنده واحد بار در هر سانتی‌متر مکعب و  $e$  بار الکترون است.

(۲) سرعت حرکت یون مثبت زمانی که در یک میدان الکتریکی با قدرت  $E$  است  $\mu_1 E \text{ cm/sec}$  در جهت میدان و یون منفی  $\mu_2 E$  در خلاف جهت میدان است،  $\mu_1$  و  $\mu_2$  ثابت هستند.

جدول ۱-۱: تحلیل ابعادی (Boag, et. Al., 1952)

واحدهای اصلی: طول ( $L$ )، زمان ( $T$ )، بار ( $Q$ )

فرمول ابعادی	نماد	نام واحد
$QL^{-1}$	$V$	ولتاژ جمع‌آوری
$L$	$d$	فاصله الکتروود
$QL^{-3}T^{-1}$	$q$	شدت یونش
$Q^{-1}L^3T^{-1}$	$\alpha/e$	ضریب باز ترکیب
$Q^{-1}L^3T^{-1}$	$\mu_1 \text{ and } \mu_2$	موبیلیتی یون‌ها
$QL^{-2}T^{-1}$	$I$	چگالی جریان یونش

فرمول ابعادی چند متغیر که به عنوان واحدهای اصلی انتخاب شده (یعنی طول، زمان و بار، که در جدول (۱-۱) آمده است) حاصل ضرب توانی این متغیرها به شکل کلی زیر

است:

$$(V)^\beta (d)^\gamma (q)^\delta (\alpha/e)^\kappa (\mu_1)^\lambda (\mu_2)^\mu (i)^\nu$$

با جایگذاری فرمول ابعادی برای هر یک از متغیرها در این عبارت و برابر گرفتن این سه واحد اصلی با صفر، بوگ و ویلسون سه معادله زیر را برای هفت متغیر به دست آورده‌اند:

$$\begin{cases} \beta + \delta - (\kappa + \lambda + \mu) + \nu = 0 \\ -\beta + \gamma - 3\delta + 3(\kappa + \lambda + \mu) - 2\nu = 0 \\ -\delta - (\kappa + \lambda + \mu) - \nu = 0 \end{cases} \quad (1-1)$$

پس از حل معادلات (1-1) برای  $\lambda, \delta, \gamma$  بر حسب متغیرهای دیگر، حاصل ضرب بدون واحد عمومی معادله زیر به دست می‌آید:

$$\left(\frac{V\sqrt{\mu_1}}{d^2\sqrt{q}}\right)^\beta \left(\frac{\alpha}{e\mu_1}\right)^\kappa \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^\mu \left(\frac{i}{qd}\right)^\nu \quad (2-1)$$

از آن جایی که ترکیب متغیرهای درون هر براکت توان دلخواه دارد، هر یک از این ترکیب‌ها باید یک حاصل ضرب بدون بعد را تشکیل دهند. پس معادله کلی این مسئله را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$\frac{i}{qd} = \emptyset \left[ \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{\alpha}{e\mu_1} \cdot \frac{d^2\sqrt{q}}{V\sqrt{\mu_1}} \right] \quad (3-1)$$

جایی که  $\emptyset$  یک تابع ناشناخته از سه متغیر بدون بعد است. سمت چپ این معادله نسبت چگالی جریان واقعی به چگالی جریان اشباع است که همان کارایی جمع‌آوری،  $f$  است. علاوه بر این دو متغیر بعد از تابع  $\emptyset$  تنها شامل موبیلیتی، ضریب باز ترکیب و بار الکترون می‌شود. برای یک گاز داده شده در شرایط استاندارد این‌ها ثابت هستند. پس می‌توان نتیجه گرفت که در این شرایط:

$$f = \emptyset \left( \frac{d^2\sqrt{q}}{V} \right) \quad (4-1)$$

در این جا  $\emptyset$  به عنوان یک تابع ناشناخته خوانده می‌شود، اما با این حال شکل آن می‌تواند به صورت آزمایشی برای یک گاز خاص تحت شرایط استاندارد دما و فشار تعیین شود.

برای بررسی تجربی رابطه (۴-۱) بوگ و همکارانش منحنی اشباع را با استفاده از یک پرتو الکترونی  $1/2 \text{ MeV}$  که شدت یونیزاسیون بالا و نسبتاً یکنواخت از آن تابش می‌کند به دست آورده‌اند.

در سری اول اندازه‌گیری‌ها، شدت یونیزاسیون به میزان  $1000 \text{ e.s.u./c.c.} \times \text{sec}$  در هوا در فشار معمولی و دمای اتاق تنظیم شده و منحنی اشباع برای فاصله الکترو،  $0.0625$  سانتی‌متر،  $0.125$  سانتی‌متر و  $0.25$  سانتی‌متر گرفته شد. کارایی جمع‌آوری در این اندازه‌گیری‌ها بر حسب  $d^2\sqrt{q}/V$  بدست آمده که (در خطای آزمایشی) نقاط برای هر سه فاصله الکترو بر روی یک منحنی واحد قرار دارند.

در سری دوم اندازه‌گیری‌ها فاصله الکترو در  $0.126$  سانتی‌متر ثابت نگه داشته شده و شدت یونیزاسیون به ترتیب در  $1890 \text{ e.s.u./c.c.} \times \text{sec}$ ،  $18800 \text{ e.s.u./c.c.} \times \text{sec}$  و  $118000 \text{ e.s.u./c.c.} \times \text{sec}$  تعیین شده است. برای هر شدت یک منحنی اشباع کامل رسم شده و کارایی جمع‌آوری برای هر نقطه اندازه‌گیری شده بر حسب  $d^2\sqrt{q}/V$  آورده شده است. همانند قبل، نشان داده شده که نقاط برای هر سه شدت در یک منحنی واحد قرار گرفته شده است. نتایج تجربی بوگ و همکاران نشان می‌دهد که در محدوده‌های نقل شده - یعنی  $0.0625$  سانتی‌متر تا  $0.25$  سانتی‌متر و  $1000 \text{ e.s.u./c.c.} \times \text{sec}$  تا  $118000 \text{ e.s.u./c.c.} \times \text{sec}$  - کارایی جمع‌آوری  $f$  در واقع فقط تابعی از  $d^2\sqrt{q}/V$  است و با تحلیل ابعادی آن‌ها هم‌خوانی خوبی دارد.

منحنی‌های تجربی که برای توجیه تحلیل ابعادی بدست آوردن همه در یک روز گرفته شده است به طوری که شرایط جوی ثابت باشد. منحنی‌هایی که در روزهای مختلف در طول یک ماه گرفته شده است با این‌که به یکدیگر بسیار نزدیک‌اند اما با یکدیگر در توافق نیستند و تفاوت‌ها عمدتاً در ولتاژ پایین وجود دارد.

### ۱-۲-۲- تئوری‌های تقریبی بوگ

بوگ و ویلسون با نادیده گرفتن بار فضایی یک راه حل تقریبی برای معادله تامسون در منطقه نزدیک اشباع بدست آورده‌اند. راه حل عددی می‌دهد که تا ۹۰٪ کارایی جمع‌آوری در هوا در فشار اتمسفر و دمای اتاق، قدرت میدان تنها از حدود ۲۰٪ از مقدار متوسط آن متغیر است. در کارایی جمع‌آوری بالاتر تغییرات کمتر خواهد بود.

فرضیه ثابت بودن شدت میدان بین صفحات ممکن است به روش‌های مختلف در معادلات معرفی شود و این به راه حل‌های کمی متفاوت می‌انجامد. تانژند فرض می‌کند که هر دو نوع یون با سرعت ثابت،  $\mu_1 V/d$  و  $\mu_2 V/d$  در میدان بین الکترودها حرکت می‌کنند. پس حالت پایدار توسط معادلات زیر تعریف می‌شود:

$$q = \frac{\alpha}{e} \rho_1 \rho_2 + \frac{d}{dx} (\rho_1 u_1) \quad (5-1)$$

$$i = \rho_1 u_1 + \rho_2 u_2 \quad (6-1)$$

که در آن  $\rho_1$  و  $\rho_2$  به ترتیب چگالی بار یون‌های مثبت و منفی،  $u_1$  و  $u_2$  سرعت یون‌های مثبت و منفی،  $i$  چگالی جریان یونش می‌باشد.

اگر  $u_1$  و  $u_2$  را ثابت بگیریم:

$$\sqrt{\left(\frac{4qu_1u_2}{(\alpha/e)i^2} - 1\right)} \tan \left[ \frac{\alpha}{e} \frac{di}{4u_1u_2} \sqrt{\left(\frac{4qu_1u_2}{(\alpha/e)i^2} - 1\right)} \right] = 1 \quad (7-1)$$

با قرار دادن:

$$\xi = \sqrt{\frac{\alpha}{e\mu_1\mu_2}} \frac{d^2\sqrt{q}}{V} = m \frac{d^2\sqrt{q}}{V} \text{ و } i = fqd \text{ , } u_2 = \mu_2 V/d \text{ , } u_1 = \mu_1 V/d$$

که در آن  $m$  ثابت است، خواهیم داشت:

$$\sqrt{\left(\frac{4}{f^2\xi^2} - 1\right)} \tan \left[ \frac{f\xi^2}{4} \sqrt{\left(\frac{4}{f^2\xi^2} - 1\right)} \right] = 1 \quad (8-1)$$

نمی‌توان به صورت صریح  $f$  را برحسب  $\xi$  بیان کرد، اما معادله را می‌توان به فرم

پارامتری زیر که در آن  $\omega$  یک پارامتر متغیر است قرار داد،  $0 < \omega < \infty$ .

$$\begin{cases} f = \frac{\omega}{(1 + \omega^2) \tan^{-1} \omega} \\ \xi = 2\sqrt{(1 + \omega^2) \tan^{-1} \omega} \end{cases} \quad (9-1)$$

یک تقریب دیگر با فرض این که چگالی یون مثبت بین الکترودها به صورت خطی از صفر در صفحه مثبت به حداکثر مقدار خود در صفحه منفی افزایش می‌یابد و چگالی یون منفی به طور خطی در جهت مخالف تغییر می‌کند به دست می‌آید. اگر این میدان واقعا یکنواخت باشد و هیچ باز ترکیبی رخ ندهد این تقریب درست خواهد بود. پس نزدیک به صفحه منفی جریان  $i$  به طور کامل توسط یون‌های مثبت که تراکم آن  $\rho_1 \max$  و سرعت آن  $\mu_1 V/d$  است انجام می‌شود. پس:

$$\begin{cases} \rho_1 \max = \frac{i}{\mu_1(V/d)} = \frac{fqd^2}{\mu_1 V} \\ \rho_2 \max = \frac{i}{\mu_2(V/d)} = \frac{fqd^2}{\mu_2 V} \end{cases} \quad \text{به طور مشابه:} \quad (10-1)$$

چگالی یون‌های مثبت و منفی در هر فاصله،  $x$  از صفحه مثبت خواهد بود:

$$\begin{cases} \rho_1(x) = \left(1 - \frac{x}{d}\right) \frac{fqd^2}{\mu_1 V} \\ \rho_2(x) = \frac{x}{d} \frac{fqd^2}{\mu_2 V} \end{cases} \quad (11-1)$$

و از این رو نرخ متوسط باز ترکیب در کل فضا به صورت زیر می‌باشد:

$$\mathcal{R} = \frac{1}{d} \int_0^d \frac{\alpha}{e} \rho_1(x) \rho_2(x) dx = \frac{\alpha}{e} \frac{f^2 q^2 d^4}{6 \mu_1 \mu_2 V^2} \quad (12-1)$$

در حال حاضر کسری از بار کل تولید شده در واحد حجم که توسط باز ترکیب از بین می‌رود  $(1-f)$  است.

بنابراین  $\mathcal{R} = (1-f)q$  پس:

$$f = 1 - \frac{\mathcal{R}}{q} = 1 - \frac{f^2}{6} \frac{\alpha}{e \mu_1 \mu_2} \frac{d^4 q}{V^2} = 1 - \frac{1}{6} f^2 \xi^2 \quad (13-1)$$

این یک معادله درجه دوم برای  $f$  است که تنها ریشه مثبت آن به شکل زیر است:

$$f = 2 / \left[ 1 + \sqrt{\left(1 + \frac{2}{3} \xi^2\right)} \right] \quad (14-1)$$

اگر مقادیر  $f$  و  $\xi$  را از معادله (۹-۱) محاسبه کنیم و برای مقایسه، از معادله (۱۴-۱)

مقدار  $f$  برای هر یک از مقادیر  $\xi$  تعیین کنیم، می‌بینیم که دو معادله (۹-۱) و (۱۴-۱)

تقریبا به طور کامل معادل هستند.

پس می توان توجه خود را به بیان ساده تر  $f$  که توسط معادله (۱۴-۱) ارائه می شود، محدود کرد و می توان این فرمول را در برابر نتایج تجربی با در نظر گرفتن  $m$  به عنوان یک ثابت تجربی آزمایش کرد. شگفت آور است که این فرمول نه تنها در منطقه نزدیک اشباع که برای آن تقریب زده شده فیت است، بلکه بر روی بیشتر منحنی نیز فیت می باشد. مقادیر ضریب باز ترکیب و موبیلیتی یونی که در نوشته ها گزارش شده اند به هیچ وجه همگی سازگار نیستند. برای هوا در فشار اتمسفر و دمای  $0^\circ \text{C}$ ، چندین مقدار برای  $\alpha/e$  گزارش شده که کوچک ترین مقدار  $3200$  است (Thomson, 1899). با توجه به کار بوگ و همکاران (۱۹۵۲) به نقل از گزارش اریکسن  $\alpha/e$  به صورت متقابل با توان  $7/3$  از دمای مطلق تغییر می کند. بنابراین باید در  $20$  درجه سانتی گراد  $\alpha/e = 2730$  باشد. مقادیر مختلفی توسط ناظران مختلف برای  $\mu_1$  و  $\mu_2$  در هوا گزارش شده است. بر آورد تامسون توصیه می کند که مقادیر زیر محتمل ترین هستند:

$$\begin{cases} \mu_1 = 1.36 \text{ cm/sec per volt/cm} \\ \mu_2 = 2.1 \text{ cm/sec per volt/cm} \end{cases}$$

با این وجود اریکسون دریافت یون مثبت هنگامی که تازه شکل گرفته است موبیلیتی مشابهی با یون منفی نرمال دارد. با قرار دادن  $\alpha/e = 2730$  و  $k_1 = k_2 = 2.1$  در عبارت  $m$  داریم:

$$m = \sqrt{(\alpha/ek_1k_2)} = \sqrt{2730/2.1 \times 2.1} = 24.9 \quad (15 - 1)$$

اگر چه مقادیری از ثابت ها انتخاب شده که تمایل دارند مقدار  $m$  کوچک تر از مقدار ممکن بدست آید، با این حال رقم این نتایج بسیار بیشتر از مقدار تجربی  $19/4$  است. این نتیجه را می توان گرفت که در این آزمایشات یا  $\alpha/e$  کوچک تر از حد معمول است یا  $\mu_1\mu_2$  بزرگتر است. که به احتمال زیاد دلیل این تفاوت موبیلیتی یون منفی است یون منفی معمولا با چسبیدن یک الکترون آزاد به یک مولکول تشکیل می شود و نیز در بعضی موارد بمباران با الکترون های سریع باعث می شود به طور مستقیم یک مولکول دو اتمی به یون های مثبت و منفی تبدیل شود. با فاصله کوتاه بین الکتروود و نیروی زیاد میدان که در

آزمایش‌های بوگ و همکاران استفاده می‌شود تعدادی از الکترون‌ها ممکن است از شکاف بدون چسبیدن عبور کنند، بنابراین مقدار ظاهری  $\mu_2$  را افزایش می‌دهد. فقط یک کسر کوچک،  $1/n$  از همه برخوردهای بین الکترون‌ها و مولکول‌های آزاد منجر به تشکیل یون منفی با به دام انداختن الکترون می‌شود. تاسون نشان داده احتمال این‌که الکترونی فاصله‌ی  $d$  را در میدان یکنواخت با قدرت  $E$  بدون برخورد مناسب به یک مولکول طی کند، با رابطه زیر داده می‌شود:

$$P(d) = e^{-\frac{vd}{n\lambda\mu E}} = e^{-\psi}$$

جایی که  $v$  سرعت آشفتگی،  $\lambda$  میانگین مسیر آزاد و  $\mu$  مویبیلیتی الکترون در گاز در شرایط فیزیکی داده شده است. اگر الکترون‌ها در فضای بین دو صفحه الکتروود به طور یکنواخت در یک فاصله  $d$  از هم تولید شوند پس احتمال انتقال بدون چسبیدن خواهد بود:

$$P'(d) = \frac{1}{d} \int_0^d P(d) dx = (1 - e^{-\psi})/\psi \quad (16 - 1)$$

داده‌های مربوط به مقدار  $n$ ،  $v$ ،  $\lambda$  و سرعت رانش  $\mu E$  توسط هیلی و رید جمع‌آوری و منتشر شده است. برای هوا مقادیر آن‌ها براساس آزمایشات تانزند و تیزرد و بیلی است. که مقادیر همه تابع نسبت قدرت میدان به فشار گاز است. برای هوا در ۱ اتمسفر و میدان الکتريکی  $2 \text{ kV/cm}$ ، مقادیر زیر با درون‌یابی در جداول هیلی و رید به دست آمده است:

$$\begin{aligned} n &= 2.9 \times 10^6 \\ v &= 6 \times 10^7 \text{ cm/s} \\ \lambda &= 4.2 \times 10^{-5} \text{ cm} \\ \mu E &= 2.1 \times 10^6 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

پس:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{vd}{n\lambda\mu E} = \frac{6 \times 10^7 \times d}{2.9 \times 10^6 \times 4.2 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6} \\ &= 0.234 d \\ &= 0.0234 \quad \text{for } d = 0.1 \text{ cm} \end{aligned}$$

در این مورد،  $P'(d) = (1 - e^{-\psi})/\psi = 0.985$  و بنابراین تنها ۱/۵٪ از الکترون‌ها در عبور از شکاف ۱ میلی‌متری که ولتاژ ۲۰۰ ولت در طول آن اعمال می‌شود، به یون



منفی تبدیل می‌شود. با این وجود باید توجه کرد مقدار  $n$  که باید مورد استفاده قرار گیرد، بسیار نامعلوم است. بنابراین لاوب در هوا و در فشار اتمسفر برای میدان‌های کوچک  $n$  را برابر  $6 \cdot 4 \times 10^4 - 0 \cdot 7$ ، یافت. علاوه بر این مقدار هیلی و رید به هوای خشک اشاره دارد و مقدار کمی رطوبت احتمال اتصال را افزایش می‌دهد.

اگر مقدار واقعی  $n$  برای شرایط آزمایش بوگ  $0/1$  مقدار استفاده شده در بالا باشد ما باید داشته باشیم  $P' = 0.893$ ، اگر  $0/1$  باشد  $P' = 0.386$  می‌شود. به نظر می‌رسد که برای یک شکاف  $1$  میلی‌متر و میدان  $2$  کیلو ولت بر سانتی‌متر که به طور معمول از رنج قدرت میدان مورد نیاز برای تولید اشباع در بسیاری از آزمایشات است، بخش قابل توجهی از الکترون‌های آزاد شده در شکاف بدون تشکیل یون به صفحه مثبت می‌رسند.

فرمول تقریبی بدست آمده در بالا برای نشان دادن منحنی اشباع بر اساس این فرض بود که موبیلیته‌های یون‌های مثبت و منفی مستقل از قدرت میدان بود. الکترون‌های آزاد یک موبیلیته ثابت را نشان نمی‌دهند. علاوه بر این فرض بر این بود که میدان در میان شکاف در منطقه نزدیک اشباع تقریباً یکنواخت خواهد بود. اگر نسبت قابل توجهی از حامل‌های بار منفی الکترون باشد، یک بار فضایی مثبت جا مانده وجود خواهد داشت و میدان در صفحه منفی همیشه بیشتر و اغلب بسیار بیشتر از مقدار آن در صفحه مثبت خواهد بود. به نظر می‌رسد که در این شرایط یک رویکرد متفاوت باید اتخاذ شود. در بعضی گازها مانند آرگون و هیدروژن چسبیدن الکترون رخ نمی‌دهد و در صورت عدم وجود ناخالصی‌ها، جریان تنها توسط یون‌های مثبت و الکترون‌ها حمل خواهد شد.

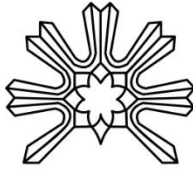
### ۱-۲-۳- رسانایی به وسیله یون‌های مثبت و الکترون‌ها

سرعت رانش الکترون‌ها در یک میدان الکتریکی حدود  $1000$  برابر یون‌های مثبت است و در ناحیه نزدیک اشباع بار فضایی الکترون نسبت به یون‌های مثبت ناچیز است. به جای ثابت گرفتن قدرت میدان در میان شکاف می‌توان تغییرات فضایی میدان را برای موردی که در آن هیچ باز ترکیبی رخ نمی‌دهد تعیین کرد و فرض کرد که این توزیع

18 Sep 2019

Title and Author:	<b>Experimental Investigation of Effect of Radioactive sources on Electrical Conductivity of Gases with Emphasis on Air</b>
Supervisor:	Dr. Mahsa Noori-Asl
Graduation date:	<b>18 sep 2019</b>
Number of pages:	<b>114</b>
<b>Abstract</b>	
<p><b>Research Aim:</b> The purpose of this study is to investigate the effect of radioactive sources on the electrical conductivity of gases with emphasis on air.</p>	
<p><b>Research method:</b> In this study, first, the theoretical bases of conduction of gases exposed to ionizing radiation are investigated. Then, we apply the voltage to the two electrodes of the device we designed, to collect the ions created by the radiation and measure the very weak current generated. From the measured current we can obtain the electrical conductivity of the gas and examine the factors involved in it.</p>	
<p><b>Findings:</b> In the review of the theoretical foundations, we were able to obtain electrical current relationships in different models. In the experimental section, we were able to measure the conductivity of the investigated gases, and in addition to obtain an estimate of the recombination coefficient of the ions.</p>	
<p><b>Conclusion:</b> Using highly sensitive ampermeters at the femtoamper and picoamper range, we can investigate the activity of very weak sources. One application of this study could be the measurement of radon content in the air.</p>	
<p><b>Keywords:</b> Radioactive radiations, Ionization, Ionization chambers</p>	





University of Mohaghegh Ardabili  
Faculty of Science  
Department of Physics

Thesis submitted in partial fulfillment for the degree of  
M.Sc. in Nuclear Physics

# Experimental Investigation of Effect of Radioactive sources on Electrical Conductivity of Gases with Emphasis on Air

By:  
Hossein Afzal

Supervisor:  
**Dr. Mahsa Noori-Asl**

Advisor:  
**Dr. Mohammad Hamdipour**

**(September-2019)**