

## آزمایش فرانک-هرتز

### هدف آزمایش:

مشاهده پدیده فرانک هرتز و ثبت منحنی جریان-ولتاژ برای لامپ جیوه

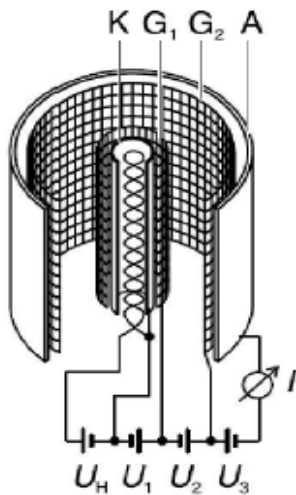
اندازه گیری انرژی گسسته جذب الکترون های اتم جیوه در برخورد غیر الاستیک پرتو الکترونی با آن

### مقدمه:

در سال ۱۹۱۳ نیلز بوهر مدل اتمی خود را بر پایه ی کوانتومی بودن مدار های دایره ای حرکت الکترون توصیف کرد که طبق آن شعاع مدار الکترون و انرژی آن محدود به بعضی مقادیر مجاز می باشد.

یک سال بعد، یعنی در سال ۱۹۱۴ جیمز فرانک و گاستاو هرتز، با عبور دادن الکترون از بخار جیوه و بررسی شدت جریان الکترونی، متوجه انتقال انرژی با گام های مجزا برای الکترون های عبوری شدند. ابتدا تصور می کردند که این انتقال انرژی صرف یونیزاسیون اتم های جیوه شده است و در گزارشات اولیه ی خود مقدار کاهش انرژی را به عنوان انرژی یونیزاسیون جیوه ثبت کرده اند. اما بعد با مشاهده ی تابش گسیلی آن ( $\lambda=254\text{nm}$ ) متوجه برانگیختگی اتم های جیوه به تراز بالاتر و همچنین صحت مدل اتمی بوهر شدند.

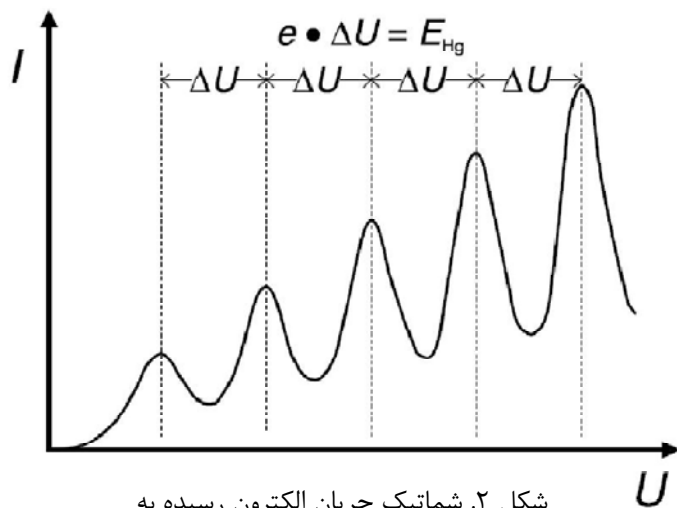
اساس آزمایش فرانک-هرتز بر پایه ی برخورد کشسان و غیر کشسان الکترون های عبوری از بخار جیوه می باشد. برای این مشاهدات، با ثابت نگه داشتن دما، جیوه بخار شده و در یک فشار بخار ثابت درون لامپ شیشه ای نگه داشته می شوند. لامپ شیشه ای با تقارن استوانه ای ( شکل ۱) شامل چهار الکتروود است؛ کاتد K، الکتروود کنترل از نوع شبکه ای  $G_1$  در فاصله چند سانتیمتر از کاتد، یک شبکه شتاب دهنده  $G_2$  در فاصله ی بیشتر و الکتروود جمع کننده A.



الکترون ها از الکتروود گرم گسیل شده و با یک پتانسیل پیشران  $U_1$  بین کاتد و شبکه  $G_1$  سرعت داده می شوند. در فاصله بین دو شبکه  $G_1$  و  $G_2$ ، ولتاژ شتاب دهنده  $U_2$  به این الکترون ها انرژی و شتاب می دهد. یک ولتاژ متوقف کننده  $U_3$  بین شبکه  $G_2$  و جمع کننده  $A$  وجود دارد. فقط الکترون هایی با انرژی جنبشی کافی می توانند به جمع کننده برسند و در جریان جمع کننده سهیم باشند.

شکل ۱. شماتیک لامپ شیشه ای آزمایش فرانک-هرتز، شامل چهار الکتروود و بخار جیوه

در این آزمایش، ولتاژ شتاب دهنده  $U_2$  از صفر تا ۳۰ ولت افزایش می یابد، در حالیکه  $U_1$  و  $U_3$  ثابت نگه داشته می شوند و جریان متناظر جمع کننده  $I_A$  اندازه گیری می شود. شکل ۲ شماتیکی از جریان جمع کننده را نشان می دهد. با افزایش پتانسیل شتاب دهنده  $U_2$ ، جریان ابتدا افزایش می یابد و برخورد الکترون ها با اتم های جیوه کاملاً کشسان و بدون انتقال انرژی است. اما زمانی که انرژی جنبشی الکترون ها به میزان مورد نیاز برای تحریک اتم جیوه ( $E_{Hg} = 4/9 \text{ eV}$ ) برسد، برخورد غیر کشسان رخ می دهد. بعد از برخورد، الکترون ها دیگر قادر به غلبه بر ولتاژ متوقف کننده  $U_3$  نیستند و در نتیجه جریان جمع کننده شدیداً افت می کند.



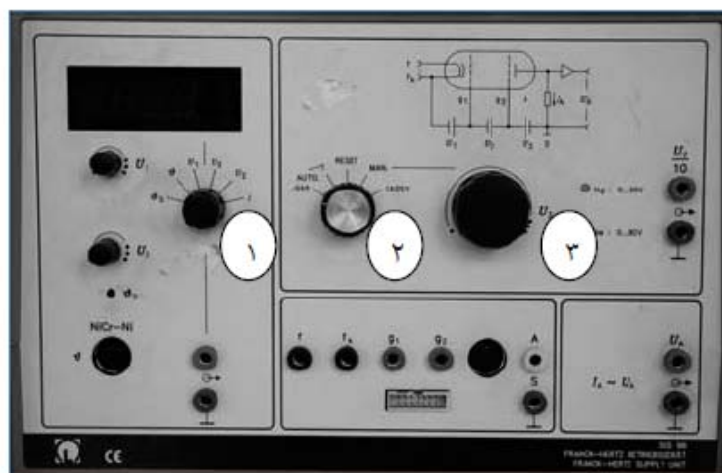
شکل ۲. شماتیک جریان الکترون رسیده به جمع کننده به عنوان تابعی از ولتاژ شتاب دهنده

در ولتاژ های بالاتر، جریان جمع کننده دوباره افزایش می یابد تا جایی که انرژی الکترون ها به انرژی لازم برای برانگیختگی دو اتم جیوه می رسد و مجدداً برخورد غیر کشسان رخ می دهد.

## وسایل آزمایش:

مجموعه دستگاه های آزمایش عبارتند از کوره، لامپ با مشخصاتی که در مقدمه بیان شد، دستگاه تأمین کننده ولتاژها، مولتی متر و اسیلوسکوپ.

مجموعه منبع ولتاژها و نمایش مقادیر آنها در یک دستگاه می باشد که در شکل ۳ نمایش داده شده است. در این دستگاه سه کلید تنظیم وجود دارد که روی شکل شماره گذاری شده است. شماره ۱ مربوط به نمایش ولتاژها، جریان و دمای لحظه ای و بیشینه دما می باشد. شماره ۳ تغییرات دستی پتانسیل شتاب دهنده را ممکن می سازد و تنها در صورتی تغییر آن ممکن است که کلید تنظیم شماره ۲ را روی حالت manual قرار داده باشید. این کار را در آزمایش ۲ انجام می دهید که جریان یا ولتاژ جمع کننده را با استفاده از یک مولتی متر می خوانید. اما در آزمایش اول که نمایش کلی را در اسیلوسکوپ مشاهده می کنید، کلید تنظیم شماره ۲ را در حالت موج دندانانه اری قرار می دهید.

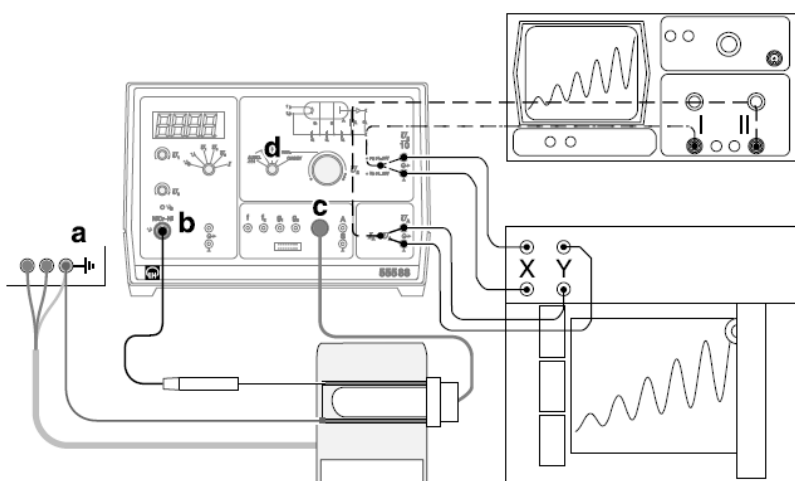


شکل ۳. مجموعه دستگاه آزمایش فرانک هرتر

در حین کار، لامپ را جابجا نکنید و به نور ایجاد شده در لامپ نیز مستقیماً نگاه نکنید.

## شرح آزمایش:

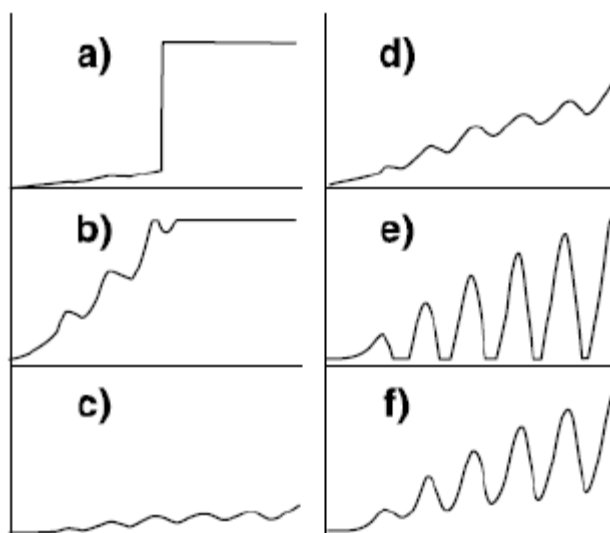
شکل ۴ به طور کامل نحوه اتصال دستگاه ها به یکدیگر را نشان داده است. مطابق همین شکل، کوره را به برق شهر و ترموکوپل را نیز به دستگاه اصلی آزمایش وصل کنید. سپس کوره را روشن کرده و منتظر شوید تا دما به تعادل برسد (حدوداً ۱۷۰ درجه سانتیگراد). در این شرایط فشار بخار جیوه درون لامپ ثابت خواهد بود.



شکل ۴. مجموعه وسایل و چیدمان آزمایش و نحوه اتصال آنها

## آزمایش ۱:

در آزمایش اول از اسیلوسکوپ برای نمایش کلی جریان جمع کننده با افزایش ولتاژ شتاب دهنده استفاده می کنید. کلید وضعیت ۲ (شکل ۳) را که مربوط به کنترل  $U_2$  می باشد را در حالت دنداناره ای قرار دهید. برای نمایش جریان بر حسب ولتاژ  $U_2$ ، مطابق شکل ۴ خروجی  $U_A$  را به کانال ۱ ( $2V/DIV$ ) و  $(U_2/10)$  را به کانال ۲ ( $0.5V/DIV$ ) اسیلوسکوپ وصل کنید و آن را روی حالت  $XY$  قرار دهید. ابتدا  $U_1$  و  $U_3$  را روی  $1/5 V$  تنظیم کنید. وقتی که دما به ۱۷۰ رسید آزمایش را شروع کنید. با تغییر  $U_1$  و  $U_3$  مقادیر بهینه آنها را برای مشاهده بهترین نمودار پیدا کنید. طرح های مختلفی که ممکن است مشاهده شود در شکل ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۵. طرح های مختلفی که ممکن است در اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

## آزمایش ۲:

در این آزمایش کلید وضعیت شماره ۲ را در حالت manual قرار داده و  $U_A$  را از اسیلوسکوپ جدا نمایید و به ولت‌متر وصل کنید. از مقادیر به دست آمده و بهینه  $U_1$  و  $U_3$  که در آزمایش ۱ به دست آوردید، استفاده کنید. آنگاه با تغییر  $U_2$  از صفر تا سی ولت، خروجی  $U_A$  توسط ولت‌متر که متناسب با  $I_A$  است را در جدول ۱ یادداشت کنید.

همین کار را برای دو مقدار دیگر  $U_1$  (مثلاً  $0.2$  کمتر و بیشتر از مقدار بهینه) انجام دهید و نتایج را در جدول ۲ و ۳ وارد کنید.

## جداول و داده ها:

جدول ۱. تغییرات  $U$  نسبت به تغییرات  $U_2$  برای مقادیر بهینه  $U_1$  و  $U_3$  به دست آمده از آزمایش ۱. (تغییرات جریان را از طریق ولت‌متر ثبت می کنید.)

$U_2$	$U$	$U_2$	$U$	$U_2$	$U$	$U_2$	$U$
۰		۶/۵		۱۳		۱۹/۵	
.۵		۷		۱۳/۵		۲۰	
۱		۷/۵		۱۴		۲۰/۵	
۱/۵		۸		۱۴/۵		۲۱	
۲		۸/۵		۱۵		۲۱/۵	
۲/۵		۹		۱۵/۵		۲۲	
۳		۹/۵		۱۶		۲۲/۵	
۳/۵		۱۰		۱۶/۵		۲۳	
۴		۱۰/۵		۱۷		۲۳/۵	
۴/۵		۱۱		۱۷/۵		۲۴	
۵		۱۱/۵		۱۸		۲۴/۵	
۵/۵		۱۲		۱۸/۵		۲۵	
۶		۱۲/۵		۱۹		۲۵/۵	

جدول ۲. تغییرات  $U$  نسبت به تغییرات  $U_2$  برای مقادیر ثانویه  $U_1$  و مقدار بهینه  $U_3$  به دست آمده از آزمایش ۱. (تغییرات جریان را از طریق ولت‌متر ثبت می کنید.)  $U_1=0/2$

$U_2$	$U$	$U_2$	$U$	$U_2$	$U$	$U_2$	$U$
۰		۶/۵		۱۳		۱۹/۵	
.۵		۷		۱۳/۵		۲۰	
۱		۷/۵		۱۴		۲۰/۵	
۱/۵		۸		۱۴/۵		۲۱	
۲		۸/۵		۱۵		۲۱/۵	
۲/۵		۹		۱۵/۵		۲۲	
۳		۹/۵		۱۶		۲۲/۵	
۳/۵		۱۰		۱۶/۵		۲۳	
۴		۱۰/۵		۱۷		۲۳/۵	
۴/۵		۱۱		۱۷/۵		۲۴	
۵		۱۱/۵		۱۸		۲۴/۵	
۵/۵		۱۲		۱۸/۵		۲۵	
۶		۱۲/۵		۱۹		۲۵/۵	

جدول ۳. تغییرات  $U$  نسبت به تغییرات  $U_2$  برای مقادیر ثانویه  $U_1$  و مقدار بهینه  $U_3$  به دست آمده از آزمایش ۱. (تغییرات جریان را از طریق ولت‌متر ثبت می‌کنید.)  $U_1 + 0.2$

$U_2$	$U$	$U_2$	$U$	$U_2$	$U$	$U_2$	$U$
۰		۶/۵		۱۳		۱۹/۵	
۰.۵		۷		۱۳/۵		۲۰	
۱		۷/۵		۱۴		۲۰/۵	
۱/۵		۸		۱۴/۵		۲۱	
۲		۸/۵		۱۵		۲۱/۵	
۲/۵		۹		۱۵/۵		۲۲	
۳		۹/۵		۱۶		۲۲/۵	
۳/۵		۱۰		۱۶/۵		۲۳	
۴		۱۰/۵		۱۷		۲۳/۵	
۴/۵		۱۱		۱۷/۵		۲۴	
۵		۱۱/۵		۱۸		۲۴/۵	
۵/۵		۱۲		۱۸/۵		۲۵	
۶		۱۲/۵		۱۹		۲۵/۵	

### پرسش‌ها:

۱. تغییرات  $U_1$  چه اثری در منحنی جریان بر حسب  $U_2$  اعمال می‌کند؟ صفر کردن  $U_1$  چه اثری دارد؟ (آزمایش ۱)

۲. تغییرات  $U_3$  چه اثری در منحنی جریان بر حسب  $U_2$  اعمال می‌کند؟ صفر کردن  $U_3$  چه اثری دارد؟ (آزمایش ۱)

۳. کدامیک از طرح‌های موجود در شکل ۵ مناسب است؟ چرا؟ چه ایرادی به طرح‌های دیگر وارد است؟

۴. چه مقادیر بهینه‌ای برای  $U_1$  و  $U_3$  به دست آوردید؟

پاسخ سؤالات زیر را در جلسه بعد تحویل دهید.

۱. تغییرات ولتاژ  $U$  بر حسب ولتاژ  $U_2$  را برای سه مقدار مختلف  $U_1$  (جدول های ۱ تا ۳) در یک نمودار رسم کنید و ضمن مقایسه، آنها را تفسیر کنید.

۲. انرژی برانگیختگی اتم جیوه چقدر است؟ از جدول ۱ و منحنی سؤال ۱ به دست آورید و با مقدار دقیق آن مقایسه کنید.

۳. نور گسیل شده از گاز ناشی از تحریک اتم های جیوه، چه طول موجی دارد و در چه ناحیه ای قرار دارد؟

۴. در ولتاژ های بالا، آیا می توان قله ای مربوط به برانگیختگی مرتبه دوم و بالاتر مشاهده کرد؟

۵. چرا مکان اولین بیشینه در پتانسیل مورد انتظار نیست؟ (پتانسیل مورد انتظار پتانسیل  $V$  است که اگر  $\Delta E = eV$  برانگیختگی باشد،) توضیح اینکه فواصل تمام قله ها باهم ثابت است، اما قله اول در انرژی بیشتری نسبت به این مقدار ثابت دیده می شود.

۶. چرا نمودار روی یک خط صعودی سوار است؟

۷. اهمیت  $U_3$  چیست؟ آیا بدون اعمال این ولتاژ، آزمایش قابل انجام است؟

۸. اهمیت آزمایش فرانک هرترز را بیان کنید.

۹. چگالی اتم های جیوه چه اثری بر روی منحنی  $I-V$  دارد؟ اگر فشار جیوه بیشتر شود چه اثری روی منحنی دارد؟

۱۰. مزیت استفاده از عنصر جیوه چیست؟ اگر مثلاً از گاز هلیوم استفاده کنیم، نتیجه چگونه خواهد شد؟

۱۱. حالت های کوانتایی قبل و بعد از تحریک اتم جیوه را مشخص کنید.