حساب وقياس مقدار الانبعاث الضوئي من ذرات الاركون المثارة بواسطة جسيمات بيتا الناتجة من انحلال التريتيوم

د.سعيد سلمان كمون

كلية مدينة العلم الجامعة

E-mail:kamoonsaeed@yahoo.com

الخلاصة

تبين الدراسة الحالية إن مدى جسيمات بيتا في خليط من غازات الاركون والنتروجين والديتريوم والترتيوم يكون اقل من نصف قطر الكرة الزجاجية الحاوية لهذه الغازات عندما تكون النسبة الوزنية (M_{Ar}/M_T)بحدود 10 (كتلة غاز الاركون في الخليط بحدود 82%)وكتلة الديتريوم مساوية لكتلة التريتيوم وكتلة النتروجين= 0.01 من كتلة الاركون .وان كمية الضوء الصادرة عن الاركون بسبب مرور جسيمات بيتا المنبعثة من التريتيوم فيه كاف لقياسه بواسطة أنبوبة مضاعف الضوئي مننوع EM9530B .

CALCULATION AND MEASUREMENT OF THE EMITTING LIGHT FROM EXCITING ARGON ATOMS BY BETA PARTICLES OF TRITIUM

Said Selman Kamoon

University Collage of Madenat Al-elem

Baghdad - Iraq

Abstract

The range of β-particles in a mixture of gases can be fitted to be less than a certain value if the weight percent of the mixture is chosen with suitable values. The present work shows that when the emitted beta-particles from Tritium (T) gas pass through a mixture of Argon (Ar),Tritium (T) ,deuterium (D) and nitrogen (N) gases, such that, the weight percent of the mixture (M_{Ar}/M_T) is chosen to be about 10 (the weight percent of the Argon is about 82% of the mixture),the mass of the Deuterium is equal to the mass of Tritium and the mass of Nitrogen is 0.01 of the mass of Argon, then the range of β-particles is less than (1 cm) ,and the emitting light from exciting Argon atoms is so enough to detect by EM9530B photomultiplier tube.

Keywords: Stopping power,Tritiumdetection, Energy loss, CSDA ranges.

1- المقدمة

يعتبر التريتيوم احد المكونات الرئيسية التي تدخل في صناعة بعض المنظومات النووية حيث يوضع خليط من الديتريوم والتريتيوم في قلب المنظومة لتحسين كفاءة الانشطار النووي المتسلسل من خلال التفاعل الاندماجي DT بمساعدة درجة الحرارة العالية المتولدة في قلب المنظومة والتي ستكون كافية لحصول التفاعل الاندماجي [1] .

وحيث ان التريتيوم نظير مشع يعاني انحلال من نوع بيتا فهذا يعني ان كمية التريتيوم سوف تعاني نقصا مع مرور الزمن مما يستدعي تعزيز كمية التريتيوم والحفاظ عليه ضمن فعالية اشعاعية معينة اعتمادا على العمر النصفي .

وبناء على ما ورد أعلاه يتبين ضرورة اعداد تهيئة خاصة يمكن من خلالها الحفاظ على الفعالية الاشعاعية للتريتيوم ضمن حدود معينة.وللمحافظة على كمية التريتيوم في قلب المنظومة بقدر مناسب يوضع التريتيوم

في كرات زجاجية ذات نصف قطر مناسب يمكن استبدالها بشكل دوري بكرات جديدة تحتوي على الكمية المناسبة لتحقيق الفعالية الاشعاعية المطلوبة.

من المعروف ان التريتيوم يضمحل بعمر نصفي مقداره 21.33 سنة [2] ويبعث جسيمات بيتا طاقتها القصوى 18.6 كيلو الكترون فولت[3] ومعدل طاقتها 5.65 كيلو الكترون فولت لكل تحلل

(5.65kev/disintegration)[4]. ويؤدي التفاعل المتبادل بين المجالات الكهربائية لجسيمات بيتا والالكترونات المدارية للمادة الماصة الى تهيجات وتأينات الكترونية .وتعتبر مثل هذه التفاعلات تصادمات لا مرنة حيث تفقد جسيمة بيتا طاقة للتغلب على القوة الكهربائية التي تربط الإلكترون بالذرة . ولان القوى الكهربائية تعمل عبر مسافات طويلة نسبيا فان التصادم بين جسيمة بيتا والإلكترون المداري يتم دون أن يحدث تماس فعلي بينهما. وتعتمد الطاقة التي تفقدها جسيمة بيتا في الوسط الغازي على طاقة الجسيمة والمسار الحر في الغاز وكثافة الغاز. معظم التصادمات المؤينة(ionizing collisions)تنتج زوج واحد من الايونات ولكن هناك حالات تكون فيهاالطاقة الحركية للإلكترون المقذوف كافية لإنتاج عدد من الأزواج الأيونية وتظهر التجارب ان الطاقة اللازمة لإنتاج زوج ايوني تعادل ضعف او ثلاث أضعاف جهد التأين . فمثلا جهد التأين للهيدروجين والنتروجين و الاركون هي 13.6 و14.5 و 15.7 الكترون فولت بينما الطاقة اللازمة لإنتاج زوج ايوني هي 36.6 و 34.6 و 26.2 الكترون فولت على التوالي [5].

2-مستويات الطاقة للذرات المتهيجة

يكون الطيف المنبعث أثناء عملية إزالة التهيج (de-excitation process) معقدا عادة ويختلف منغاز لآخر وبالنسبة للغازات الخاملة يغطي هذا الطيف مديات واسعة ضمن الأطوال الموجية تمتد الى المنطقة فوق البنفسجية .ومن بين مستويات التهيج والانتقالات بين هذه المستويات ما يأتي [6]:

ا-مستويات بصرية (optical levels)

وهنا تعود الذرة المتهيجة الى المستوى الأرضي عن طريق انتقالات متعاقبة الى مستويات اقل تهيجا وذلك ببعث فوتونات بطاقات مساوية للفرق بين تلك المستويات مكونة الطيف الخطي الذري (atomic line spectrum).ويتراوح عمر المستويات البصرية من 10 الى حوالي 100 نانوثانية.

ب- مستويات رنينيه (Resonance levels)

وهنا يمكن أن تعود الذرة الى المستوى الأرضي مباشرة وعند تواجد ذرات أخرى يمكن أن يعاد امتصاص وانبعاث الإشعاعألرنيني(Resonance) عدة مرات مكونة نفس الحالة المتهيجة في كل مرة

وتعرف هذه الظاهرة بتصيد (trapping) الإشعاعألرنيني وعند ذلك يعتمد العمر الكلي على ضغط الغاز والشكل الهندسي له .وفي حالة الغازات الخاملة يحدث الإشعاعألرنيني في المنطقة فوق البنفسجية البعيدة (far ultraviolet).

ج-مستويات شبه مستقرة (Meta-stable levels)

وهنا لاتسمح قوانين انبعاث الميكانيك الكمي بانتقال الذرة الى مستويات اقل تهيجا وخاصة الى المستوى الأرضي.ويكونامتصاص طيف الاركون بشكل كلي من قبل مادة الكرة المستخدمة .وعليه يجب أن تضاف نسبة معينة (مثلا 1%) من غاز النتروجين الى الاركون حيث يؤدي ذلك الى إطفاء ذروة الاركون وفي الوقت نفسه يسبب ظهور ذروات جديدة تمتد من 300 الى 420 نانومتر

[9,8,7].وبالنسبة للنتروجين النقي فان الدراسات السابقة [10,7] تشير الى عدم امكانية استخدامه نقيا لكشف جسيمات بيتا أوألفاأوالأشعة السينية ذلك لان سعة النبضة الكهربائية المناظرة للضوء المنبعث نتيجة مرور جسيمات ألفا[7]أوالأشعة السينية [10] في خليط من الاركون والنتروجين تقل كثيرا بزيادة تركيز النتروجين في الخليط .

يهدف البحث الحالي الىايجاد طريقة لحساب مقدار الانبعاث الضوئي لخليط من غاز الاركون والنتروجين والترتيوم والديتريوم في الكرات الزجاجية نتيجة لمرور جسيمات بيتا في الخليطمع وصف منظومة للقياس . وتعتبر عملية قياس الضوء المنبعث وسيلة للكشف عن التريتيوم من حيث أن انبعاث الضوء دليل على وجود التريتيوم في الخليط .

-مدى جسيمة بيتا في الغازات

يمكن حساب مدى جسيمة بيتا في الغازات (R)من العلاقة الآتية[3]:

$$R = \int_0^{E_{MAX}} \frac{dE}{(dE/dX)} \text{ ----------(1)}$$

حيث ان :dE/dX الطاقة التي تفقدها جسيمة بيتا في الغاز او في الخليط وبالنسبة للغاز يمكن حساب هذا الفقدان في الطاقة من العلاقة التالية بوحدات (مليون الكترون فولت/سم) [5] :

$$\left(\frac{dE}{dX}\right) = \left(\frac{2.55\times10^{-25}NZ}{\beta^2}\right)\left\{Ln\left[\frac{0.511\times E\times\beta^2}{I^2(1-\beta^2)}\right] - \beta^2\right\} \text{-------- (2)}$$

حيث ان :

N : عدد ذرات المادة الماصة في وحدة الحجم (ذرة /سم^3)

وهي 0.2688×10^{20}ذرة/سم^3 للاركون

و0.5376×10^{20}ذرة/ سم^{3}لكل من الهيدروجين والديتريوم و التريتيوم والنتروجين في الظروفالقياسية [**11**].

Z: هو العدد الذري للمادة الماصة

E: هي الطاقة الحركية لجسيمة بيتا (مليون الكترون فولت)

β: هي سرعة جسيمة بيتا /سرعة الضوء

I : هو معدل جهد التأين والتهيج للذرات الماصة (مليون الكترون فولت)

ويمكن حساب قيمة β من الطاقة الحركية لجسيمة بيتا على النحو التالي[**12**]:

$$mc^2 = m_0c^2\left(\frac{1}{\left(\sqrt{1-\beta^2}\right)} - 1\right) \qquad \text{----------(3)}$$

ومنها نجد أن

$$\beta^2 = 1 - \left(\frac{0.511}{E+0.511}\right)^2 \qquad \text{----------(4)}$$

إما قيمة I فيمكن حسابها من العلاقة التالية [5]:

$$I = 1.35 \times 10^{-5} Z \qquad \text{---------- (5)}$$

وبالنسبة للهواء

$$I = 8.6 \times 10^{-5} \text{ MeV}$$

اما بالنسبة لخليط من الاركون والنتروجين والترتيوم والديتريوم فيمكن حساب الفقدان في الطاقة من العلاقة التالية[**12**]:

$$\left(\frac{dE}{dX}\right)_m = \left(\frac{A_{Ar}}{A}\right)\left(\frac{dE}{dX}\right)_{Ar} + \left(\frac{F_1 A_T}{A}\right)\left(\frac{dE}{dX}\right)_T + \left(\frac{F_2 A_D}{A}\right)\left(\frac{dE}{dX}\right)_D + \left(\frac{F_3 A_N}{A}\right)\left(\frac{dE}{dX}\right)_N \text{-----(6)}$$

$A = A_{Ar} + F_1A_T + F_2A_D + F_3A_N$ ----------(7)

$F_1 = N_T / N_{Ar}$

$F_2 = N_D / N_{Ar}$

$F_3 = N_N / N_{Ar}$

وان N_{Ar} , N_T , N_D , N_Nهي عدد ذرات الاركون والترتيوم والديتريوم والنتروجين في الخليط على التوالي و A_{Ar} , A_T , A_D , A_N هي الأعداد الكتلية للغازات المذكورة . وبذلك يمكن كتابة المعادلة (7) على النحو التالي :

$A=40 + 3F_1 + 2F_2 + 14F_3$ ---------- (8)

لحساب مدى جسيمات بيتا في الخليط نتبع الخطوات التالية :

ا- حساب الفقدان في الطاقة في كل من الاركون و الهيدروجين والنتروجين كدالة للطاقة الحركية (E) لجسيمة بيتا باستخدام المعادلات (2-6) . ويبين الجدول (1) قيم dE/dX للغازات المذكورة لقيم E من 0,0006 الى 0.0186 مليون الكترون فولت.ومن الجدير بالذكر هنا أن:

$(dE/dx)_H = (dE/dx)_D = (dE/dx)_T$ ----------(9)

ب- تم حساب قيم F_1,F_3 .F_2 لنسب وزنية (M_T / M_{Ar}) مختلفة في حالة

$M_D = M_T$

$M_N=0.01\ M_{Ar}$

وعلى النحو الآتي:-

$F_1 = N_T / N_{Ar} = (M_T N_a / 3) /(M_{Ar} N_a / 40)$ ----------(10)

$F_2 = N_D / N_{Ar} = (M_D N_a / 2) /(M_{Ar} N_a / 40)$ ----------(11)

$F_3 = N_N / N_{Ar} = (M_N N_a /14) /(M_{Ar} N_a / 40)$ ----------(12)

ويبين الجدول (2)قيم F_1, F_2, F_3 التي تم الحصول عليها.

ج_تم حساب الفقدان في الطاقة في الخليط كدالة للطاقة الحركية (E) لجسيمة بيتا ولكافة النسب الوزنية المبينة في الجدول (2) باستخدام المعادلة (6) ويبين الجدول (3) قيم$(dE/dx)_m$ للنسب الوزنية

$(M_{Ar} / M_T) = 0.10 , 1.0 , 10$

د-تم حساب مدى جسيمة بيتا في الخليط لكافة النسب الوزنية باستخدام المعادلة (1) ويبين الجدول (4) قيم المدى التي تم الحصول عليها . ولغرض المقارنة أضيف الى هذا الجدول مدى جسيمة بيتا في كل من الهيدروجين والنتروجين والاركون ويلاحظ من النتائج المبينة في الجدول رقم (4)ان مدى جسيمة بيتا في الخليط اكبر من نصف قطر الكرة (1سم)المقترحة كحاوية للغازات للنسب الوزنية التي تقل عن 10 وان النسبة الوزنية المناسبة والتي تجعل مدى جسيمات بيتا اقل من نصف قطر الكرة (1سم) تتراوح بين 10-50.

4- حساب مقدار الانبعاث الضوئي :

في حالة

$(M_{Ar} / M_T) = 10$ $M_D = M_T$ $M_N = 0.01 M_{Ar}$

نلاحظ من الجدول (2) ان :

$F_1 = (N_T) / (N_{Ar}) = 4/3$ ---------- (13)

$F_2 = (N_D) / (N_{Ar}) = 2$ ---------- (14)

$F_3 = (N_N) /(N_{Ar}) = 1 / 35$ ---------- (15)

$N_{tot} = N_{Ar} + N_N + N_T + N_D$ ----------(16)

وعليه فأن

$(N_{tot} / N_{Ar}) = 1 + (N_N / N_{Ar}) + (N_T / N_{Ar}) + (N_D / N_{Ar})$

$(N_{tot} / N_{Ar}) = 1 + 1/35 + 4/3 + 2 = 4.3619$

ومنها نجد ان :

$N_{Ar} = 0.22926\ N_{tot}$ ---------- (17)

ومن المعادلات (13-15) نحصل على

$N_T = 0.30568\ N_{tot}$ ----------(18)

$N_D = 0.45852\ N_{tot}$ ---------- (19)

$N_N = 0.00655\ N_{tot}$ ---------- (20)

ولكن عدد الذرات الموجودة في 1 سم^3 في الظروف القياسية = 0.2688×10^{20} ذرة /سم ^{3} بالنسبة لغاز الاركون . و0.5376×10^{20}ذرة /سم ^{3} بالنسبة لغاز النيتروجين و التريتيوم و الدتيريوم .وعليه يكون حجم كل غاز بدلالة N_{tot}كالآتي :

$V_{Ar} = 0.8529\ X\ 10^{-20}\ N_{tot}$ ---------- (21)

$V_T = 0.5686\ X\ 10^{-20}\ N_{tot}$ ---------- (22)

$V_D = 0.8529\ X\ 10^{-20}\ N_{tot}$ ---------- (23)

$V_N = 0.0122\ X\ 10^{-20}\ N_{tot}$ ---------- (24)

وفي حالة كرة نصف قطرها 1سم (حجمها 4.18879 سم^3) وتحتوي على هذه الغازات بالنسب المذكورة اعلاه ويكون

$V_{Ar} + V_N + V_D + V_T = 4.18879$

ومنها نجد ان :

$N_{tot} = 1.832 \times 10^{20}$ atoms

ومن المعادلات (17-20) نحصل على :

$N_{Ar} = 0.42 \times 10^{20}$ atoms

$N_T = 0.56 \times 10^{20}$ atoms

$N_D = 0.84 \times 10^{20}$ atoms

$N_N = 0.012 \times 10^{20}$ atoms

ومنها نحصل على الكتل المطلوبة من الغازات وكما يلي :

$M_{Ar} = 2.79$ mg

$M_t = 0.279$ mg

$M_D = 0.279$ mg

$M_N = 0.027$ mg

وبما ان عمر النصف للتريتيوم = 12.33 سنة عليه فان :

$\lambda = 1.7814 \times 10^{-9} S^{-1}$

$\lambda N_T = 9.97584 \times 10^{10}$ (dis / s)

وحيث أن معدل طاقة جسيمة بيتا المنبعثة من التريتيوم هي :

E = 5.65 KeV / dis

$= 9.04 \times 10^{-16}$ J / dis

ويكون :

$P = 90.2 \times 10^{-6}$ watt

= 90.2 μwatt

Therefore P = 0.06 lumen (Since 1 lumen = 1496 µwatt)

5- منظومة القياس

تتألف المنظومة من أنبوب مضاعف ضوئي متصل بقسم فولتية ذي ربح خطي عالي (high linear gain)والأنبوب محاط بغلاف معدني حاجب للمغناطيسية (mu – metal shield) وكلاهما مثبتان داخل غلاف خارجي من الحديد بإحكام يمنع الضوء الخارجي من النفاذ الى الداخل .وتوضع الكرة الحاوية على خليط الغازات داخل حجيرة جدرانها الداخلية عاكسة للضوء ومقابل وجه أنبوب المضاعف الضوئي .يبين الشكل رقم (1) أنبوب المضاعف الضوئي وملحقاته اما الشكل رقم (2) فيبين مقسم الفولتية العالية المجهزة للمضاعف الضوئي.وعند القياس تؤخذ الإشارة الخارجة من أنبوب المضاعف الضوئي وتغذى الى مضخم(amplifier) ومنه الى عداد رقمي (scalar). وتسجل القراءة أولا بدون وجود الكرة ثم توضع الكرة وتسجل قراءة العداد . وعند ذلك أية زيادة في قراءة العداد تشير الى انبعاث الضوء وبالتالي الى وجود التريتيوم داخل الكرة .بهذه الطريقة نحصل على تحليل نوعي يبين وجود أو عدم وجود التريتيوم داخل الكرة أماإذاأريد تعيين كمية التريتيوم داخل الكرة فان ذلك يتطلب تعيير المنظومة باستخدام كرة مماثلة تحتوي على خليط من هذه الغازات وتكون كمية التريتيوم فيه معلومة . و لتحقيق هذا الغرض فقد استعملت أنبوبة مضاعف الضوئي من نوع (EMI 9530B) التي لها نافذة من مادة البوروسلكات (borosilicate) حساسة للأطوال الموجية (320-650) نانومتر[**13**] ويبين الجدول رقم (5) خصائص هذه الأنبوبة .

6- الاستنتاجات :

نلاحظ من الجدول (4) ان مديات جسيمة بيتا في الخليط تكون اقل من نصف قطر الكرة (1سم) عندما تكون النسب الوزنية(M_{Ar} / M_T) اكبر من واحد وتبين النتائج ان النسبة الوزنية (M_{Ar} / M_T) = 10 مناسبة وفي هذه الحالة تكون كتل الغازات في الكرة كالأتي :

M_{Ar} = 2.79 mg

M_T = 0.279 mg

M_D = 0.279 mg

M_N = 0.027 mg

ويمكن استخدام أي نسب أخرى على شرط أن تكون النسب الوزنية (M_{Ar} / M_T) بحدود(10) لكي يكون مدى جسيمة بيتا في الخليط اقل من نصف قطر الكرة (1 سم) اي ان كمية الاركون يجب أن تكون بحدود 82 % وزنا .

REFERENCES

(1)- A.Gsponor and J.P. Hurni ,''The physical principles of the thermonuclear explosive ,inertial confinement fusion, and the quest for fourth generation nuclear weapons . Independent scientific research institute BOX 30, CH-1211 Gonera-12, Switzerland . January 20 ,2009

(2)- J.K.Tuli, "Handbook on Nuclear Activation Data" Technical Reports Series no 273 IAEA, Vienna (1987) P. 3

(3)- G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement John Wily and Sons, New-York (1979) P.7

(4)- C.A.Colmenares, Nucl. Instr. Meth. 114(1974) 269

(5)- H.Cember. "Introduction to health physics "Pergamon Press, Oxford (1969 p.114

(6)- J.B.Birks,"The theory and Practice of Scintillation Counting" Pergamon Press, Oxford (1967) pp.582, 589

(7)- S.A. Abbas , M.Sc.Thesis,University of Baghdad,1981

(8)- T.D.Strickler and E.T.Arakawa,J.Chem.Phys.41(1964)1783

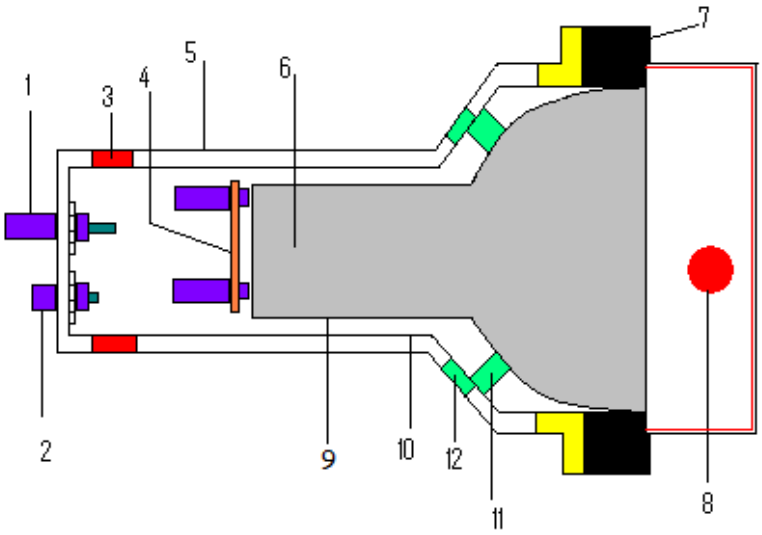
(9)- F. Becker *et al*., BIW'08, California , 2008.

(10)- S.S.Al.Dargazelli et.al.,J.Phys.D; Appl.Phys.11(1978)1773

(11)-J.F.Ziegler,"He Stoping Powers and Ranges in all elements", Vol.4,Pergamon,New York(1977).

(12)-N.Tsaulfanidis "Measurements and detection of radiation". McGraw-Hill Book company(1983) P.123

(13)-EMI Photomultiplier Catalogue (1977)



شكل رقم (1) :انبوب المضاعف الضوئي وملحقاته

1- موصل الفولتية العالية

2- موصل الإشارة الخارجة

3 و7 - حلقات مطاطية لإحكام الظلام

4- لوحة مقسم الفولتية

5- الغلاف الخارجي

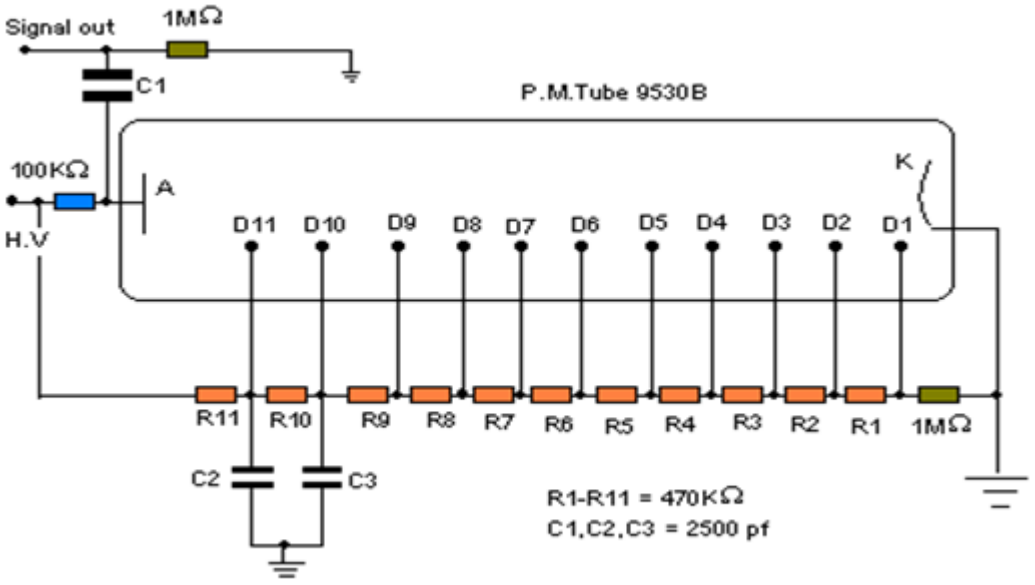
6- أنبوب المضاعف الضوئي

8- العينة المعدة للقياس

9- عاكس الضوء

10- غلاف حاجب للمغناطيسية

11 و 12- وسادة مطاطية



شكل رقم (2) : مقسم الفولتية

جدول رقم (1) : فقدان الطاقة لجسيمة بيتا في الهيدروجين والنتروجين و الاركون كدالة لطاقة بيتا الحركية

طاقة بيتا(MeV)	dE / dx (MeV/cm)		
	الهيدروجين	النتروجين	الاركون
0.0006	0.048414	0.17963	0.13152
0.0012	0.028305	0.11836	0.10237
0.0018	0.020486	0.090126	0.082611
0.0024	0.0162134	0.073614	0.069652
0.0030	0.013534	0.062660	0.060532
0.0036	0.011655	0.054806	0.053743
0.0042	0.010266	0.048870	0.048474
0.0048	0.009195	0.044211	0.044257

0.040795	0.040446	0.008341	0.0054
0.037896	0.037334	0.007644	0.0060
0.035431	0.034714	0.007064	0.0066
0.033305	0.032476	0.006572	0.0072
0.031451	0.030539	0.006150	0.0078
0.029819	0.028845	0.005783	0.0084
0.028369	0.027350	0.005461	0.0090
0.027072	0.026020	0.005177	0.0096
0.025904	0.024827	0.004923	0.0102
0.024904	0.023752	0.004695	0.0108
0.023884	0.022778	0.004489	0.0114

dE / dx (MeV/cm)			طاقة بيتا(MeV)
الاركون	النتروجين	الهيدروجين	
0.023003	0.021890	0.004303	0.0120
0.022194	0.021077	0.004133	0.0126
0.021449	0.020330	0.003977	0.0132
0.020759	0.019640	0.003833	0.0138
0.020118	0.019013	0.003701	0.0144
0.019522	0.018410	0.003579	0.0150
0.018966	0.017859	0.003465	0.0156
0.018445	0.017344	0.003259	0.0162
0.017957	0.016862	0.003260	0.0168
0.017498	0.016409	0.003168	0.0174

0.017065	0.015984	0.003081	0.0180
0.016657	0.015584	0.002999	0.0186

جدول رقم (2)

قيم F_3,F_2,F_1 كدالة للنسب الوزنية (M_{Ar} / M_T) في حالة $M_T = M_D$ و $M_N = 0.01\ M_{Ar}$

F_3	F_2	F_1	(M_{Ar} / M_T)
1/35	500	1000/3	0.04
1/35	200	400/3	0.10
1/35	100	200/3	0.20
1/35	40	80/3	0.50
1/35	20	40/3	1.00
1/35	2	4/3	10.00
1/35	0.4	4/15	50.00
1/35	2/9	4/27	90.00

جدول رقم (3)

فقدان الطاقة لجسيمة بيتا في الخليط كدالة للطاقة الحركية لجسيمة بيتا

لنسب وزنية مختلفة وفي حالة $M_N = 0.01\ M_{Ar}$ و $M_D = M_T$

$(dE / dx)_m$ (MeV/cm)			طاقة بيتا(MeV)
$(M_{Ar} / M_T) = 10$	$(M_{Ar} / M_T) = 1.0$	$(M_{Ar} / M_T) = 0.1$	
0.118182	0.076460	0.052433	0.0006
0.0902605	0.053210	0.031874	0.0012
0.072405	0.041369	0.023477	0.0018
0.060856	0.034171	0.018804	0.0024
0.052782	0.029311	0.015795	0.0030
0.046795	0.025781	0.013679	0.0036
0.042162	0.023088	0.012103	0.0042
0.0384615	0.020960	0.010881	0.0048
0.035428	0.019230	0.009901	0.0054
0.032891	0.017793	0.009098	0.0060
0.0307365	0.016580	0.008428	0.0066
0.028880	0.015539	0.007857	0.0072
0.027262	0.014637	0.007366	0.0078
0.025838	0.013845	0.006938	0.0084
0.024574	0.013144	0.006562	0.0090
0.0234445	0.012520	0.006229	0.0096

0.022427	0.011960	0.005931	0.0102
0.021507	0.011453	0.005663	0.0108
0.020669	0.010993	0.005421	0.0114

$(dE / dx)_m$ (MeV/cm)			طاقة بيتا(MeV)
$(M_{Ar} / M_T) = 10$	$(M_{Ar} / M_T) = 1.0$	$(M_{Ar} / M_T) = 0.1$	
0.019903	0.010574	0.005202	0.0120
0.019200	0.010190	0.005001	0.0126
0.018552	0.009836	0.004817	0.0132
0.017952	0.009509	0.004646	0.0138
0.017295	0.009206	0.004490	0.0144
0.016878	0.008925	0.004345	0.0150
0.016395	0.008663	0.004215	0.0156
0.0159425	0.0084175	0.004184	0.0162
0.015519	0.008188	0.003966	0.0168
0.0151205	0.007973	0.003856	0.0174
0.014745	0.007770	0.003753	0.0180
0.014391	0.007578	0.003655	0.0186

جدول رقم (4)

مدى جسيمات بيتا في الخليط كدالة للنسبة الوزنية (M_{Ar} / M_T)

في حالة $M_T = M_D$ و $M_N = 0.01\ M_{Ar}$

مدى بيتا R (cm)	(M_{Ar} / M_T)
3.127	0.04
2.815	0.10
2.439	0.20
1.773	0.50
1.398	1.0
0.747	10.0
0.668	50.0
0.659	90.0

جدول رقم (5)

خصائص أنابيب المضاعفات الضوئية من النوع EMI9530B (130 mm Dia.)

رقم الأنبوب	190751	190749	190742	190747
حساسية المهبط (Ma / lm)	71	96	124	103
كفاءة الذروة الكمية (peak Q.E.)	22	22	22	22
حساسية المصعد (A / lm)	200	200	200	200
الفولتية المسلطة (V)	1160	1180	1160	1240
تيار الظلام (Na)	0.5	6	23	25