مجلـة جامعـة تشرين للدراسـات والبحـوث العلمية
المجلـد ٥ - العـدد ٤ مـن ٥٩ إلـى ٧٢

ربيع الأول ١٤٠٣هـ
كانون الأول ١٩٨٢م

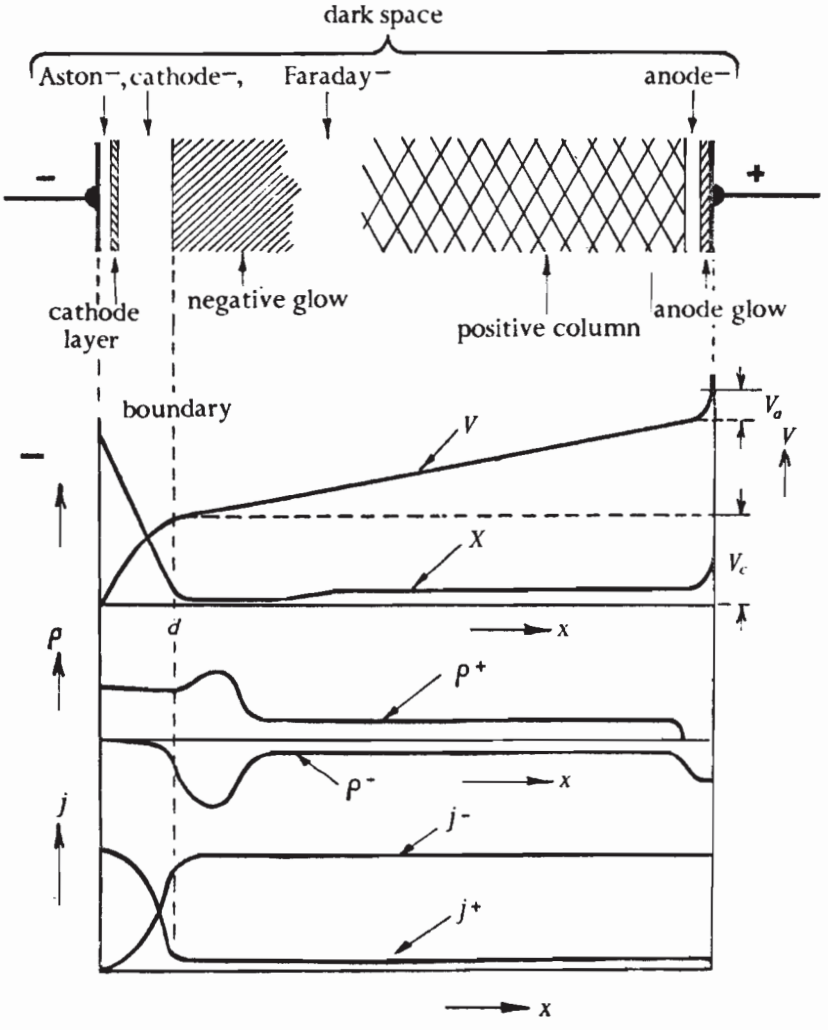
الأشعاع الناتج عن الانفراغ في الانابيب المجوفة .

الدكتور ابراهيم بلال
كلية العلوم

سندرس في هذا البحث كيفية حدوث الانفراغ في الأنانيب المجوفة ومن ثم سنعطي فكرة عن استخدام هذه الأنابيب في الحصـول على ليزر بخـار المعـادن مثـل ليزر He-cd, He-Se, He-Hg, He-Zn .

١- مقدمة عامة عن انفراغ الغازات :

عندما نتكلم عن أنفراغ الغازات فاننا نفترض وجود غاز ما في انبوب زجاجي في طرفيه قطبان هي المهبط والمصعد . ويحدث الأنفراغ نتيجة اصطدام الالكترونات بذرات الغاز مما يؤدي إلى توهج الأنبوب وأشعاعه ضوءاً موزعاً كما في الشكل (١) .



الشكل (١) ويظهر فيه المناطق المختلفة للأنفراغ وتوزع الجهد والحقل والشحنه وكثافة التيار في كل منطقة .

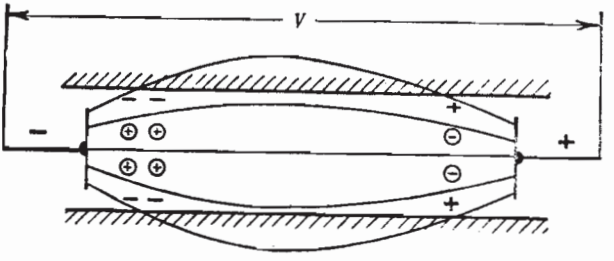
أن الحدود الفاصلة بين المناطق المبينه في الشكل (١) تزول تحت شروط معينه . كما أن هذه المناطق قد تتداخل مع بعضها في الأطراف وهي تختلف من نوع إلى آخر . ونطلق على الأنفراغ المذكور اسم الأنفراغ التوهجي . وهو يختلف بأختلاف الغاز والضغط وأبعاد انبوب الأنفراغ ونوع معدن المهبط والمصعد والمسافة الفاصله بينهما .

إن انتقال التوهج داخل أنبوب الانفراغ يحصل نتيجة حركة الالكترونات والشوارد على طول محوره ونتيجة لدفع الحقل الكهربائي المحوري للجسيمات المشحونه (الالكترونات والشوارد) ولكي نفهم هذه الحركة . لنأخذ الكتروناً يخرج من المهبط حيث يتسارع داخل الحقل الكهربائي الشديد بجانب المهبط . ولكن نظراً لكون شدة الحقل عاليه فان قدرة الالكترون على الأصطدام قليلة ولكن هذه القدرة تزداد كلما أستمر الالكترون في السير باتجاه مركز الأنبوب لأن شدة الحقل تصغر ونتيجة للأصطدام فانه يحدث تشرداً للذرات المعتدله مما يؤدي إلى تكون عدد جديد من الالكترونات والشوارد . وهذه الشوارد تعود ثانية إلى المهبط لتولد الكترونات جديدة . ويحصل الاستقرار في الأنبوب عندما يستطيع الالكترون الخارج من المهبط أن يولد بوساطة التشرد الكتروناً جديداً . ولما كانت طاقة الالكترونات تابعه لبعدها عن سطح المهبط فان الأشعاع سيختلف تبعاً لذلك ولذا تزداد شدة الأشعاع بأقترابنا من المنطقة الموجبة أو السالبة .

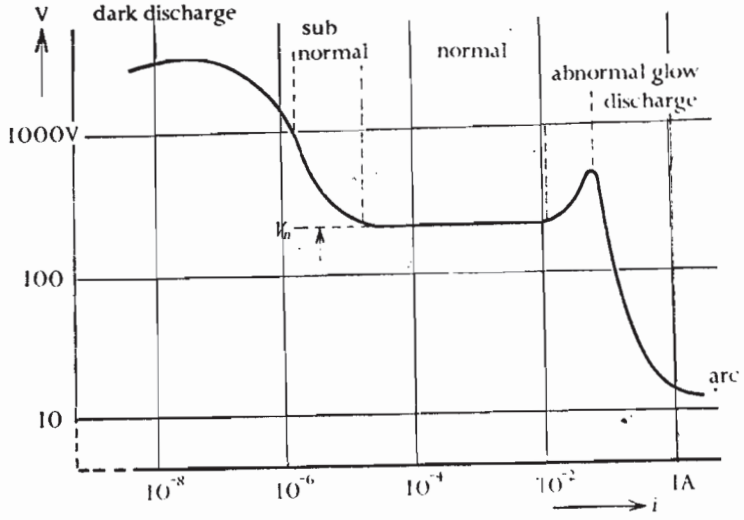
بعد أن تخرج الالكترونات من منطقة المهبط فإنها تدخل منطقة التوهج السالب والالكترونات التي دخلت هذه المنطقة مؤلفة من فئتين ، فئه طاقتها عاليه وفئة طاقتها ضعيفه . وهذه الالكترونات تساهم في زيادة الأشعاع والتشرد . ولكن في نهاية المنطقة السالبة تخسر الالكترونات معظم طاقتها ولا تقدر على المزيد من التهيج (الأشعاع) والتشرد . لذلك تظهر منطقة معتمه تسمى منطقة فاراداي : أما في المنطقة الموجبة فان الحقل الكهربائي يبقى ثابتاً وأصغر بكثير مما هو في منطقة المهبط . ولذا فان عدد الألكترونات يساوي عدد الشوارد ولكن بما أن حركية الالكترونات أكبر بكثير من حركية الشوارد فإن الالكترونات هي حاملة لتيار الأنفراغ . ونتيجة للحركة العشوائيه للجسيمات المشحونه فان مقداراً من التهييج والتشرد يحصل وتبدو هذه المنطقة وكأنها متوهجة ، أما في منطقة المصعد فان الالكترونات تجذب بوساطة الحقل الكهربائي الشديد نسبياً مما يؤدي إلى تشكل منطقة سالبه بجوار المصعد وبالتالي ارتفاع بسيط في قيمة الحقل مما يزيد من تسارع الالكترونات وبالتالي زيادة قدرتها على التهيج فيبدو المصعد وكأنه محاط بهالة مضيئة .

إن المناطق المبينة في الشكل (١) لا تبدو بوضوح إلا تحت ضغوط منخفضه (أي أصغر من 1 torr حيث 1 torr = 1 mmHg) وتيارات منخفضة (أصغر من 1 mA) . أما في حالة الضغوط العادية (1- 20 torr) والتيارات المعتدلة (1- 200mA) فان المنطقة الموجبة تغطي القسم الأكبر من التوهج ولا يبدو أثر لأي منطقة أخرى سوى جزء معتم صغير بجانب المهبط . لذا غالباً ما يطلق على الانفراغ التوهجي اسم الانفراغ ذا العمود الموجب .

إن الانفراغ التوهجي لايحدث إلا إذا طبقنا فرقاً في الكمون بين القطبين المذكورين فإذا كان فرق الكمون صغيراً فأننا نلاحظ تولد تيار صغير من رتبة $1\ nA = 10^{-9} A$. وهذا التيار ينتج من اصطدام الأشعة الكونيه (التي يفترض أنها موجودة في الأنبوب) مع المهبط . وعندما نزيد فرق الكمون فان التشرد يزداد وترتفع قيمة التيار الجاري . وفي الوقت نفسه فان جزءاً من الالكترونات ينجرف إلى الجدار للتعادل مع الشوارد . أنظر الشكل (٢) . أما الشوارد فتتجه نحو المصعد . أي أن الغالبيه العظمى من الشحنات تتحرك باتجاه القطب الملائم ونتيجة لذلك فان حقلاً كهربائياً يتولد لكي ينظم توقف الشوارد باتجاه الجدار . وعندما نزيد فرق الكمون أكثر فان وجود الشحنه الكهربائيه بجوار الجدار ينزع الشكل الخطي للحقل وبالتالي يمكن أن نقول أنه عندما يكون الجهد المطبق صغيراً فان شدة الحقل الكهربائي تتحدد بمقدار الشحنه على الجدران ومن شحنة الفراغ عند القطبين وفي هذه الحالة تكون قيمة التيار كافية كي يحدث الانتقال إلى حالة التوهج العادي . أنظر الشكل (٣) .



الشكل (٢) ويظهر فيه توزع الشحنات بجوار القطبين وعلى جدران الأنبوب



الشكل (٣) ويظهر فيه نوع الأنفراغ بحسب شدة التيار .

٢ ـ العوامل الأساسية التي تساهم في انفراغ الغاز :

إذا فرضنا أن الأنبوب الذي يحدث فيه الأنفراغ أسطواني الشكل وأن عرض منطقة المهبط dn فان فرق الكمون Vn في هذه المنطقة يعطى بالعلاقة :

$$Vn = \frac{1}{\eta} \ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \qquad (1)$$

حيث η مقدار الشوارد من أجل كل الكترون ومن أجل كل فولت في فرق الجهد و $\frac{1}{\gamma}$ مقدار الشوارد الواردة على المهبط ، أو في معظم الحالات يكون $\eta = 50$ من أجل كل شاردة $\gamma = 10^{-3}$ وبالتالي $Vn = 300V$. ومن جهة ثانية فان عرض منطقة المهبط مضروباً بالضغط يعطى العلاقة

$$Pdn = \frac{1}{\alpha / p} \cdot \ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \qquad (2)$$

حيث α مقدار الشوارد الناتجة من أجل كل الكترون في مسافة طولها 1 cm . ومن أجل $\frac{\alpha}{p} = 10$ و $\gamma = 10^{-3}$ و $P = 1$ torr فان $dn = 7mm$. أما كثافة التيار الكهربائي Jn

مقسوما على مربع الضغط P2 فيعطى بالعلاقة

$$\frac{Jn}{p^2} = (K^+P) \cdot V\dot{n}^2 \cdot (Pdn)^3 \qquad (3)$$

حيث K^+ حركية الشوارد . مثلاً من أجل $P = 10$ P.S.U و K و $Vn = e.S.U$ و $Pd = 1cm$

و $P = 1$ torr فان $Jn = 10^5 e.S.U = 10^{-4} A.cm^{-2}$

إن العلاقات السابقة بالاضافة الى الافتراض بأن الحقل الكهربائي شديد وخطي في منطقة المهبط وأنه ثابت وصغير في المنطقة الموجبة تعطي فكرة فيزيائية جيدة عن كيفية حصول الأنفراغ ولكن هذه الصوره ليست كاملة بسبب وجود عدداً من التفاعلات الثانوية التي لا تهمنا في الوقت الحاضر .

بالاضافة إلى الانفراغ التوهجي هناك نوع آخر من الأنفراغ هو الانفراغ الوميضي . الذي يحدث لفترة زمنية قصيرة . ولكن حدوث هذا الأنفراغ يتطلب كثافة تيار عالية جداً بالمقارنة مع الحالة التوهجية . فبينما في الحالة الأولى تكون كثافة التيار أصغر بكثير من $1\ A\ cm^{-2}$ فانه في الانفراغ الوميضي تكون كثافة التيار بحدود $1s\ A\ cm^{-2}$. كما أن الانفراغ الوميضي يختلف عن التوهجي في العديد من الصفات التي لا يتسع المجال لذكرها . ولكن يجب ان ننوه إلى أهمية الأنفراغ الوميضي في ليزر الأجسام الصلبة . اذ يستعمل كمضخة ضوئية تساهم في تكوين التوزع المعاكس المهم جداً في الليزر .

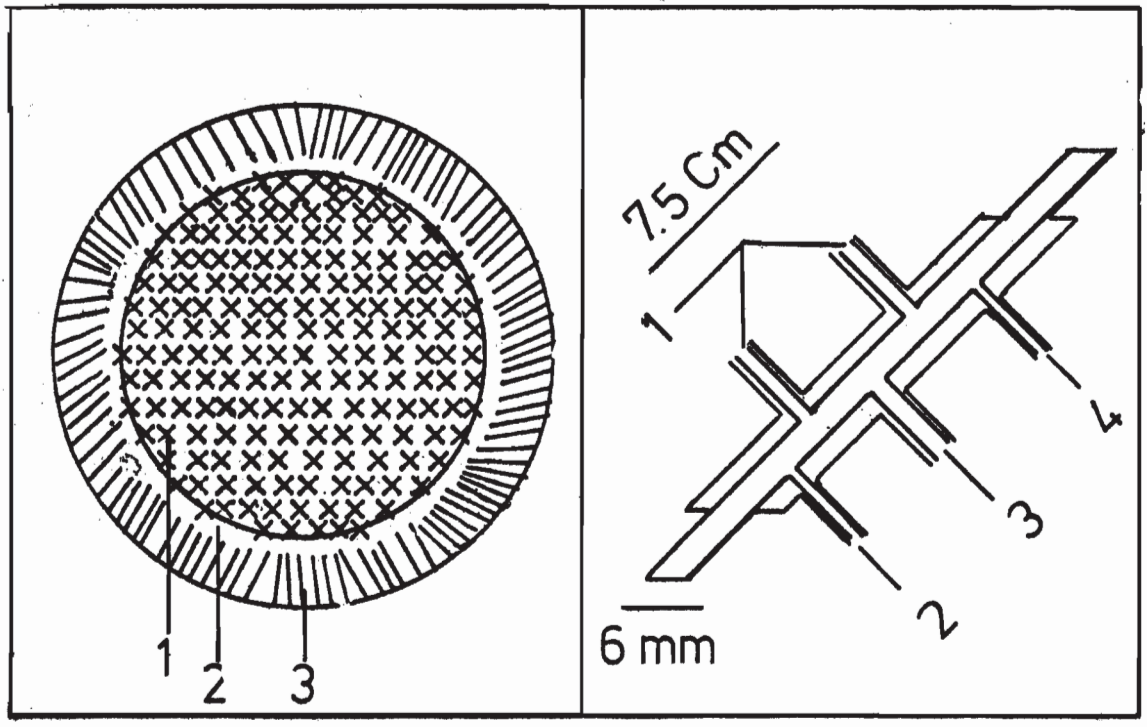
٣ ـ الأنفراغ في الأنابيب المجوفه :

يقصد بأنابيب الأنفراغ المجوفة بأنها الانابيب المعدنيه التي يحدث فيها الأنفراغ بشكل قطري أي من الجدار باتجاه المركز . بعكس الأنابيب ذات العمود الموجب التي يحدث فيها الانفراغ طولياً . أي على طول الأنبوب ما بين المهبط والمصعد والشكل(4) يبين لنا أنبوب أنفراغ مجوف ومقطع عرضي فيه :

ويتميز الأنفراغ في هذه الأنابيب بالصفات التالية :

١ ـ يتغير فرق الكمون بجوار الجدار مع الضغط بصورة مميزة حيث يتزايد من أجل ضغط منخفض وتصبح قيمته مماثله لقيمته في المنطقه السالبة . وأعظم قيمة لفرق الكمون تحدث عندما يكون الضغط بحدود 7 - 8 torr .

٢ ـ أن فرق الكمون يتغير مع بقاء التيار ثابتاً وتغير الضغط ولكن بشرط تهيئة الأنبوب بشكل مناسب .



الشكل (٤) ويبين الأنبوب المجوف ومقطع عرضي فيه .

٣ـ ان كثافة الذرات الشبه مستقرة الأحادية والثلاثيه تظهر سلوكية مختلفة في تابعيتها للتيار والضغط .ففيما تزداد كثافة الذرات الثلاثية خطياً بزيادة التيار فان كثافة الذرات الأحادية تصل إلى حالة الاشباع من أجل تيار أكبر من40mA . وبينما تتبع كثافة السويات الثلاثية هبوط الكمون في تابعيتها للضغط فان كثافة الذرات الأحادية تصل إلى حد الأشباع من أجل ضغوط أكبر من2torr .

٤ ـ أن كثافة الالكترونات في الأنابيب المجوفة تزيد مثيلاتها في أنابيب الأنفراغ ذات العمود الموجب بمقدار مئة مرة . كما أن كثافة الألكترونات في هذا النوع من الأنفراغ تزداد خطياً بزيادة التيار وتتبع هبوط الكمون في تابعتها لضغط الغاز .

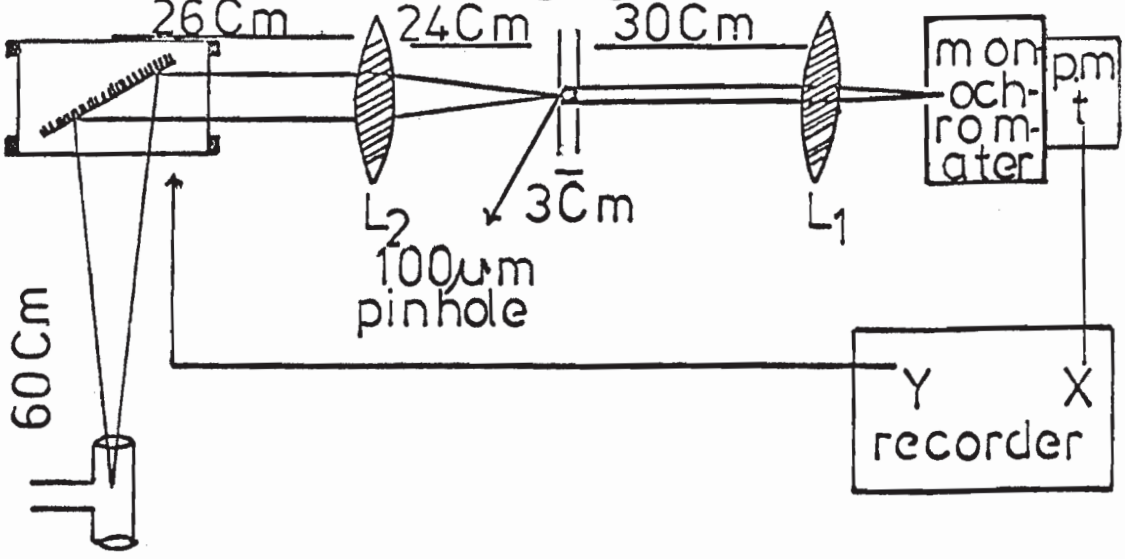
٥ ـ أن درجة حرارة الغاز في هذه الأنابيب منخفضه (بحدودk 600 -400) وتبقى ثابتة تقريبا بتغير الضغط وشدة التيار . وهذا يعني أن أثر مفعول ذو بلر في هذه الأنابيب صغير وبالتالي فان الخطوط الطيفية تكون نقية . مما يعني أن هذه الأنابيب يمكن استخدامها كمنابع ضوئية ممتازه للدراسات الطيفيه .

٦ ـ أن كثافة التيار في هذه الأنابيب تبلغ 10^{-2} A. cm^{-2} وهذا يعني أنها أكبر بكثير من مثيلاتها في أنابيب الأنفراغ ذات العمود الموجب .

٧ ـ أن المنطقة السالبة في هذا النوع من الأنابيب تتغير قليلاً بتغير التيار والضغط بينما يبقى ثابتاً في أنابيب الأنفراغ ذات العمود الموجب . مما يعني أننا نستطيع اختيار الأنفراغ المطلوب حسب الشروط المناسبة .

لقد بينا في بحثين سابقين أهمية النتائج السابقة في الحصول على ليزر ذا استطاعة عالية ، وبخاصة أهمية السويات الثلاثية والأحادية الشبه مستقرة وأهمية كثافة الالكترونات . وسنبين في هذا البحث أهمية الأشعاع الصادر عن انتقالات الهليوم المعتدل والمتشرد . وللقيام بذلك سندرس تغير شدة الانتقالات $3876A^{o}, 5016A^{o}, 3889A^{o}$ الصادرة عن الهليوم المعتدل والأنتقالين $6560A^{o}, 4686A^{o}$ الصادرين عن الهليوم المتشرد كتابع لتغير شدة التيار والضغط . كما سندرس تغير شدة هذه الأنتقالات قطرياً كي نستطيع الحصول على معلومات عن توزيع طاقة الألكترونات الأولية (التي تنشأ في المنطقة المظلمة) وتغير طاقتها أثناء مسيرها في الجدار باتجاه المركز .

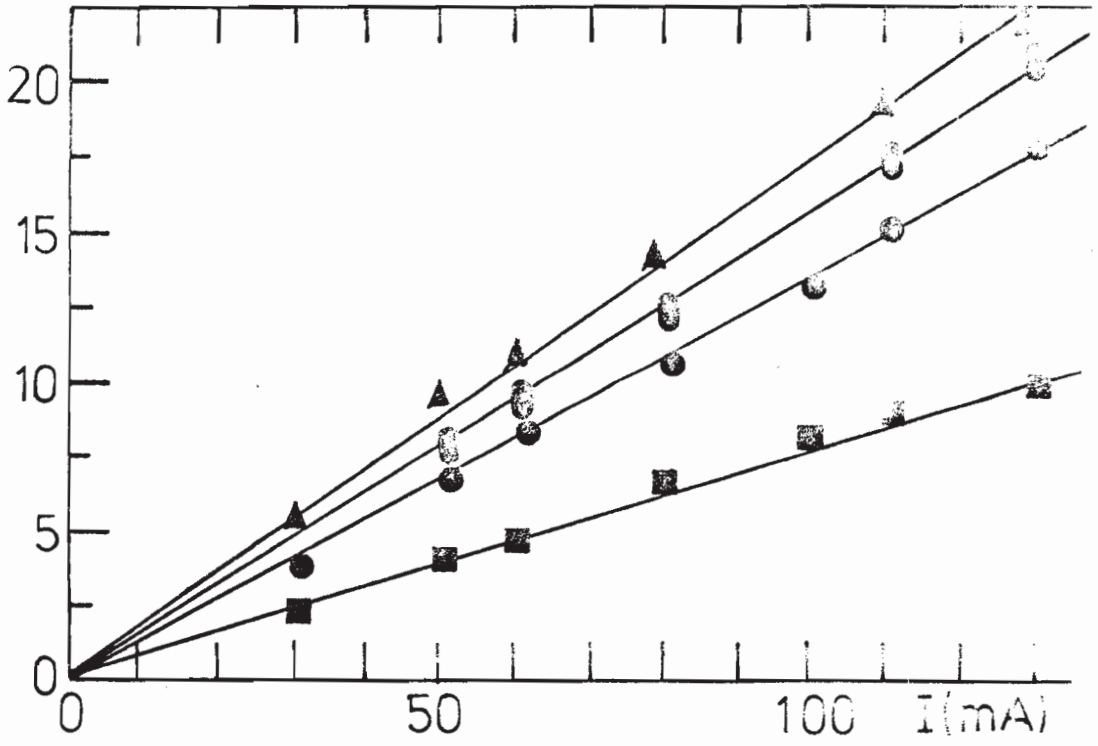
لقد استخدمنا أثناء دراستنا الجملة الضوئية المبينة في الشكل (٥) حيث أستعملت عدسة لا لونيه لازالة أثر الزيوغ اللونية كما أمكن ألغاء التشويه الناتج عن الأجهزة باستخدام أنابيب أنفراغ ذات أقطار مناسبة . أما أثر الأمتصاص الذاتي فقد كان صغيراً جداً في الجملة المدورسة ولا يتجاوز 7% من قيمة الأشعاع الناتج .



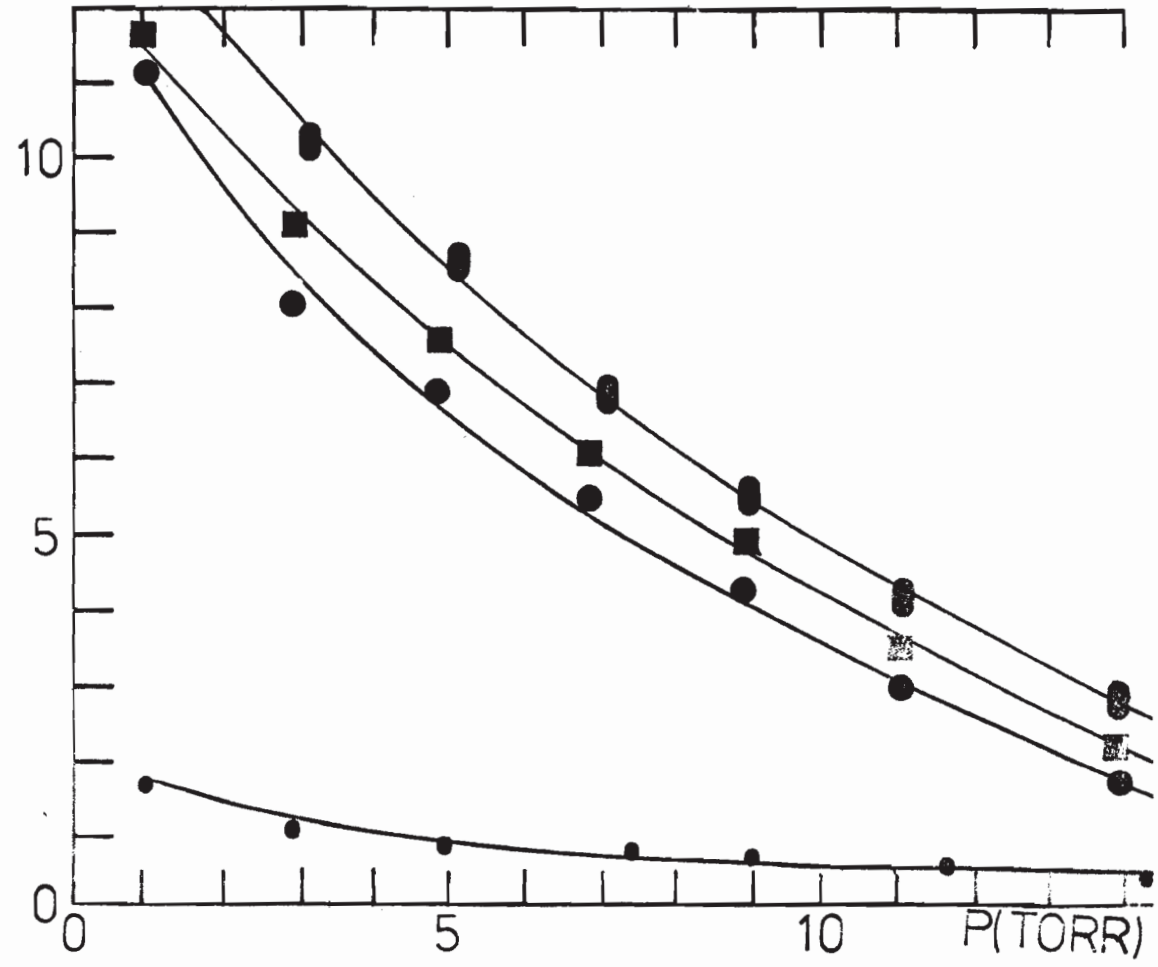
الشكل (٥) يبين الجملة الضوئية المستعملة

٤ ـ تغير شدة الاشعاع يتغير التيار والضغط :

إن اشعاع الانتقالات السابقة كتابع للتيار وللضغط يشاهد في الشكل(6) حيث نجد أنه من أجل ضغط ثابت فان الاشعاع يزداد خطياً بزيادة التيار . وتشير التابعية الخطية إلى أن أهلية السويات العليا للانتقالات تتبع شدة التيار خطياً أي أن اهلية السويات المتهيجة والمتشردة تتبع كثافة السويات شبه المستقرة الثلاثية وكثافة الالكترونات . من جهة ثانية فإن شدة الاشعاع تتناقص بزيادة الضغط من أجل تيار ثابت . وهذا السلوك يمكن أن يتقارن بسلوك كثافة الالكترونات والسويات الشبه مستقرة الثلاثية في تابعيتها للضغط ،، ومن الملفت للنظر أن شدة انتقالات الهليوم المعتدل والتي تحتاج لتهيجها الى الكترونات طاقتها بحدود 20ev وانتقالات الهليوم المتشرد والتي تحتاج تهيجتها اى الكترونات طاقتها بحدود 50 ev . لها السلوك نفسه في تابعيتها للتيار والضغط .



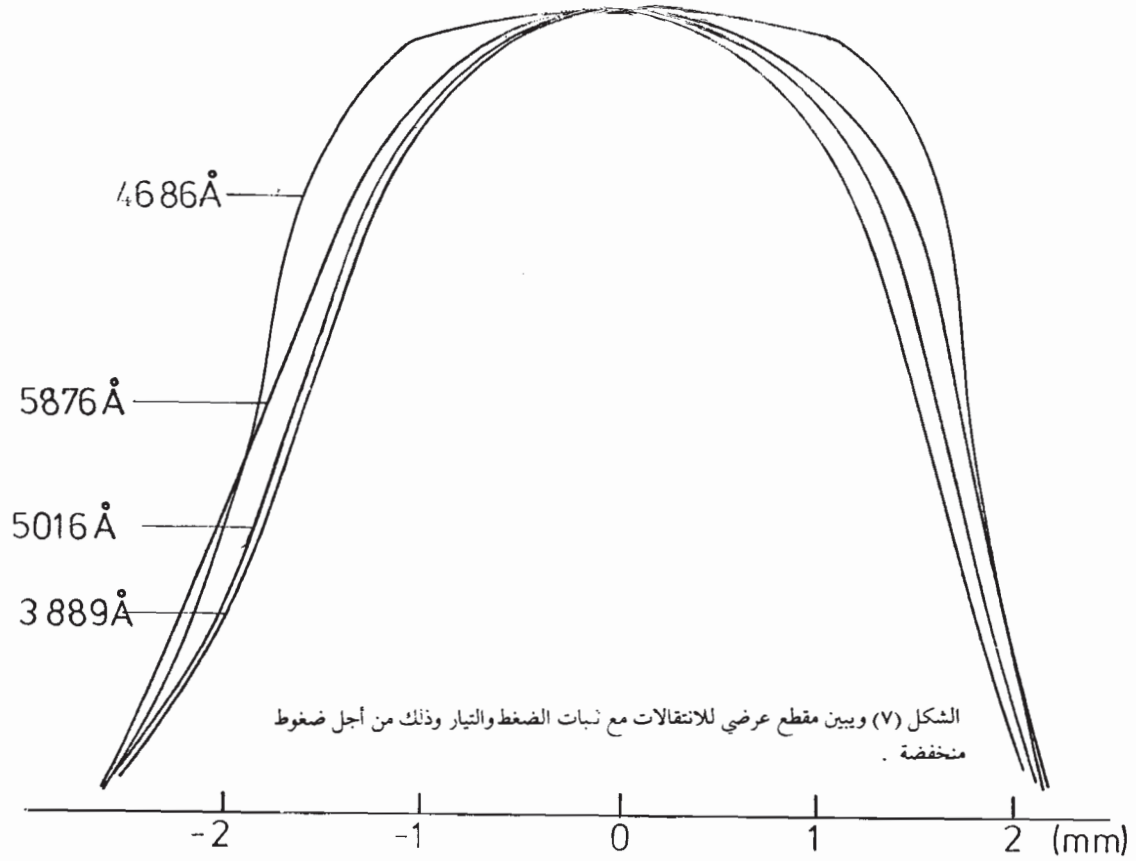
الشكل(6) ويبين شدة الاشعاع من أجل ضغط ثابت وقيم مختلفة للتيار من أجل الانتقالات المذكورة .



الشكل (٦) حيث يبين تغير شدة الاشعاع مع ثبات التيار وتعير الضغط من أجل الانتقالات المذكورة .

٥ - المقاطع العرضانية للاشعاع ·

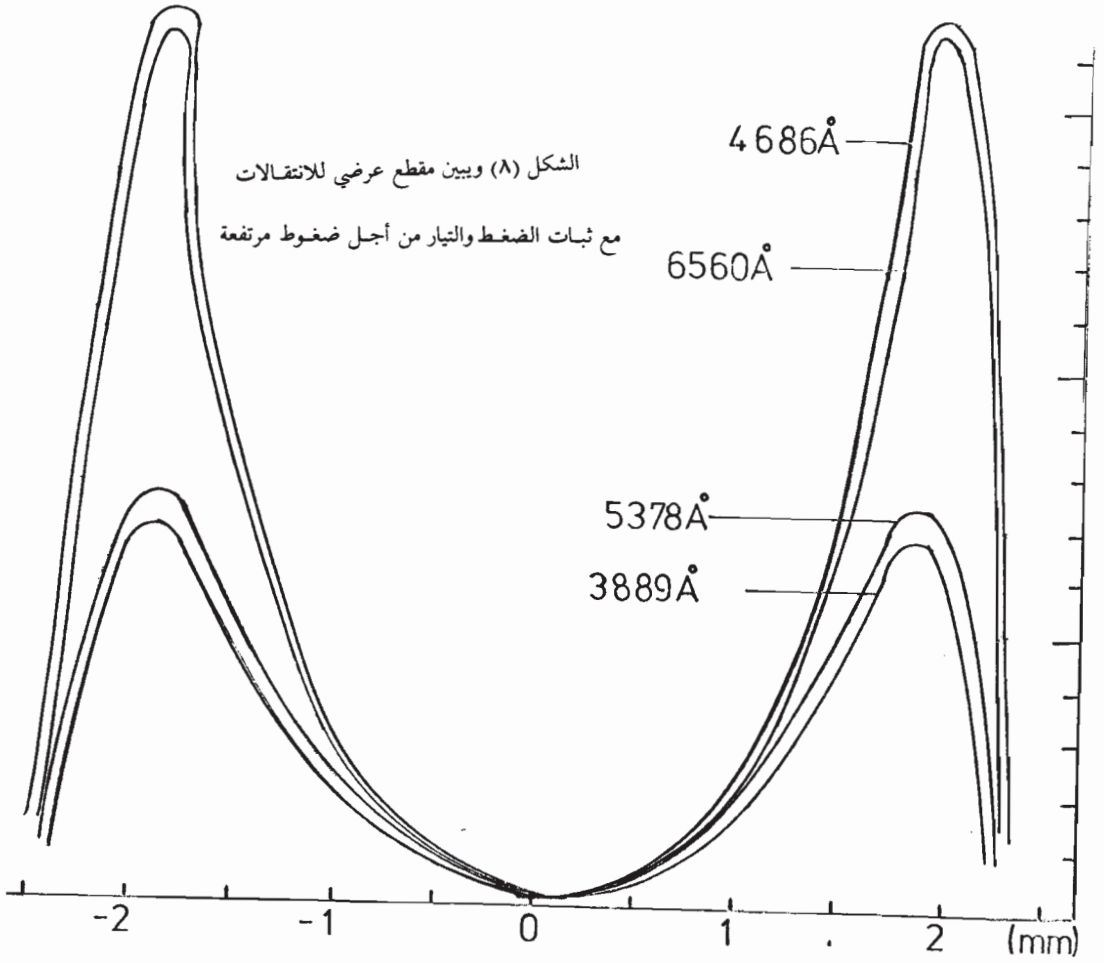
ان تغير شدة الانتقالات قطرياً (عرضانياً) يشاهد في الشكل (٧) حيث نلاحظ أنه من أجل ضغط منخفض فإن المقاطع العرضانية تصل الى قيمة عظمى عند مركز الانبوب أما عند الضغوط العالية فانها تصل الى قيمتها العظمى عند حدود المنطقة السالبة بينما تصل الى قيمتها الصغرى عند مركز الانبوب انظر الشكل (٨) .



الشكل (٧) ويبين مقطع عرضي للانتقالات مع ثبات الضغط والتيار وذلك من أجل ضغوط منخفضة .

الشكل (٨) ويبين مقطع عرضي للانتقالات

مع ثبات الضغط والتيار من أجل ضغوط مرتفعة



من المفيد أن نلاحظ أن شكل المقاطع العرضانية لانتقالات الهليوم المعتدل والمتشرد مشابه لشكل المقاطع العرضانيةلكثافةالسويات الاحادية والثلاثية شبه المستقرة من أجل كل قيم التيار والضغط . أما شكل المقاطع العرضانية لانتقالات السويات المتهيجة المتشردة فتبدو أكبر من مثيلاتها للسويات المتهيجة عند الحواف وهذا الاختلاف ينتج عن الاختلاف في الطاقة اللازمة لتهيجالنوع الأول(75ev) والنوع الثاني(20ev) . حيث أن نسبة الالكترونات عالية الطاقة سينتاقص كلما اقتربنا من المركز لأن هذه الالكترونات تتكون في منطقة هبوط الجهد . لذا فإن تهيج السويات المتشردة سيكون أكثر بجوار منطقة هبوط الجهد .

ان وجود اشعاع صادر عن الانتقال 4685 A° في مركز الأنبوب يشير الى وجود الكترونات طاقتها بحدود 75 ev - 50 وذلك بحسب التفاعل الذي يؤدي الى أشغال السوية العليا للأنتقال 4686 A° .

ان تغير شدة الاشعاع القطري للانتقالات الطيفية يعطينا قياس مباشر لمعدل التهيج الكافي للسوية العليا للانتقال . أما الفجوة الموجودة في منتصف المقطع العرضاني فانها تنتج من تابعية الامتداد المكاني للمنطقة السالبة للضغط . وهذا يمكن تأكيده من كون أن كل الانتقالات المدروسة بما فيها انتقالات الهليوم المعتدل لها الفجوة نفسها .

٦ ـ ليزر بخار المعادن :

ان النتائج السابقة تؤكدها التجارب التي أجريت على ليزرات أبخرة المعادن ومنها ليزر He — cd الذي يعطي قيمة عظمى للمخرج الليزري من أجل ضغوط منخفضة (أقل من lotorr) أي من أجل ضغوط لا تحدث فيها الفجوة . ذلك لأن آلية عمل هذا النوع من الليزر يتم وفق احدى التفاعلين التاليين .

١ ـ تفاعل Penning حيث يتم تبادل الطاقة بين السويات شبه المستقرة المتهيجة الأحادية أو الثلاثية وبين سويات الكادميوم المعتدلة وفق التفاعل التالي .

$$He + cd \rightarrow He + cd^{+*}$$

٢ ـ تفاعل Deffendack حيث يتم تبادل الطاقة بين شوارد الهليوم المتهيجة وبين الكادميوم المعتدل وفق التفاعل التالي :

$$He^{++} + cd \longrightarrow cd^{++} + He$$

وينتج عن كلا التفاعلين شاردة الكادميوم المتهيجة التي تعطي الانتقالين 4416 A° و 3250A° كما يستفاد من النتائج السابقة في الحصول على ليزر متعدد الألوان وذلك باضافة غاز

النيون الى He - cd فنحصل على الانتقالات A^{o} 4416 و A^{o} 325 و A^{o} 6328 و A^{o} 11500 و A^{o} 33900 وهذه الانتقالات تقع في مجال طيفي عريض يتراوح ما بين البنفسجي وما تحت الحمراء .

كما يمكن ان نزيد من الاستطاعة العظمى لليزر بتطبيق حقل تحريض مغناطيسي . أذ أن مسار الالكترون في هذه الحالة يزداد وبالتالي فان امكانية الالكترون على التهييج والتشريد تزداد وبالتالي يزداد الاشعاع الصادر عن بخار المعدن ويزداد الخرج الليزري .

ان ليزرات بخار المعادن والتي تتكون من ليزر He - cd و He - Zn و He - Se وHe - Hg ويضاف اليها في كثير من الأحيان He - Ne تؤلف مجموعة مفيدة جدا اذ أنها تعطي ليزرات في مجال طيفي واسع يمتد من المجال ما فوق البنفسجية الى ما تحت الحمراء . مما يعطيها أهمية كبرى في مجالات صناعية وعلمية عديدة .

المراجع :

١ ـ أطروحة الدكتور بلال تحت عنوان «Vapour laser Astudy of Hollw cathedemetal» discharge.

٢ ـ بحث الدكتور بلال في مجلة J . Phys . D Appl. Phys. Vol 11. pp — 301 -323.

٣ ـ بحث الدكتور بلال الذي القي في جامعة اكسفورد عن بلازما الليزر .

4 — L. B. Loeb. The Kienatic Theory of gases . McGraw Hill. Book conpany. Inc. Newyork. 1934.

— Agc. Mitchell and MW Zemansky — Resonance Radiation and excited atoms. cambridg university press. 1961.

6 — J. B. Hasted. Physics of Atomic collisions. London. 1964.

7 — Avon Engel. Ionized gases. oxford. at the clarendon. press. 1965.

8 — Sc Brown. Basic data of plasmaphysies. 3 rdeddition. Miiqress. 1966.