

بررسی تجربی و نظری کار الکترومتر ترمویونی در حالت شبکه شناور*

عمادالدین فقاہتی

استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

چکیده:

کاربرد الکترومتر ترمویونی بحالت شبکه شناور از راه تجربی و نظری مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نشان داده شده است که اگر مشخصات لامپ بویژه از نظر عایق بندی خوب باشد، می توان با اعمال دقت های مداری لازم جریان منفی شبکه آنرا تثبیت نمود و به حساسیت فوق العاده زیاد برای سنجش جریان های الکتریکی بسیار کوچک دست یافت. بر این پایه یک نمونه دستگاه آزمایشی ساخته شده است که حد حساسیت آن به $10^{-17} \times 2 \text{ آمپر}$ می رسد، بطوریکه مثلاً "سنجش جریان یونیزاسیون طبیعی معمولی در یک لیتر هوا در فشار متعارف بادقتی نسبتاً" خوب با آن عملی است.

مقدمه:

روش متداول کنونی برای سنجش جریان های الکتریکی فوق العاده کوچک چنین است که جریان قبلاً "بوسیله عناصر تقویت ویژه ای که مقاومت ورودی بسیار بزرگ دارند تقویت شده، سپس در دستگاه سنجش فرستاده می شود. دو نوع عنصر تقویت مناسب برای این منظور در دسترس است: ترانزیستورهای اثر میدان از نوع موس و لامپ های الکترومتر ترمویونی. اولی در حدود پانزده ساله است که تکامل یافته ولی قدمت دومی بیشتر است. عمل تقویت اغلب به یکی از دو راه صورت می گیرد:

- ۱- جریان سنجیدنی از یک مقاومت الکتریکی بزرگ، که گاهی به 10^{12} اهم می رسد می گذرد و اختلاف پتانسیل حاصل ابتدا توسط یکی از عناصر یاد شده و سپس، در صورت لزوم، در مراحل بعدی تقویت می شود.
- ۲- از یک تقویت کننده عملیاتی که در ورودی آن عنصر مناسب و در مدار فیدبک آن مقاومتی بزرگ قرار دارد استفاده می شود. بررسی ها نشان داده است که مقاومت های بزرگتر از 10^{12} اهم پایداری و دقت ندارند و از اینرو چندان بکار نمی روند. با ترتیب های یاد شده در بالا سنجش جریان الکتریکی تا حدود 10^{-15} آمپر (۱) و بندرت پائین تر (۲) میسر می گردد.

* این کار درمؤسسه علوم و فنون هسته ای سابق دانشگاه تهران انجام گرفته است.

بکار بردن الکترومتر ترمویونی بصورت عنصر تقویت جریان (نه تقویت ولت) نیز عملی است . بدین ترتیب که مقاومت خارجی در ورودی آن قرار ندهیم ، یعنی شبکه را بحال شناور نگهداریم . در این حال شبکه در یک پتانسیل تعادل قرار می گیرد و جریان معینی از آنند می گذرد . برقراری چنین تعادل به سبب وجود دو جریان در دوسوی مخالف در شبکه است : نخست جریان مثبت ناشی از نشستن برخی از الکترون های بیرون آمده از رشته بر روی شبکه . دوم جریان منفی شبکه که از عوامل زیر بعنوان مهم ترین منشاء های آن نام برده می شود :

۱- جریان نشستی از الکترودهای دیگر به شبکه .

۲- اثر فوتوالکتریک بر روی شبکه توسط فوتون های حاصل از افروزش رشته یا نور بیرونی .

۳- اثر ترمویونی در شبکه .

۴- هدایت الکتریکی توسط یون های گازی در فضای لامپ .

ورود جریان خارجی در شبکه شناور سبب تغییری در پتانسیل تعادل آن و در نتیجه تغییری در جریان آنند می شود که نسبت به جریان ورودی حالت لگاریتمی دارد (۳ و ۴) . بنابراین آنچه از منابع و کاربردها می آید تاکنون این ویژگی الکترومتر ترمویونی تنها در شرایطی که جریان خارجی مثبت و حداقل چندین برابر جریان منفی شبکه باشد ، مورد استفاده قرار گرفته است (۳ و ۴) ، احتمالاً " بدین سبب که جریان منفی تا حدودی نامشخص و ناپایدار بنظر رسیده است .

یک مشکل اساسی در روش های بالا ناپایداری نقطه صفر است بویژه هنگامی که بهره تقویت بالا است . برای پرهیز از این اشکال گاهی از الکترومتر با تیغه لرزان استفاده می شود . ناحیه کار مفید چنین دستگاه نیز به حدود 10^{-15} آمپر می رسد .

یک نوع الکترومتر بسیار حساس نیز گزارش شده است (۶) ، که اساس آن بر لرزش یک رشته کوآرتز میان دو الکترودی است که پتانسیل های متناوب در فاز مخالف بر آنها اعمال می شود . پتانسیل سنجیدنی به رشته کوآرتز می رسد و دامنه لرزش آن در یک ریزبین مشاهده و سنجیده می شود . حساسیت چنین دستگاه برای بار الکتریکی بر طبق گزارش تا حدود 10^{-16} کولن می رسد . این دستگاه چون ذاتاً " انتگرالی است برای سنجش باری که در مدتی گردآوری شده است بکار می خورد ولی برای بررسی تغییرات یک جریان مناسب نیست .

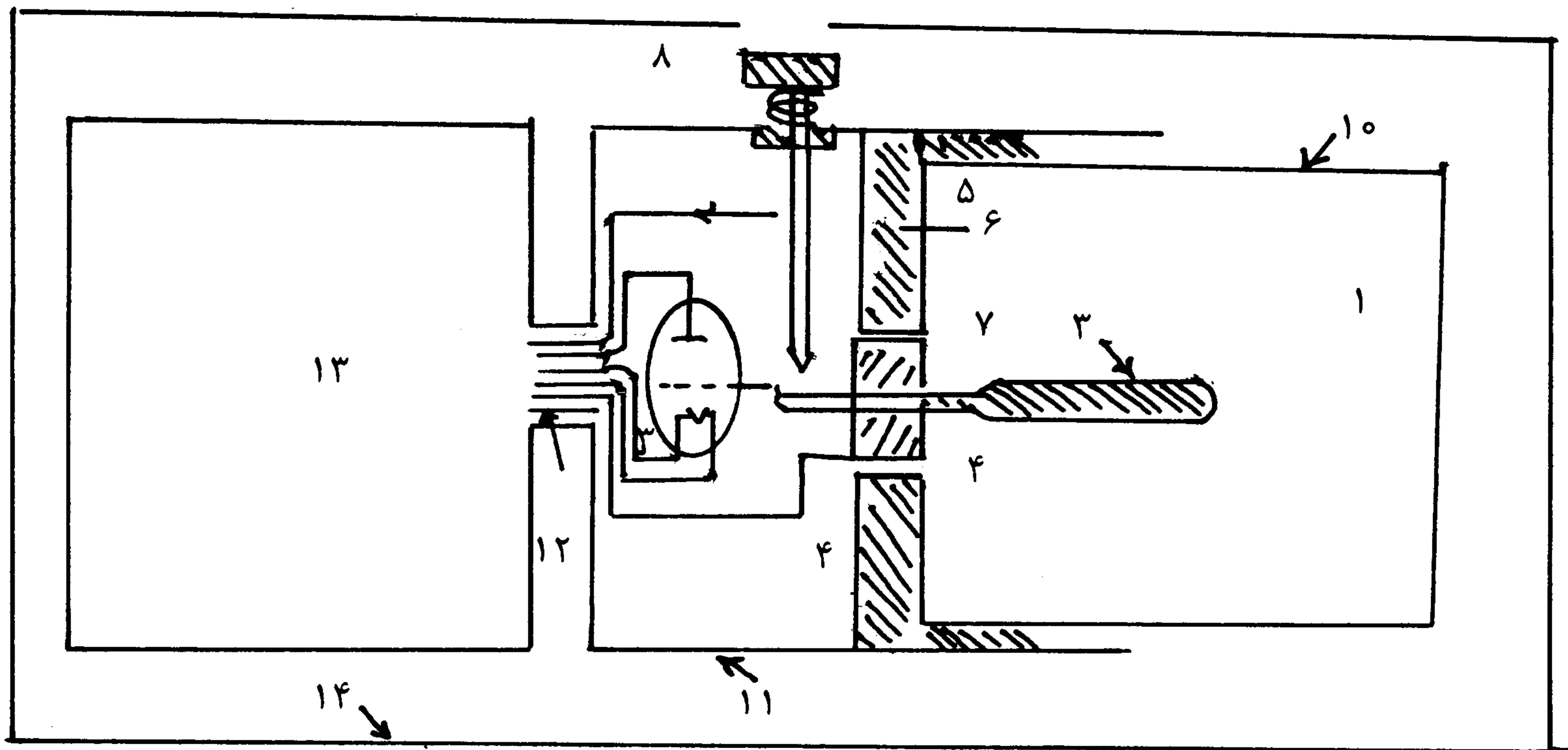
ما در ضمن آزمایش هایی که درباره سنجش یونیزاسیون در گازها صورت می گرفت ، به این نکته برخوردیم که با شناخت بهتر ویژگی های الکترومتر ترمویونی در حالت شبکه شناور احتمالاً " می توان حدود دقت و حساسیت را از آنچه که دستگاه های معمولی نشان می دهند بالاتر برد . با این هدف بررسی هایی صورت گرفت که نتیجه آنها در اینجا ارائه می شود .

۲- بررسی تجربی ویژگی های الکترومتر ترمویونی در حالت شبکه شناور .

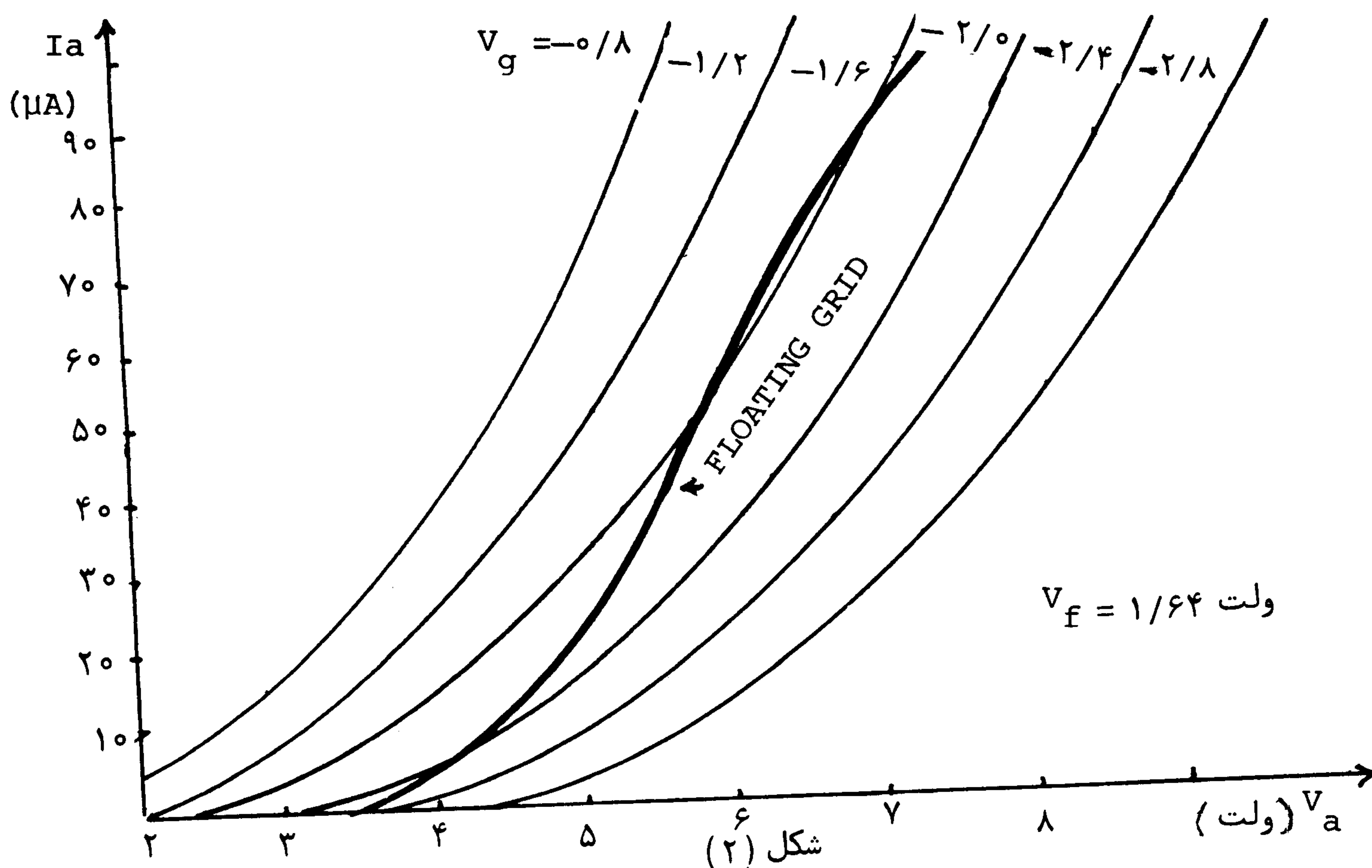
لامپ های الکترومتر VX 86-A ساخت ویکتورین ME 1401 ساخت مولارد مورد بررسی قرار گرفتند . لامپ نوع اخیر جریان نشستی کوچکتری نشان داد و از اینرو همه آزمایش هایی که در اینجا به آنها اشاره می شود با این مدل لامپ انجام گرفته است .

شما ی دستگاهی که برای آزمایش های لازم طرح و ساخته شد در شکل (۱) دیده می شود ، گرچه در عمل یک لامپ الکترومتر دیگر نیز ، برای منظوری که بعداً " خواهد آمد ، به آن افزوده شد که در این شما نیامده است . استفاده از محفظه یونیزاسیون در این دستگاه بمنظور امکان ایجاد جریان های معین بسیار کوچک در آن توسط یک چشمه رادیواکتیو است .

در نخستین آزمایش ها بدین نتیجه رسیدیم که برای هدف مورد نظر نه تنها پتانسیل میان آن دو کاتد الکترومتر باید دقیقاً " ثابت باشد ، بلکه جریان رشته آن نیز باید بدقت تثبیت شود ، در حالیکه هر دو قابل تنظیم باشند .

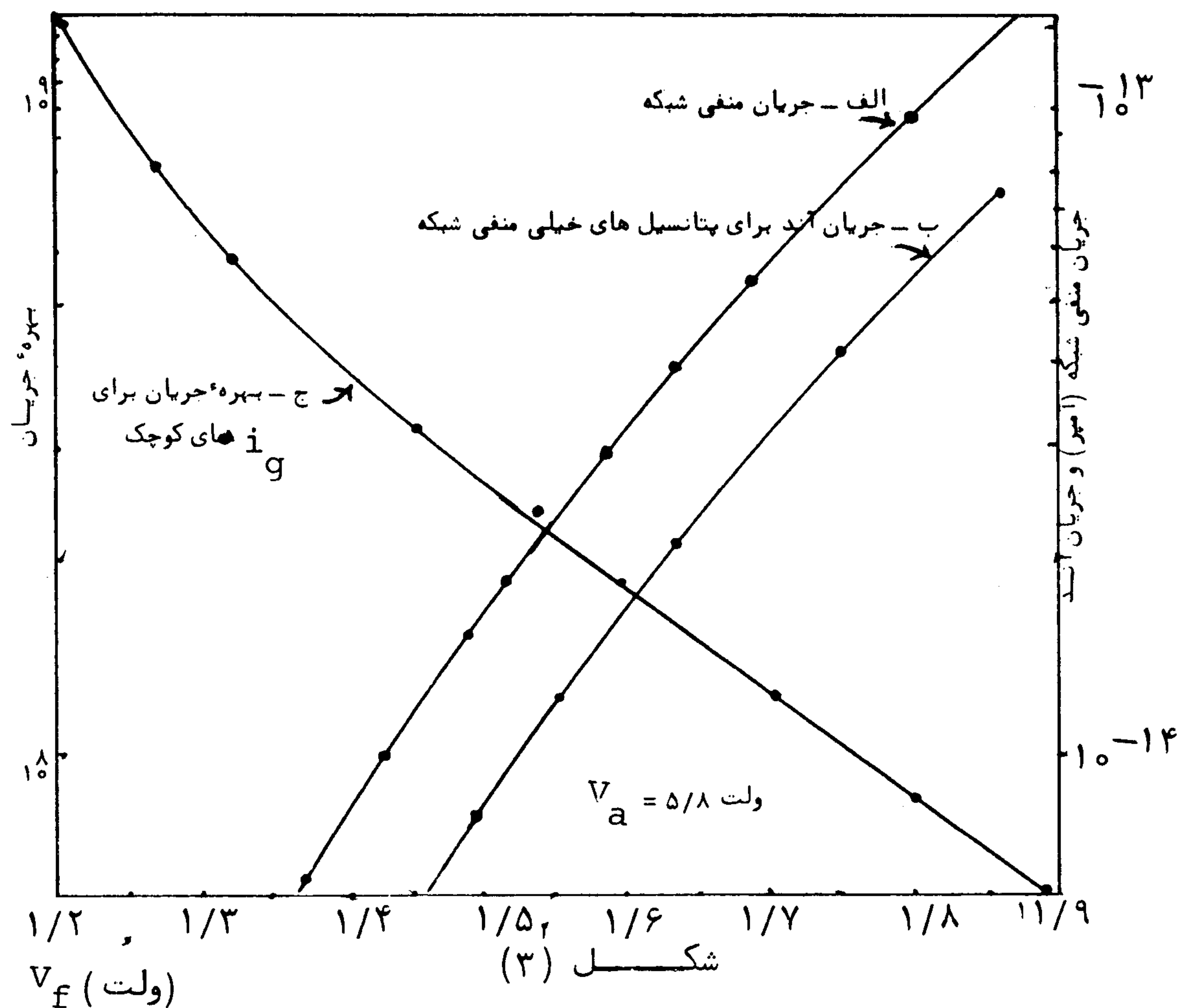


شکل (۱)



منحنی‌های مشخصه لامپ در حالت شبکه‌شناور برای چند ولتاژ مختلف میان دوسر رشته بیاری دستگاه ساخته شده تعیین شد که یک نمونه از آن در شکل (۲) دیده می‌شود. در این شکل تغییر پتانسیل تعادل شبکه بر حسب اختلاف پتانسیل آند - کاتد، جالب توجه است و ظاهراً "توجه آن چنین است: وقتی که اختلاف پتانسیل آند - کاتد کوچک است توانائی آند برای جذب الکترون‌ها کم است و در نتیجه تعداد نسبتاً زیادی از الکترون‌ها روی شبکه می‌نشینند و آنرا در پتانسیل پائین نگه می‌دارند. با افزایش پتانسیل آند کشش الکترون‌ها بسوی آن بیشتر می‌شود و تعداد کمتری روی شبکه می‌نشینند و پتانسیل آن بالا می‌رود. کاهش دوباره پتانسیل تعادل شبکه وقتی که پتانسیل آند خیلی بالاتر می‌رود به سبب نزدیک شدن بار فضای دور رشته به شبکه و غوطه‌ور شدن شبکه در قسمت متراکم آن است.

مرحله بعدی کار عبارت بود از بررسی جریان منفی شبکه و شرکت عوامل گوناگون در آن و رابطه آن با جریان رشته و غیره. برای سنجش جریان منفی شبکه، پس از تعیین ظرفیت میان الکتروود مرکزی محفظه یونیزاسیون و بدنه دستگاه، از زمان شارژ شدن این ظرفیت توسط جریان منفی استفاده شد. بدین ترتیب که الکتروود (شماره ۳ در شکل ۱) توسط سوزن (۹) به پتانسیل های منفی معینی نسبت به کاتد برده می شد و زمان شارژ شدن ظرفیت تا هنگامی که لامپ آغاز هدایت کرده و به شدت جریان معینی برسد، اندازه گیری می شد و اختلاف زمان ها مورد استفاده قرار می گرفت. نخستین نتایج چنین بود: در ناحیه آزمایش (پتانسیل شبکه از حدود ۲- تا ۲۰- ولت و پتانسیل آند از ۳ تا ۶ ولت) جریان منفی شبکه در حدود دقت سنجش ها مستقل از پتانسیل منفی آن و پتانسیل آند بود، ولی بشدت تابع جریان رشته یا دمای آن بود و تقریباً "بطور نمائی با آن تغییر می کرد". منحنی الف شکل (۳) این مطلب را نشان می دهد. در یک آزمایش جنبی که روی یک لامپ دو قطبی انجام گرفت تغییرات توان نورانی لامپ بر حسب جریان رشته رفتار مشابهی داد که البته از راه تئوری نیز این مطلب قابل توجیه است. از اینرو بنظر رسید که اثر فوتوالکتریک



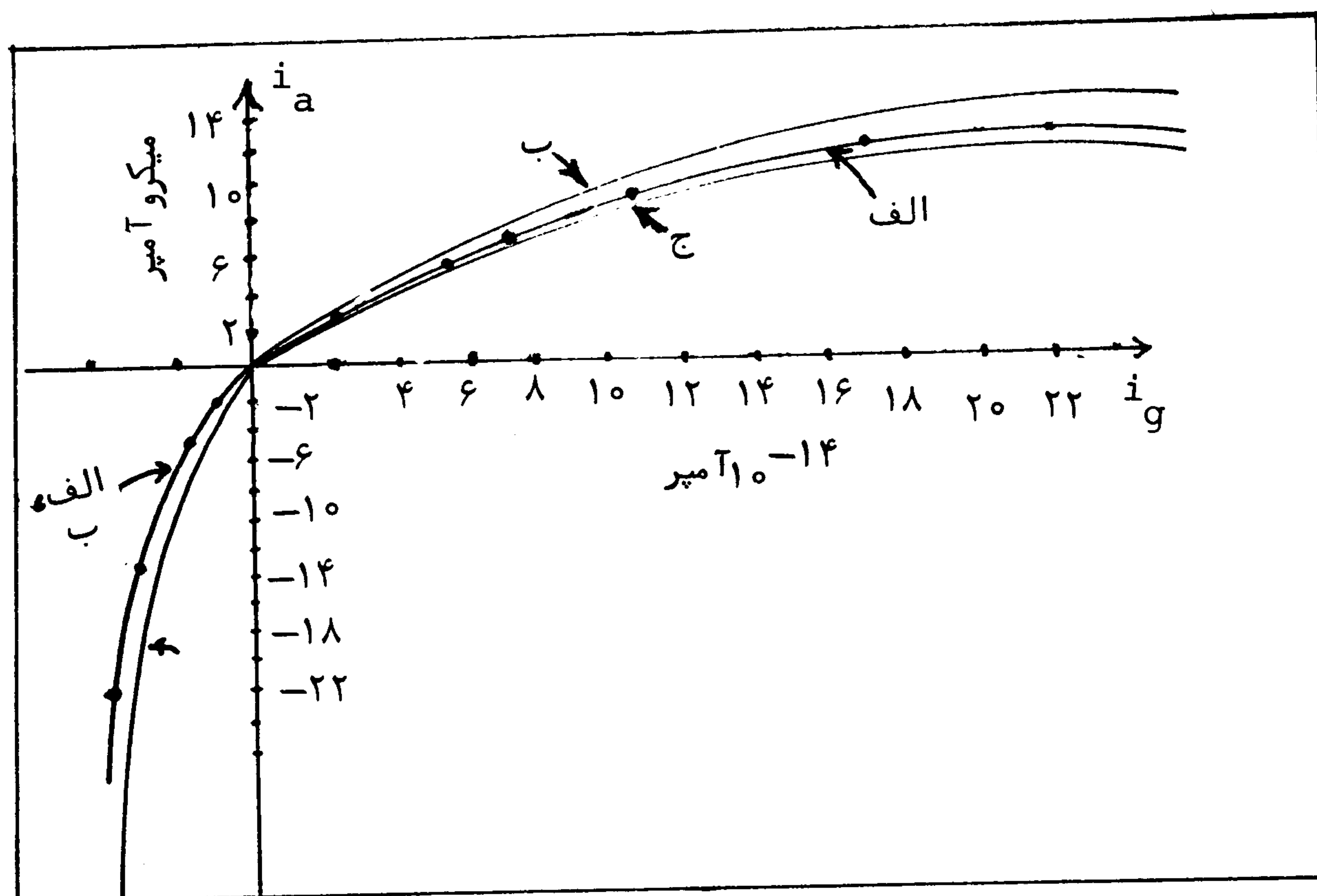
باید نقش عمده را در جریان منفی شبکه داشته باشد. لازم به توضیح است که سنجش توان تشعشی رشته الکتروود متر مستقیماً عملی نبود.

برای بررسی سهم عامل نشت در جریان منفی کافی بود که رشته را در ضمن یک آزمایش برای مدتی (عملاً ۱۰ دقیقه) خاموش کرده و دوباره روشن کنیم و تغییر زمان شارژ الکتروود (۳) را بسنجیم. از اینرو سهم جریان های نشتی در شرایط آزمایش کمتر از ۳ درصد بدست آمد که در حدود بیراهی سنجش ها است. آزمایش نشان داد که اثر ترمویونی مربوط به گرم شدن شبکه نیز باید ناچیز باشد، زیرا روشن ماندن لامپ به مدت مثلاً نیم ساعت برای گرم شدن شبکه افزایشی در جریان منفی آن بوجود نیامد. اثر لوز خارجی بررسی شد. این اثر وجود داشت ولی چون معمولاً الکتروود متر در محفظه سربسته قرار داشت اشکالی از این لحاظ در کار نبود.

دانستن این نکته که الکترون‌های کنده شده از شبکه به آند می‌روند یا به کاتد نیز سودمند بنظر رسید. برای این منظور لازم بود که جریان آند را در شرایطی که شبکه خیلی منفی باشد و عملاً "الکترونی از رشته به شبکه یا آند نرسد، بسنجیم این عمل توسط الکترومتر دیگری که قبلاً "پیش‌بینی شده و در دستگاه نصب شده بود انجام گرفت. نتیجه جالب بود: آند نیمی از جریان منفی یا اندکی بیشتر از نیم آنرا می‌برد. منحنی ب شکل ۳ آنرا نشان می‌دهد. از مجموع بررسی‌ها چنین نتیجه شد که اثر فوتوالکتریک حاصل از افروزش رشته عملاً "تنها عامل مؤثر در جریان منفی شبکه است، بشرط آنکه لامپ خوب ساخته شده باشد و بدقت بکار رود. اثر یاد شده در این مورد لزوماً "بمعنی کنده شدن الکترون از شبکه مستقیماً" توسط فوتون نیست، زیرا فوتون‌ها از طرف کاتد می‌تابند در حالیکه انتقال الکترون‌ها از شبکه تقریباً "بطور یکسان بسوی آند و کاتد صورت می‌گیرد. عمل را می‌توان چنین توجیه کرد: الکترونها در شبکه با جذب انرژی فوتون‌ها به ترازهای بالا در نوار رسانائی می‌روند و سپس برای تعداد کمی از آنها در لحظات مناسب خروج از شبکه، همانند گسل ترمویونی، رخ می‌دهد.

با توجه به مشاهدات یاد شده، بجای آنکه جریان منفی شبکه را یک عامل مزاحم بدانیم، بنظر می‌رسد که می‌توان آنرا با تثبیت شرایط ثابت کرده و بعنوان یک عامل سودمند از آن بهره‌گیری نمائیم. در عمل برای این منظور از دیوده‌های سیلیسی که منحنی مشخصه آنها ناحیه‌ای با شیب خیلی تند داشت استفاده شد که موازی با رشته لامپ قرار داده می‌شدند.

بهره جریانی - شکل (۴) نتیجه سنجش تغییرات جریان آند را بر حسب جریان شبکه در شرایطی که در همان شکل قید شده است، نشان می‌دهد. چنانکه دیده می‌شود اگر جریانی خارجی منفی باشد، حدی (در حدود 10^{-14} آمپر در شرایط آزمایش) برای آن وجود دارد که در آن حد جریانی خارجی جریانی منفی شبکه را بکلی خنثی می‌کند. در اینحال الکترون‌هایی که از رشته روی شبکه می‌نشینند پتانسیل آنرا آنقدر پایین می‌برند که لامپ بحالت قطع درمی‌آید. طبیعی است که حد یاد شده بستگی به دمای رشته دارد.



شکل (۴)

نکته قابل توجه دیگر این است که با کاهش جریان، بهره جریانی بگونه‌ای شبه‌نمایی افزایش می‌یابد (منحنی ج، شکل ۳)، البته زمان رسیدن به تعادل نیز درازتر می‌شود، مثلاً "برای بهره 4×10^9 به ده‌ها دقیقه می‌رسد. البته زمان یاد شده به ظرفیت ورودی بستگی دارد. توجیه این مطلب‌ها در تحلیل نظری خواهد آمد.

۳- تحلیل نظری :

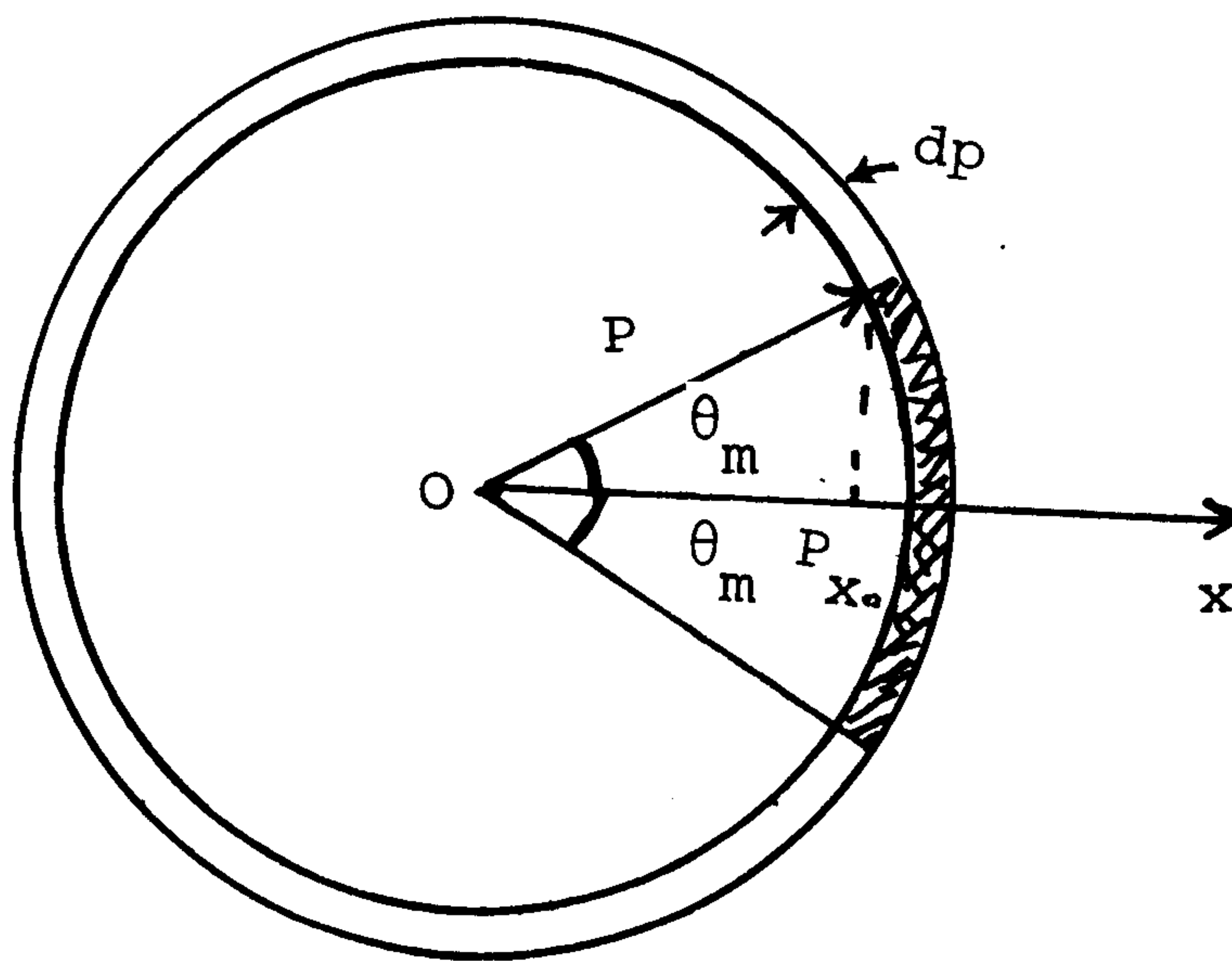
هدف تعیین رابطه میان پتانسیل و جریان شبکه و جریان آنداست. ابتدا به محاسبه جریان شبکه می پردازیم :
جریان ترمویونی از واحد سطح رشته لامپ با فرمول معروف ریچاردسون - داشمن بیان می شود .

$$I_s = A(1-r)T^2 \exp\left(-\frac{E_w}{kT}\right) \quad (1)$$

که در آن T دمای مطلق رشته، E_w تابع کار، k ضریب بولتزمن، r احتمال بازگشت الکترون از سطح بداخل، A ضریب فرمول و I_s چگالی جریان است. از الکترون هائی که این جریان را تشکیل می دهند برای آنهائی احتمال رسیدن به شبکه وجود دارد که انرژی لازم را برای گذشتن از پتانسیل دافعه آن داشته باشند. مسئله را می توان چنین طرح کرد: از الکترون های آزاد رشته گرم برای آنهائی احتمال بیرون آمدن و رسیدن به شبکه وجود دارد که اولاً "همنه عمودی اندازه حرکت آنها بزرگتر از مقدار معین P_{x0} بوده (چنانکه در محاسبه فرمول ریچاردسون + داشمن نیز آمده است) و ثانیاً "انرژی آنها بزرگتر از مقدار معین $E_1 = E_s - qV_g$ ، یا اندازه حرکت کلی آنها بزرگتر از $P = \sqrt{2mE_1}$ باشد، که در این رابطه ها V_g پتانسیل شبکه، q بار بنیادی و E_s مجموع انرژی فرمی و تابع کار و m جرم الکترون است. از ترازهای الکترونی آنهائی که اندازه حرکت مربوط به آنها میان P و $P+dp$ بوده و ضمناً "همنه عمود بر سطح بردار اندازه حرکت بزرگتر از P_{x0} است قسمتی از یک قشر کروی به کلفتی dp را در فضای اندازه حرکت ها اشغال می کنند که در شکل (۵) بصورت جزء هاشور زده دیده می شود. این قسمت توسط مخروطی که نیمه زاویه هرا θ_m آن $\theta_m = \arccos\left(\frac{P_{x0}}{P}\right)$ است معین می شود. احتمال وجود یک الکترون در تراز یا احتمال فرمی - دیراک را در شرایط مسئله ماکه ترازهای نسبتاً "بالا مورد نظر است می توان بصورت ساده شده $\exp\left[\frac{(E_F - E)}{RT}\right]$ نوشت. در این شرایط و با توجه به اینکه طبق نظریه الکترونی فلزات چگالی ترازها در فضای اندازه حرکت ها در واحد حجم فضای عادی برابر با $(2/h^3)$ است، شماره الکترون هائی که در واحد زمان از واحد سطح رشته و از جزء حجم مورد نظر در فضای اندازه حرکت ها بیرون می آیند چنین بدست می آید:

$$dN = \frac{4\pi}{mh^3} P^3 \exp\left[\frac{(E_F - E)}{kT}\right] dp \int_{\theta_m}^{\theta_m} \sin\theta \cdot \cos\theta \cdot d\theta \approx \quad (2)$$

$$\frac{2\pi}{mh^3} P(P^2 - P_{x0}^2) \exp\left[\frac{(E_F - E)}{kT}\right] dp$$



شکل (۵)

یا اگر آنرا بر حسب E بنویسیم:

$$dN = \frac{4\pi m}{h^3} (E - E_s) \exp[(E_F - E)/kT] \quad (3)$$

برای هر الکترونی که به شبکه می‌رسد احتمال α وجود دارد که روی شبکه بنشیند. میزان α تابع انرژی الکترون به هنگام رسیدن به شبکه و سوی حرکت آن به سطح فلز شبکه است. می‌توان نشان داد که اگر توزیع سوی حرکت الکترون‌ها نسبت به سطح شبکه برای همه انرژی‌ها به یک شکل باشد و نیز dN تابع نمایی نزولی از E باشد، میانگین α برای همه الکترون‌ها از یک انرژی آستانه E_1 تا ∞ تابع E_1 نخواهد بود. در مسئله ما شرط اول را بطور تقریب می‌پذیریم شرط دوم نیز چنانکه رابطه (۲) نشان می‌دهد بطور تقریب وجود دارد. پس با تقریب مستقل بودن α از E_1 و با توجه به اینکه $E_1 = E_s - qV_g$ است، تعداد کل الکترون‌هایی که در واحد زمان از واحد سطح رشته به شبکه منتقل می‌شوند و این تعداد معرف جریان خارجی شبکه با اضافه جریان منفی آن می‌باشد چنین محاسبه می‌شود:

$$N = \frac{4\pi m \alpha}{h^3} \int_{E_1}^{\infty} (E - E_s) \exp[(E_F - E)/kT] dE \approx B k T q V_g \exp(qV_g/kT) \quad (4)$$

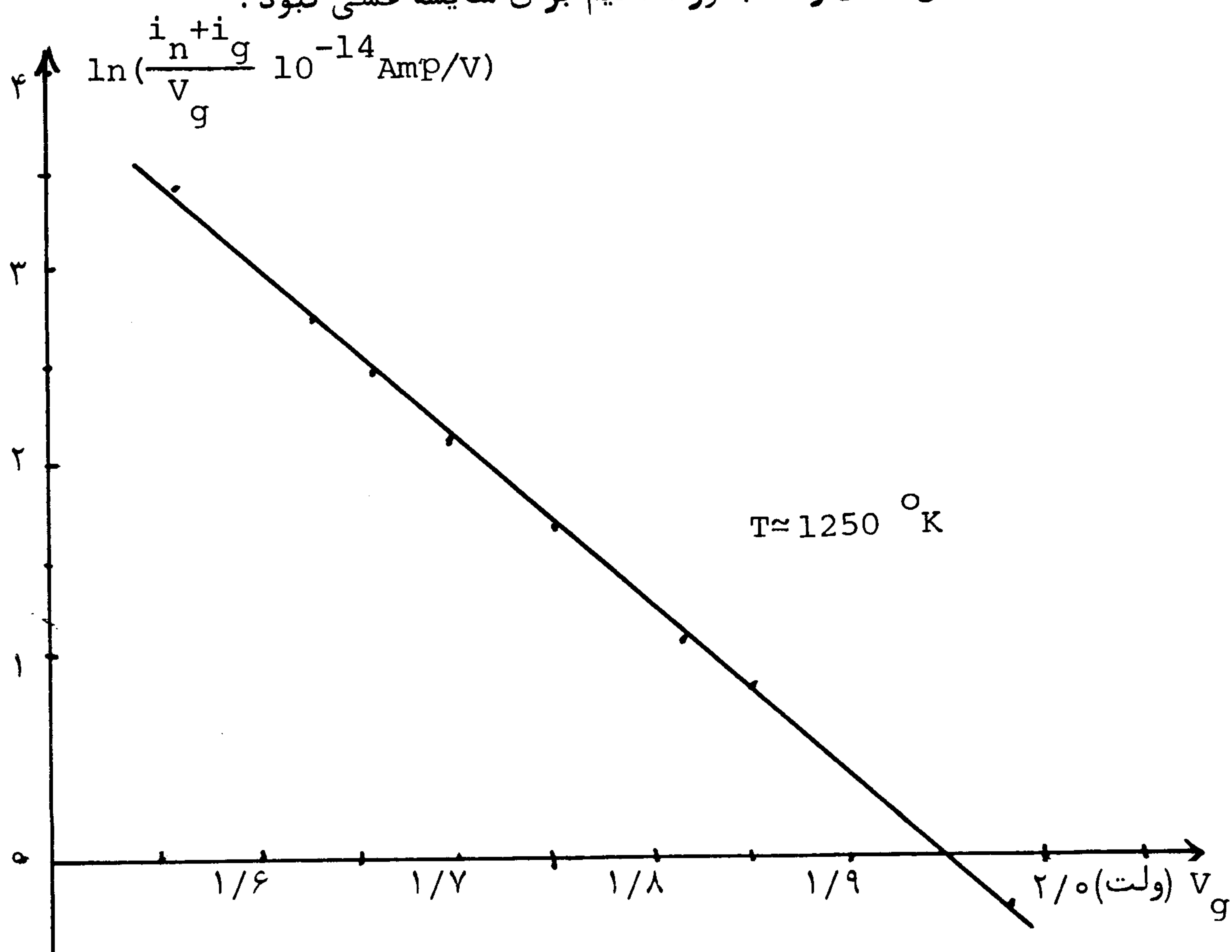
که در آن

$$B = - \frac{4\pi m \alpha}{h^3} \exp[(E_F - E_s)/kT] \quad (5)$$

لازم به یاد آوری است که در این رابطه‌ها احتمال عدم بازتاب الکترون‌ها از سطح رشته بداخل منظور نشده است. برای دخالت دادن آن کافی است که آنها را $(1 - r)$ ضرب کنیم. جریان خارجی شبکه را بر حسب V_g در دمای معین T می‌توان چنین نوشت:

$$I_g + I_n = c V_g \exp(qV_g/kT) - I_n \quad (6)$$

که در آن c ضریبی ثابت و I_n مقدار جریان منفی است. بنابراین رابطه اگر $\ln\left(\frac{I_g + I_n}{V_g}\right)$ را در یک دمای معین رشته بر حسب V_g رسم کنیم باید خط راستی بدست آید. نتایج یک سری اندازه‌گیری در شکل (۶) دیده می‌شود که نشان می‌دهد فرض ثابت بودن α در حدود دقت این سنجش‌ها منطقی است. از شیب منحنی مقدار kT در حدود 0.108 الکترون ولت و T در شرایط آزمایش $1250^\circ K$ بدست می‌آید که نیز منطقی بنظر می‌رسد. متأسفانه تعیین دمای رشته بطور مستقیم برای مقایسه عملی نبود.



شکل (۶)

از رابطه (۶) وقتی $I_g = 0$ باشد نتیجه می شود که :

$$I_g = I_n \left[\frac{V_g}{V_{g_0}} \exp (q \Delta V_g / kT) - 1 \right] \quad (7)$$

و از آنجا با قراردادن ΔV_g بجای $(V_g - V_{g_0})$ چنین داریم :

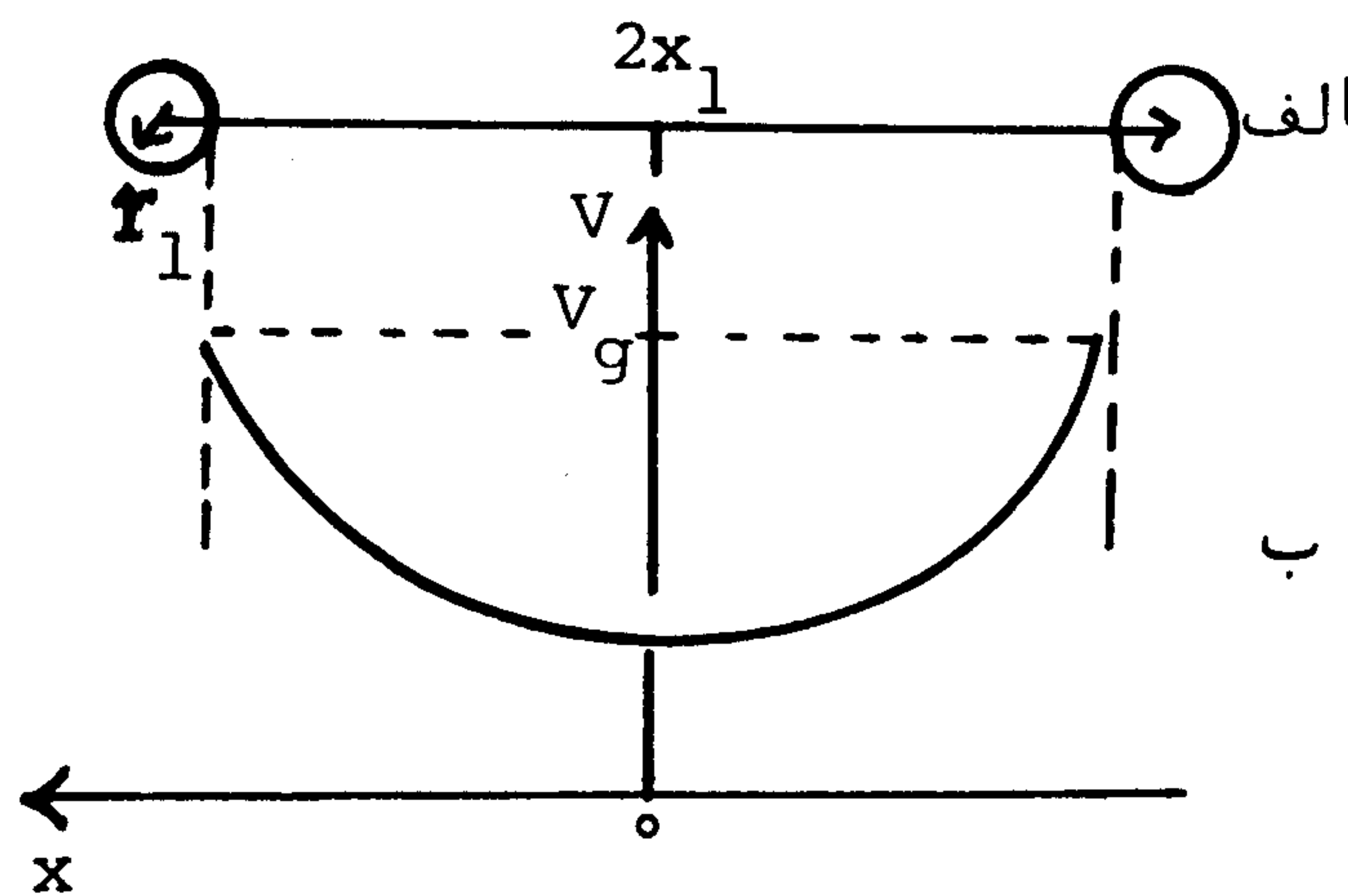
$$I_n = c V_{g_0} \exp (q V_{g_0} / kT) \quad (8)$$

در مورد جریان آند دو حالت زیر را جداگانه بررسی می کنیم :

حالت ۱ - پتانسیل شبکه خیلی منفی و در نتیجه جریان آند خیلی کوچک است . در این حالت باروشی نظیر روش بالا می توان عبارتی برای جریان آند بدست آورد . معمولا " طول رشته های شبکه نسبت به فاصله آنها از یکدیگر زیاد است ، بطوریکه اگر توزیع بار القاء شده را در طول هر رشته از شبکه یکنواخت بدانیم ، میدان مربوط به آن در نقاط مجاور بصورت $\frac{1}{r}$ و پتانسیل الکتریکی مربوط بصورت $\ln r$ تغییر می کند . اگر فاصله دو رشته مجاور را به $2x_1$ و قطر سیم رشته را به $2r_1$ نشان دهیم (شکل ۷ - الف) ، تغییرات پتانسیل حاصل از آنها در فاصله x میان آنها بصورت :

$$V = V_g \left[2 + \left(\ln \frac{r_1}{x_1 - x} \right) / \left(\ln \frac{2x_1 - r_1}{r_1} \right) \right] \quad (9)$$

بیان می شود که در آن x فاصله از حد وسط دو رشته است . نمایش این رابطه در شکل ۷ - ب آمده است . گرچه فرض یکنواخت بودن توزیع بار در طول رشته های شبکه دقیقا " درست نیست ولی بطور کیفی می توان گفت که تغییرات پتانسیل در فاصله هر دو رشته شکل منحنی یاد شده را دارد . چنانکه دیده می شود کف این منحنی یک قسمت نزدیک به تخت دارد . این قسمت کانالی تشکیل می دهد که قسمت عمده الکترون هائی که به آند می روند از آنجا می گذرند



شکل (۷)

و به دلیل نمانعی بودن توزیع انرژی الکترون ها تعداد آنهائی که از نقاط بیرون کانال دارای پتانسیل بالاتر می گذرند بسیار کم است . با این توضیح اگر پتانسیل میانگین مناسبی بصورت fV_g برای این کانال تعریف کنیم $(f < 1)$ ، رابطه ای مشابه رابطه (۶) برای جریان آند بدست می آید با این تفاوت که در اینجا جمله ای نظیر I_n وجود ندارد :

$$(10)$$

و اگر جریان تعادلی آند را به I_{a_0} نشان دهیم چنین خواهیم داشت :

(۱۱)

منحنی ب شکل ۴ برپایه دو رابطه (۸) و (۱۱) رسم شده است. مقدار ضریب f از قسمت منفی منحنی تجربی برابر با $0/27$ بدست می آید. انطباق قسمت منفی منحنی ب با منحنی تجربی (الف) جالب توجه است. ولی قسمت مثبت آن انحراف می یابد زیرا شرایط قید شده در بالا در آن ناحیه وجود ندارد.

حالت ۲ - جریان آند نسبتاً بالا است. در این حالت چنانکه می دانیم در لامپ های ترمیونی $(I_a - I_{a0})$ تقریباً متناسب با ΔV_g است، یعنی:

(۱۲)

چون آنرا با (۸) ترکیب کنیم خواهیم داشت:

(۱۳)

و اگر $I_n \gg I_g$ باشد.

(۱۴)

منحنی ج شکل ۴ برپایه رابطه (۱۳) رسم شده است که قسمت مثبت آن بخوبی با منحنی تجربی توافق دارد. بنابه رابطه (۱۴) برای I_g های خیلی کوچک

(۱۵)

که نشان می دهد بهره تقویت جریان نسبت عکس با I_n دارد. برای کم کردن I_n باید دمای رشته را پائین تر آورد.

حساسیت:

بررسی ها چنانکه ارائه شد نشان داد که دست یابی به بهره جریانی در حدود 10^9 در الکترومتر ترمیونی بحالت شبکه شناور عملی است. برای مرحله دوم تقویت در دستگاه ساخته شده از یک تقویت کننده عملیاتی با مدار یکپارچه و مقاومت فیدبک $1 M\Omega$ استفاده شده است. بدین ترتیب بهره کلی دستگاه تا حدود $10^{-18} A / 1 mV$ می رسد. بالاتر بردن بهره مرحله دوم بیهوده است زیرا آنچه که حد حساسیت دستگاه را تعیین می کند درجه پایدار ماندن جریان لامپ است. در نمونه ساخته شده خطای میانگین در پتانسیل خروجی در حدود $18 mV$ بدست آمده که مربوط به $10^{-17} \times 1/8$ آمپر در جریان ورودی است. این حد حساسیت دستگاه است و شاید جلوتر بردن آن با استفاده از لامپ های بهتر ممکن باشد.

۴ - کاربرد و نتیجه گیری:

دستگاه ساخته شده برای بررسی یونیزاسیون هوا حاصل از رادیواکتیویته محیط و پرتوهای کیهانی بکار برده شد. میانگین جریان حاصل از این یونیزاسیون را در سطح زمین در حدود $10^{-16} A \times 7/6$ برهرلیتر هوا ذکر کرده اند و در گذشته برای سنجش آن از اطاقک های با حجم زیاد یا فشار بالا استفاده شده است (۷). دستگاه فعلی با اطاقک یک لیتری در فشار متعارف حساسیت کافی برای چنین سنجش را دارد.

دستگاه در زیرزمینی که کف آن در حدود ۶ متر پائین از کف زمین بود بکار برده شد، که کاهش در میزان یونیزاسیون طبیعی بخوبی قابل مشاهده بود.

لازم به توضیح است که هدف بررسی کارائی روش بوده است و آزمایش های انجام شده برای تعیین حدود حساسیت دستگاه صوت گرفته است و گرنه برای بدست آوردن میزان درست یونیزاسیون لازم است که دیواره اطاقک یونیزاسیون از مواد مناسب و مخصوصی ساخته شده باشد.

جواب دهی دستگاه بهنگام ورود ذرات باردار پرانرژی کیهانی بسیار قوی است، بویژه اگر با بهره بالا بکار انداخته شود. بنابراین نه تنها می توان از چنین وسیله برای سنجش انرژی آن ذرات استفاده کرد بلکه

از این طریق بدست آوردن اطلاعات دیگر مثلاً "درباره" مقطع موثر واکنش‌های مربوط به آنها یا سوی حرکت آنها نیز امکان دارد.

به عنوان یادآوری برخی دیگر از کاربردهای وسیله بسیار حساس سنجش جریان می‌توان به بررسی‌های مربوط به مقاومت ویژه عایق‌ها و تغییرات آنها در اثر عوامل گوناگون اشاره کرد. در مطالعه بینایی اثر فوتوالکتریک نیز نیاز به چنین وسیله‌ای است.

شرح شکل‌ها

- شکل (۱) - شمای دستگاه . ۱ - اطاقک یونیزاسیون . ۲ - لامپ الکترومتر . ۳ - الکترودمرکزی
 ۴ - حلقه محافظ . ۵ و ۶ و ۷ - عایق پلی اتیلن . ۸ - دگمه برای تماس سوزن ۹ با الکترودمرکزی .
 ۹ - سوزن تماس . ۱۰ - بدنه فلزی اطاقک . ۱۱ - حفاظ الکتروستاتیکی . ۱۲ - مجرای سیم‌های ارتباط .
 ۱۳ - قسمت مدارهای تغذیه و تقویت مرحله دوم و بخش . ۱۴ - حفاظ الکتروستاتیکی مجموعه .

شکل (۲) - منحنی مشخصه الکترومتر مربوط به حالت شبکه شناور

شکل (۳) - تغییرات بهره جریان و جریان منفی شبکه بر حسب پتانسیل دو سر رشته لامپ

شکل (۴) - تغییرات جریان آند بر حسب جریان خارجی شبکه

شکل (۵) - جزء حجم در فضای اندازه حرکت‌ها

شکل (۶) - منحنی تجربی تغییرات $\ln\left(\frac{I_g + I_n}{V}\right)$ بر حسب V_g

شکل (۷) شمای تغییرات پتانسیل الکتریکی V_g در فاصله میان دو رشته متوالی شبکه.

References

- 1) SNELL, A.H., Nuclear Instruments and their uses. John Wiley & Sons, 1962.
P 208.
- 2) International Atomic Energy Agency, Electrometers, TI-52, 1976. (microfish)
- 3) KIFFER, H., MAUSHA, R., Radiation Protection Measurements, Pergamon Press,
1972, PP. 14-15.
- 4) PRICE, W.J., Nuclear Radiation Detection, Mc Graw-Hill, 1964, PP. 83-86,
95-96.
- 5) BANNER, E.H.W., Electronis Measuring Instruments, Chapman & Hall, 1958, pp.
223-334.
- 6) SHONKA, F.R., New Electrometer of High Sensitirity, Rev. of Scientific
Instrs. 1964, 35, 1046,
- 7) ATTIX, F.H., TOCHILAN, E., Radiation Dosimetry, Academic Press, 1969, P 426.