یونیزاسیون اشعه ایکس

پارسا رنگریز

آزمایشگاه فیزیک ۴، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۱ مقدمه

اشعه X، موج الکترومغناطیسی پر قدرت با محدوده انرژی چند صد الکترون ولت است. این اشعه می‌تواند با ماده اندرکنش داشته باشد و یکی از اثرات آن ایجاد یون در ماده است. اگر انرژی جذب شده برای m کیلوگرم از ماده ΔW ژول باشد، انرژی یونیزاسیون در واحد جرم $\frac{\Delta W}{m}$ است. اگر کل بارهای مثبت و منفی Q باشد، مقدار موثر یونی را $J = \frac{Q}{m}$ تعریف می‌کنیم و ظرفیت موثر یونی نسبت به مقدار موثر یونی به زمان تابش، Δt تعریف می‌شود. اگر ماده استفاده شده برای یونیزاسیون گاز باشد، تعریف می‌بایستی در شرایط متعارف (دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر) باشد.
بارهای موجود در محیط را می‌توان توسط اعمال پتانسیلی به حرکت درآورد. جابجایی بار Q در مدت Δt جریانی می‌دهد که با افزایش ولتاژ به حالت اشباع یعنی حالتی که کل بارهای موجود جابجا می‌شوند، می‌رسد. بنابراین

$$Q_t = I_{max}\Delta t \tag{۱}$$

$$J = \frac{I_{max}\Delta t}{\rho V} \tag{۲}$$

ظرفیت موثر یونی نیز برابر است با

$$j = \frac{I_{max}}{\rho V} \tag{۳}$$

که ρ چگالی و V حجم است.

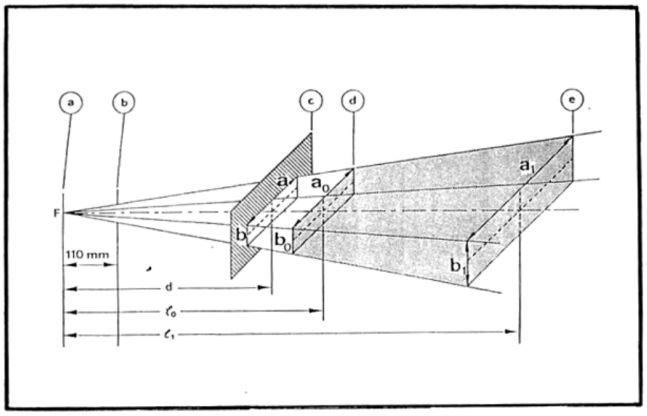
۲ وسایل آزمایش

۱) محفظه یونیزاسیون (شکل ۱)
این محفظه دارای خازنی است که مشخصات آن در شکل ۲ آمده است. حجم آن حدود ۱۲۲ سانتی‌متر مکعب است.
۲) پنل تنظیمات لامپ اشعه ایکس (شکل ۳)
۳) ۴ عدد مولتی‌متر

۳ شرح آزمایش

دستگاه را مطابق شکل ۴ به هم می‌بندیم. دقت می‌نماییم که منبع ولتاژ DC و محدوده آمپلی‌فایر جریان قبل از روشن و خاموش شدن روی صفر باشند. قبل از روشن کردن دستگاه، کلید محدوده کار اندازه‌گیر ولتاژها را بر روی سیصد ولت تنظیم می‌کنیم.
ضمنا توجه داریم که ولتاژ خازن، U_C از نوع DC و ولتاژ آند لامپ اشعه ایکس از نوع AC است.
برای اندازه‌گیری I_{em} (جریان الکترون از کاتد به آند) آمپرمتر را بر روی محدوده یک میلی‌آمپر قرار می‌دهیم. به منظور بدست

شکل ۱: خازن در محفظه یونیزاسیون



شکل ۲: مشخصات محفظه

a نقطه کانون F	$G_1=a_1.b_1$ قاعده
b شکاف خروجی اشعه	$G_0=a_0.b_0$ مساحت سطح بالا
c دیافراگم مستطیل شکل	$h=l_1-l_0$ ارتفاع
d ابتدای خازن	$V=\frac{h}{3}(G_0+\sqrt{G_0.G_1}+G_1)$
e انتهای خازن	و با در نظرگرفتن روابط بین مثلثها خواهیم داشت:
	$V=\frac{l_1-l_0}{3d^2}\,ab(l_0^2+l_0.l_1+l_1^2)$
	$d=153mm \quad a=45mm$
	$b=6mm \quad l_0=173mm \quad l_1=333mm$
سرانجام حجم مربوطه بدست خواهد آمد	$V=122/1\ cm^3$

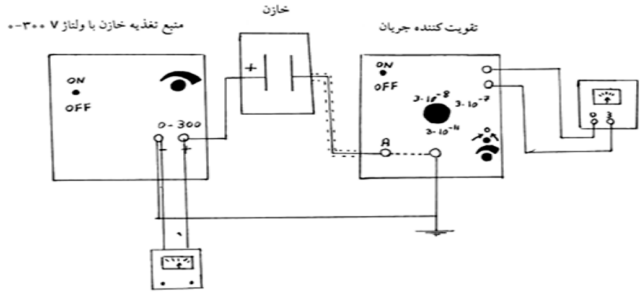
آوردن مقدار واقعی ولتاژ آند لامپ، U_A کافی است از رابطه $\sqrt{2} \times 133 \times V_A$ استفاده نماییم که V_A ولتاژ آند خوانده شده توسط ولت‌متر است.
لازم به ذکر است در تمامی مراحل آزمایش مکث لازم جهت اندازه‌گیری جریان یونیزاسیون را نباید فراموش کرد.
قسمت فلزی اتصالات اندازه‌گیری را نباید لمس کرد، زیرا موجب وارد آمدن شوک الکتریکی خواهد شد.
باید دقت کرد که خط قرمز نشانه جریان زیاد که بر روی دستگاه اشعه ایکس قرار دارد با افزایش I_{em} ظاهر نگردد.

۱.۳ آزمایش یک

منبع ولتاژ DC و آمپلی‌فایر جریان و دستگاه اشعه ایکس را مطابق دستور بالا روشن می‌کنیم. آنگاه ولتاژ و جریان دستگاه اشعه ایکس را زیاد می‌نماییم. جریان I_{em} را بر روی $1mA$ و V_A را روی $140V$ تنظیم می‌کنیم. سپس با تغییر ولتاژ خازن از صفر تا $210V$ جریان یونیزاسیون را بدست می‌آوریم (ولتاژ DC در آخر، زمان Δt را با افزایش ناگهانی ولتاژ خازن و اندازه‌گیری مقدار زمانی که جریان یونیزاسیون به اشباع می‌رسد، می‌یابیم (زمان مکث) و نتایج را در جدول ۱ ثبت می‌کنیم.

شکل ۳: پنل تنظیم لامپ اشعه ایکس

شکل ۴: طرز اتصال دستگاه‌ها



۲.۳ آزمایش دو

ولتاژ خازن، U_C را بر روی $150V$ قرار می‌دهیم. سپس با تغییرات I_{em} از صفر تا $1mA$ جریان یونیزاسیون را بدست آورده و در جدول ۲ وارد می‌کنیم.

۳.۳ آزمایش سه

جریان I_{em} را بر روی $1mA$ و ولتاژ خازن U_C را بر روی $150V$ می‌گذاریم. سپس با تغییر V_A، جریان یونیزاسیون I را اندازه می‌گیریم و جدول ۳ را پر می‌کنیم

۴ هدف آزمایش

تعیین مقدار ظرفیت موثر یونی هوا، تحقیق بستگی جریان یونیزاسیون به جریان فیلامان و ولتاژ آند لامپ اشعه ایکس.

۵ جدول داده‌ها

جدول ۱: تغییرات جریان یونیزاسیون I نسبت به تغییرات ولتاژ خازن U_C

$V_A(V)$	10.0	19.9	29.8	40.2	50.3	60.1	70.1
$I(mA)$	0.88	1.84	2.24	2.38	2.43	2.45	2.47
$V_A(V)$	80.1	90.1	100.1	110.4	119.8	130.7	139.9
$I(mA)$	2.48	2.46	2.45	2.45	2.45	2.48	2.48

$V_A = 140, I_{em} = 1mA$

جدول ۲: تغییرات جریان یونیزاسیون I نسبت به تغییرات I_{em}

$I_{em}(mA)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$I(mA)$	1.14	1.93	2.29	2.46	2.54	2.60	2.62	2.63	2.64	2.64

$U_C = 150V$

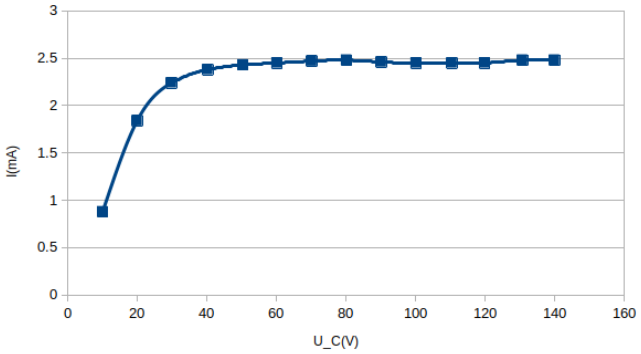
جدول ۳: تغییرات جریان یونیزاسیون I نسبت به تغییرات V_A

$V_A(V)$	160	165	170	175	180	185	190	195
$I(mA)$	2.60	2.64	2.64	2.70	2.71	2.73	2.74	2.74

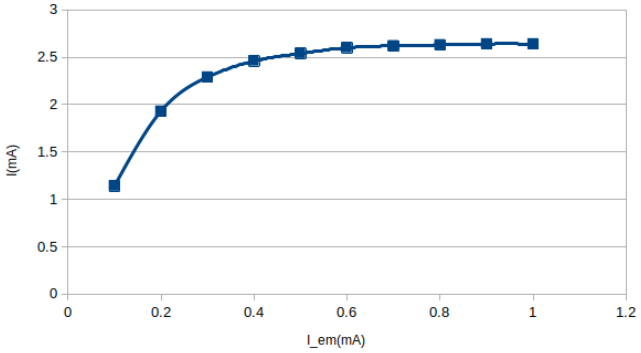
$U_C = 150V, I_{em} = 1mA$

۶ نمودار داده‌ها

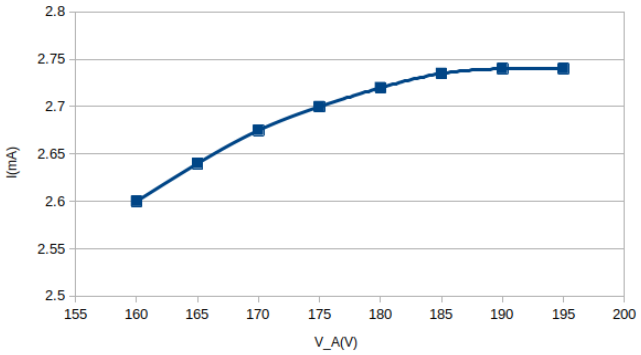
شکل ۵: تغییرات جریان یونیزاسیون I نسبت به تغییرات ولتاژ خازن U_C



شکل ۶: تغییرات جریان یونیزاسیون I نسبت به تغییرات I_{em}



شکل ۷: تغییرات جریان یونیزاسیون I نسبت به تغییرات V_A



۷ خطا

خطاهای این آزمایش بدین شرح است:
۱) زمان به تعادل رسیدن بسیار سریع است و در نتیجه خطای زمان تعادل بالا می‌رود
۲) دامنه کم داده‌ها قبل از رسیدن به نقطه تعادل
۳) خطای سیستماتیک دستگاه‌ها

۸ نتیجه‌گیری

۱) در آزمایش اول، جریان به یک مقدار اشباع رسید. این نتیجه قابل پیش‌بینی بود چرا که بعد از افزایش پتانسیل، اتم‌های بیشتری یونیزه می‌شوند و در نهایت به مرزی می‌رسیم که دیگر اتمی برای یونیزه شدن تقریبا نمانده است و در این صورت است که یک جریان اشباع شده خواهیم داشت.
۲) زمان مکث را با استفاده از کرنومتر حساب کرده‌ایم سه بار:

$$T_1 = 3.79s, T_2 = 3.79s, T_3 = 3.76s \rightarrow T = 3.78s \quad (۴)$$

۳) با افزایش (کاهش) فشار، چون حجم نمونه و دمای محفظه تقریبا ثابت است، بنابراین چگالی الکترون‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه جریان I نیز زیاد می‌شود. (می‌توان از رابطه گاز کامل ایده گرفت)
۴) مشاهده می‌شود که با افزایش جریان کاتد به آند جریان یونیزاسیون نیز افزایش می‌یابد و در نهایت به حالت اشباع می‌رسد. دلیل آن این است که با افزایش جریان و افزایش شدت اشعه ایکس تعداد اتم‌های یونیده شده ماده افزایش می‌یابد و در نتیجه جریان یونیزاسیون نیز افزایش می‌یابد و در نهایت به حالت اشباع می‌رسد. دلیل اشباع نیز قبلا توضیح داده شده است.
۵) مقدار موثر یونی و ظرفیت موثر یونی بدین شرح است:

$$\begin{aligned} J &= 64.03 A.s.kg^{-1} \\ j &= 16.94 A.kg^{-1} \end{aligned} \quad (۵)$$

۶) لزوم مکث در اندازه‌گیری جریان یونیزاسیون این است که سیستم به حالت پایدار برسد؛ چرا که ممکن است همچنان اتم‌هایی برای یونیزه شده وجود داشته باشد و نیز برخی اخلال‌های سیستم این را ایجاب می کند که مکث الزامی باشد.
۷) یکی از کاربردهای این آزمایش شمارنده گایگر است، تنها تفاوت آن است که به جای دو استوانه هم‌محور از یک خازن بهره برداری می‌شود. یدر کل یکی از شیوه‌های آشکارسازی است.
۸) الکترون‌ها در صورتی اشعه ایکس تولید می‌کنند که در حال برهم‌کنش با اتم‌ها شتاب منفی بگیرند و در این صورت تابش کنند که وقتی رخ می‌دهد که ضخامت صفحات زیاد باشد.