



Volume (1) Issue (1)  
Available at: <https://wpu.edu.sy/wpuj/index.php/wpuh>

## Radiography of the Biological samples by X-rays emitted from plasma focus

Dr. Alaa Nassif <sup>1,\*</sup>, Prof. Dr. Walid Sahyouni <sup>2</sup>

### ABSTRACT

In this paper, a review is presented of the possibility of using plasma focus as X-ray sources for imaging biological samples. First, a presentation of the emission mechanisms and basic groups of X-ray sources was presented. The mechanisms of emission of X-rays from plasma were explained in general, and then an explanation of the advantages of plasma focus as X-ray sources and the factors affecting the energy of the emitted x-rays. Finally, a number of examples of imaging operations of some biological samples were presented using plasma focus devices.

**KEYWORDS:** plasma focus, radiography, soft x-ray.

Submitted on April 25, 2023; Revised on May 16, 2023; Accepted on May 31, 2023  
© 2023 Al-Wataniya Private University, all rights reserved.

<sup>1</sup> Faculty of Pharmacy, Al-Wataniya Private University, Hama, Syria.

<sup>2</sup> Faculty of Science, Homs University, Homs, Syria.

\* Corresponding author. E-mail address: [alaa.nassif@wpu.edu.sy](mailto:alaa.nassif@wpu.edu.sy)

## التصوير الشعاعي للعينات البيولوجية بالأشعة السينية الصادرة عن البلازما المحرقة

د. علاء ناصيف، أ. د. وليد صهيوني

### الملخص

تم في هذا البحث تقديم مراجعة لإمكانية استخدام أجهزة البلازما المحرقة كمنابع أشعة سينية لتصوير العينات البيولوجية. حيث جرى عرض الآليات الإصدار والمجموعات الأساسية لمنابع الأشعة السينية، كما تم شرح آليات إصدار الأشعة السينية من البلازما بشكل عام ومن ثم شرح للميزات التي تتمتع بها أجهزة البلازما المحرقة كمنابع للأشعة السينية والعوامل المؤثرة على طاقة الأشعة الصادرة. وأخيراً تم عرض أمثلة لعمليات تصوير بعض العينات البيولوجية باستخدام أجهزة البلازما المحرقة.

**الكلمات المفتاحية:** البلازما المحرقة، التصوير الشعاعي، الأشعة السينية اللينة.

## 1. مقدمة

إن للأشعة السينية أهمية كبيرة في مجالات متعددة بدءاً من البحوث الأساسية و حتى التطبيقات المختلفة في تكنولوجيا المواد والطب و الهندسة، حيث تستخدم هذه الأشعة السينية تبعاً لطاقتها في تطبيقات متعددة مثل: الحفر بالأشعة السينية (x-ray lithography)، والتصوير الشعاعي الطبي و التصوير المقطعي العرضي (x-ray tomography) و غيرها [1-4]. و يعد المصدر المؤبد للأشعة السينية المكون الرئيسي في الأبحاث المرتبطة بالأشعة السينية، وهناك اهتمام واسع حالياً للحصول على طاقات أشعة أعلى ومنابع أكثر كفاءة لمواكبة التطورات في الصناعة. يتم توليد الأشعة السينية عن طريق تسريع الجسيمات المشحونة (عادة الإلكترونات عالية الطاقة)، و انتقال الإلكترون من السينكروتروني (synchrotron radiation) والكبح (bremsstrahlung) وعادةً يعطي هذا النوع طيف إصدار مستمر و يمكن تصنيف مصادر الأشعة السينية وفق ما يلي: منابع الهدف الصلب (solid sources)، و الإشعاع السينكروتروني، وليزرات الأشعة السينية، والبلازما (plasma). و لقد انحصر استخدام الأشعة السينية في بداية عهدها في المجالات الطبية، و قد دخل التصوير الإشعاعي الصناعي حيز التطبيق العملي بعد أن اكتشف كوليديج في العام 1913 أنيوبية توليد الأشعة السينية ذات المهبط الساخن، وتمكن بذلك من توليد الأشعة السينية، ذات الشدة الأعلى و القدرة على الاختراق و التي تحقق المتطلبات الصناعية. و في عام 1917 تأسس قسم البحث الإشعاعي في المملكة المتحدة و كان ذلك البداية الحقيقة لتطور التصوير الإشعاعي. وفي عام 1930 جعلت البحرية الأمريكية فحص اللحامات الرئيسة المصهورة في اسطوانات المراجل البخارية بالتصوير الإشعاعي إلزامياً. لقد حدَّ التوسيع الرئيسي للتصوير الإشعاعي أثناء الحرب العالمية الثانية بسبب ارتفاع الطلب على لحامات ذات جودة عالية. يسقّد منها في صناعة أجزاء الطائرات و هياكل السفن. وقد أصبح التصوير الشعاعي أوسع استخداماً بعد أن توصلت الأبحاث النووية إلى النظائر المشعة التي تصدر أشعة غاما و قد لاقت تلك النظائر المشعة رواجاً في تنفيذ اختبارات الفحص بطريقة التصوير الإشعاعي الصناعي [5-7]. تتكون البلازما بشكل عام من الإلكترونات و الأيونات (في حالة التأين الكامل)، حيث تحدث عملية التأين المنتجة للبلازما بسبب رفع درجة حرارة الغاز إلى قيمة عالية جداً، تتراوح ما بين 50 eV-1 keV . و توجد مثل هذه الدرجات بشكل طبيعي في أجواء النجوم (stellar atmospheres) و يمكن تحقيقها على الأرض في الانفجارات النووية أو في أجهزة التضييق (z-pinch devices) و مفاعلات الاندماج النووي الحراري أي التوكاماكات (tokamaks) و الشارات (sparks) و في الحزمة الليزرية النبضية المركزة على جسم صلب أو في غاز [1]. و تتراوح أبعاد

البلازما المصدرة للأشعة السينية ما بين 100-10 Å وهي من نفس أبعاد الحجم النموذجي للتضيقات الميكروية الموضعية (localized micropinchs)، و تعطي مثل هذه البلازما استطاعات إصدار كلية تتراوح ما بين 107-1010 W، و بالتالي فالبلازما المشكّلة في التضيقات يمكن أن تكون مصدراً شديداً جداً للأشعة السينية. ينتج الطيف المستمر للأشعة السينية بآليات متعددة، على سبيل المثال: الكبح الحاصل في البلازما، الناتج عن التفاعلات الكولونية بين الإلكترونات والأيونات، و إعادة الاتصال، الذي ينتج عنه إصدار إشعاع من الطاقة التي فقدها الإلكترون الحر المتخد. أما إذا فقد الإلكترون المرتبط طاقة نتيجة لانتقاله إلى حالة طاقة أيونية أخفض، عندئذ سيصدر إشعاع وحيد مشكلاً خطأً طيفياً مميزاً. تعتمد القوى النسبية للإصدارات المستمرة و الخطية على كيفية تشكيل البلازما: فمن أجل بلازما مشكّلة عن مادة ذات عدد ذري كبير (high-Z material) يكون الإصدار المستمر (continuum emission) سائداً، بينما من أجل مادة ذات عدد ذري منخفض (low-Z material) يمكن أن يكون الإصدار الخطى (line emission) هو الأقوى [2].

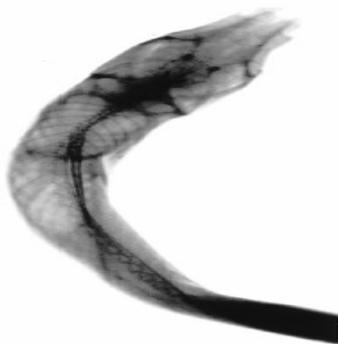
## 2. البلازما المحرقة الكثيفة منبعاً للأشعة السينية

يعتبر جهاز البلازما المحرقة ((PFD)) من المصادر الواعدة للأشعة السينية اللينة (soft x-ray) مع زمن حياة يمتد حتى مئات من النانو ثانية، و طاقة أعلى من الطاقة الناتجة بواسطة منابع أخرى ممكنة [1, 2]. و لقد تزايد الاهتمام بهذه الأجهزة من أجل البحوث الأساسية في المطيافية و في فيزياء البلازما و في دراسة الظواهر الكونية، بالإضافة إلى التطبيقات الممكنة: إنتاج الأشعة السينية اللينة من أجل الفحص المجهري و الحفر بالأشعة السينية، والتصوير الإشعاعي. إن جهاز البلازما المحرقة هو عبارة عن جهاز خاص شبيه بجهاز بلازما التضييق) -z pinch (و هو مؤهل لإنتاج بلازما ذات عمر حياة قصير و كثافة إلكترونية عالية  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ) و طاقة حرارية إلكترونية مرتفعة  $500 \text{ eV}$  Te $\square$  500، و إمكانية إصدار نبضات عالية للأشعة السينية مع طيف طaci واسع و للنترنونات السريعة (في حالة بلازما الدوتريوم) و حزم من الجسيمات الطاقية المشحونة (الأيونات و الإلكترونات) [6-26]، و تكون البلازما المتضيقة لها شكل شبه العمود (column like) و تظهر نهايتها على شكل شبيه بالنقطة. لذلك تستعمل هذه السمات الخاصة للبلازما المحرقة كمصدر نقطي نبضي للأشعة في التطبيقات العملية و الصناعية مثل: الفحص المجهري التلامسي، و الحفر بالحرزمه الإلكترونية و الأشعة السينية، و الطلي المعدني بالتبغش الأيوني، وفي علم البلورات بالأشعة السينية و في التصوير الإشعاعي بالأشعة السينية للأجسام البيولوجية و المواد المعدنية. إضافة لذلك فإن الأشعة السينية الناتجة عن البلازما المحرقة لها دور مهم في تشخيص و معرفة خواص البلازما المتولدة [27, 28].

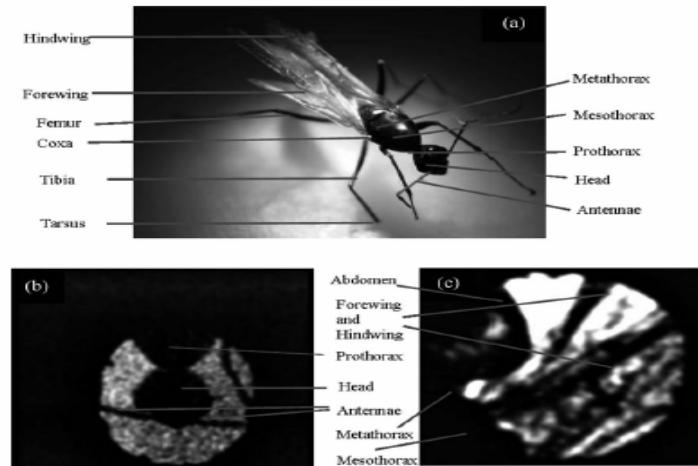
و تمتاز أجهزة البلازما المحرقة ببساطتها من حيث الحجم المدمج، وقابلية النقل، والكلفة القليلة وسهولة الصيانة، والإنتاجية العالية للأشعة السينية، حيث وجد أن 4% و 10% من الطاقة المخزنة تحول إلى أشعة سينية ذات طاقة  $1-1.5\text{keV}$  من أجل منظومات البلازما المحرقة ذات الطاقة المنخفضة و العالية [26-29]. و تعتمد خصائص إصدار الأشعة السينية بشكل كبير على وسطاء عمل أجهزة البلازما المحرقة (مثل: الغاز، الضغط، طاقة التخزين، تيار الانفراج، ممانعة الجهاز، نوع مادة الإلكترود، الشكل، الجوانب المحيطة والهيئة، و كذلك قطبية الإلكترود الداخلي). ومن بين هذه العوامل يمتلك تركيب الغاز والضغط الأثر الأقوى. ومن الجدير بالذكر أن مقدار الجرعة يتعلق بالمسافة عن المنبع، وبنوع الغازات المستخدمة وبنوع مادة المصعد، ويمكن أن تتغير الجرعة بتغيير جهد تشغيل البلازما المحرقة الكثيفة [4]. و تنتج نبضات الأشعة السينية الشديدة بواسطة القذف الإلكتروني للإلكترونات المتحركة في غمد التيار ومن البقع الحارة [30]. ولقد استخدمت الأشعة السينية اللينة الصادرة عن جهاز البلازما المحرقة (3kJ) والعاملة في جو من النيون و ذلك لتصوير الحشرات و الأجسام البيولوجية الأخرى [31]. كما يمكن استخدام منبع الأشعة السينية في التصوير الإشعاعي الميكروي باعتباره صغيراً جداً و هناك عامل إيجابي مناسب آخر هو أن زمن الانبعاث القصير جداً يسمح بالحصول على صور إشعاعية للحيوانات الحية و السوائل البيولوجية في الدورة الدموية [12].

### 3. بعض الأمثلة على استخدام البلازما المحرقة في التصوير الشعاعي

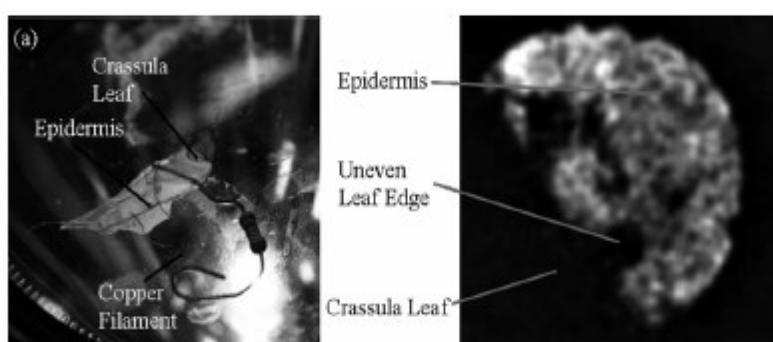
باستخدام أجهزة البلازما المحرقة تم التصوير الإشعاعي للعديد من الأجسام الحية البيولوجية. ونورد فيما يلي بعض الصور الإشعاعية المأخوذة من المراجع المبينة:



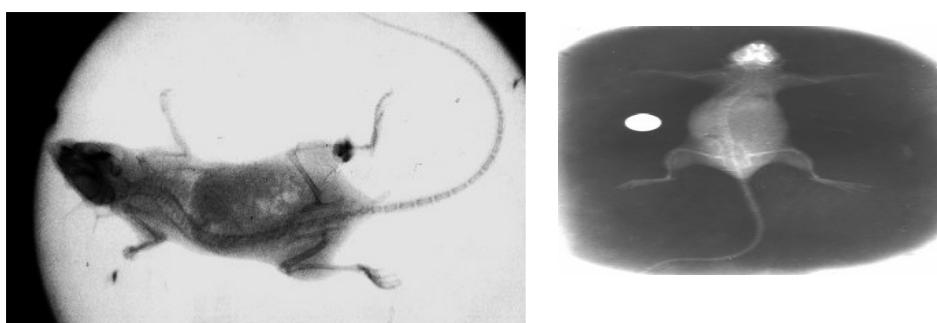
الشكل (1): صورة شعاعية لسمكة وضعت على بعد 27 CM من قمة المصعد [30]



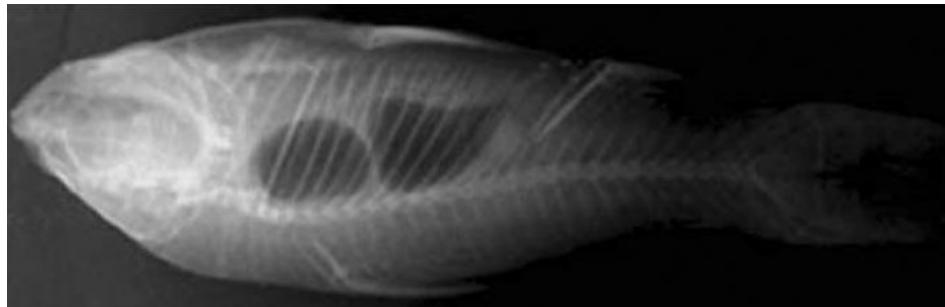
الشكل (2): صورة ضوئية مرئية لحشرة (A)، صورة بالأشعة السينية اللينة لجذع الحشرة الجبيبي (B)، صورة بالأشعة السينية اللينة لتجويف بطن وأجنحة الحشرة [31].



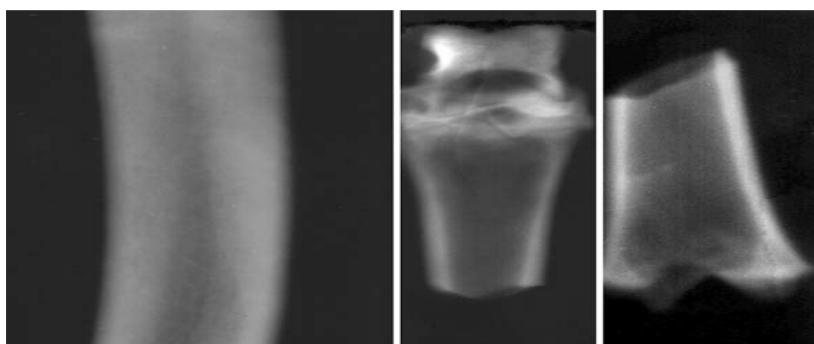
الشكل (3): صورة مرئية (A)، وصورة بالأشعة السينية للعينة (CRASSULA LEAF) [31]



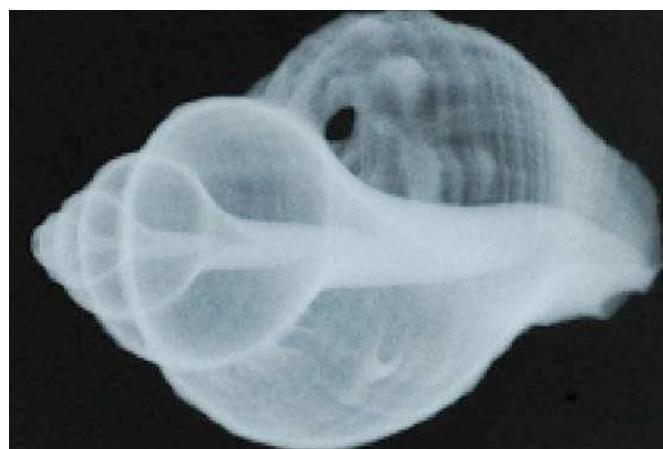
الشكل (4): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقة لفأر خلال رشقة واحدة [32].



الشكل (5): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقة لسمكة [33].



الشكل (6): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقة لعظام عجل وغنم [34].



الشكل (7): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقة لصدفة البير [35].

#### 4. الاستنتاجات

تقدّم هذه الدراسة تصوّراً عن إمكانية استخدام أجهزة البلازما المحرقة كأجهزة أشعة سينية مناسبة من أجل تصوير العينات البيولوجية بالاستفادة من المميزات التقنية والتشغيلية التي تتمتع بها مقارنة بالمنابع التقليدية بالإضافة إلى إتاحتها المجال للتحكم بطاقة وحجم الأشعة الصادرة. يمكن توسيع هذه

الدراسة مستقبلاً لدراسة المتغيرات المؤثرة على عملية إصدار الأشعة السينية مثل نوع وطاقة جهاز البلازما المستخدم بالإضافة إلى نوع الغاز المستخدم في عملية التشغيل.

## المراجع

- [1] Auluck, S.; Kubes, P.; Paduch, M.; Sadowski, M.J.; Krauz, V.I.; Lee, S.; Soto, L.; Scholz, M.; Miklaszewski, R.; Schmidt, H.; et al. Update on the Scientific Status of the Plasma Focus. *Plasma* 2021, 4, 450–669.
- [2] M. Liu, "Soft X-Rays from Compact Plasma focus". Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. School Of Science, Nanyang Technological University, December 1996
- [3] A. Bernard "Plasma Focus and Its Applications". *Science*, 2003, pp. 836 -872 (in French)
- [4] Leopoldo Soto. "New Trends and Future Perspectives On Plasma Focus Research". *Plasma Phys. Control. Fusion* 47 (2005) A361–A381
- [5] L Soto, P Silva, J. Moreno, G Silvester, M Zambra, C Pavez, L Altamirano, H Bruzzone, M Barbaglia, Yu Sidelnikov and W Kies. "Research On Pinch Plasma Focus Devices of Hundred of Kilojoules to Tens of Joules". *Brazilian Journal of Physics*, vol. 34, no. 4B, December 2004
- [6] L Soto, P Silva, J Moreno, A Clausse and W Kies. "A Very Small Plasma Focus Operating at Tens of Joules". 14th BEAMS and 5th Dense Z-pinch Conferences, Albuquerque, USA, June 23-28-2002
- [7] L. Jakubowski and M. J. Sadowski. "Hot-Spots in Plasma-Focus Discharges as Intense Sources of Different Radiation Pulses". *Brazilian Journal of Physics*, vol. 32, no. 1, March 2002 187
- [8] M Sharif, S Hussain, M Zakaullah, and A Waheed. "Study of The X-Ray Emission Scaling Law in a Low Energy Plasma Focus. *Plasma Sources Sci. Technol.* 13 (2004) B7–B13
- [9] M. Zakaullah, K. Alamgir, M. Shafiq, M. Sharif, A. Waheed, and G. Murtaza. "Low-Energy Plasma Focus as a Tailored X-Ray Source". *Journal of Fusion Energy*, Vol. 19, No. 2, June 2000 (q 2002)
- [10] M. S. Rafique, A. Serban, P. Lee, S. Lee. "Neutron and Soft X-Ray Emission From Plasma Focus". 26th EPS Conf. on Contr. Fusion and Plasma Physics, Maastricht, 14 - 18 June 1999 ECA Vol.23J (1999) 1249 - 1252
- [11] V. Zoita, R. Presura, I. Paraschiv, A. Patran, M. Cengher, C. Filip. "X-Ray Emission Characteristics of Focus Plasmas". Fourth International Workshop and School 'Towards Fusion Energy-Plasma Physics, Diagnostics, Applications" Poland, June 7 – 13, 2004
- [12] Marcelo Venere, C H. Moreno, A Clausse, R Barbuzza, M Del Fresno. "Tomographic System Based on Plasma Focus X-Rays". *NUKLEONIKA* 2001; 46(Supplement 1):S93–S94
- [13] S Hussain, M Shafiq, R Ahmad, A Waheed and M Zakaullah. "Plasma Focus as a Possible X-Ray Source For Radiography". *Plasma Sources Sci. Technol.* 14(2005)61–69

- [14] S. Hussain, M. Zakaullah, S. Ali, S.H. Bhatti, A. Waheed. "X-Ray Enhancement From a Plasma Focus by Inserting Lead at The Anode Tip". Physics Letters A 319 (2003) 181–187
- [15] S. Hussain, M. Zakaullah, S Ali and A. Waheed. "Low Energy Plasma Focus as an Intense X-Ray Source for Radiography". Plasma Science & Technology, 2004, Vol. 6, No. 3, P. 2296-2300
- [16] M. Zakaullah et al. "Characteristics of X-Ray From a Plasma Focus Operated With Neon Gas". Plasma Sources Sci. Technol. 11(2002) 377-382
- [17] Andrea Da Re, F Mezzetti, A Tartari, G Verri, V. A. Gribkov. "Preliminary Study On X-Ray Source From Plasma Focus Device For Fast Radiography". NUKLEONIKA 2001; 46(Supplement 1):S123.S125
- [18] V. Raspa, L. Sigaut, R. Llovera, P. Cobelli, P. Knoblauch, R. Vieytes, A. Clausse, and C. Moreno. "Plasma Focus as a Powerful Hard X-Ray Source for Ultra Fast Imaging of Moving Metallic Objects". Brazilian Journal of Physics, Vol. 34, No. 4B, December 2004
- [19] C. Moreno, M. Venere, R. Barbuzza, M. Del Fresno, R. Ramos, H. Bruzzone, Florido P. J. Gonzalez, and A. Clausse. "Industrial Applications of Plasma Focus Radiation". Brazilian Journal of Physics, Vol. 32, No. 1, March 2002
- [20] César H. Moreno, A Clausse, J F. Martinez, R Llovera, A Tartaglione. "Ultrafast X-Ray Introspective Imaging of Metallic Objects Using a Plasma Focus". NUKLEONIKA 2001; 46(Supplement 1):S33–S34
- [21] K. S. Thomas Gan, R.S. Rawat, R.V. Ramanujan, P. Lee, A. Patran, T.L. Tan,  
S.V. Springham and S. Lee. "Deposition of Nano-Phase FeCo Thin Films Using Plasma Focus Device". 31st EPS Conference on Plasma Phys. London, 28 June - 2 July 2004 ECA Vol.28G, P-1.032 (2004)
- [22] R. S. Rawat, T. Zhang, C B L Phua, J X Y Then, K A Chandra, X Lin, A Patran and P Lee. "Effect of Insulator Sleeve Length on Soft X-Ray Emission From a Neon-Filled Plasma Focus Device". Plasma Sources Sci. Technol. 13 (2004) 569-575
- [23] J. Y. Tan, S. Kanesan, A. C. Patran, R. S. Rawat, P. Lee. "Investigation of X-Rays ~5-30keV From a 3kJ Dense Plasma Focus Using Silicon Detectors". 30th EPS Conference on Contr. Fusion and Plasma Phys. St.Petersburg, 7-11 July 2003 ECA Vol.27A, P-2.62.
- [24] Radovan Antanasijevic et al."Radiography By Soft X-Rays From Plasma Focus Device". Nuclear Tracks in Solids, Nuclear Society of Slovenia, 2000
- [25] M. Zakaullah, K. Alamgir, M. Shafiq, M. Sharif, and A. Waheed. "Scope of Plasma Focus With Argon as a Soft X-Ray Source". IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 30, No. 6, DECEMBER 2002.
- [26] Al-Hawat, Sh, Akel, M., Shaaban, S., X-ray Intensity Measurements in 2.8 Operated with Argon Using a Five Channel Diode kJ Plasma Focus Device Spectrometer, J. Fusion Energy 34 (1), 163–171, 2015.
- [27] Al-Hawat, Sh, Akel, M., Wong, C.S., X-ray Emission from Argon Plasma Focus Contaminated with Copper Impurities in AECS PF-2 Using Five Channel Diode Spectrometer, J. Fusion Energy 30 (6), 503, 2011.

- [28] A Patran, L C Tan, D Stoenescu, M S Rafique, R S Rawat, S V Springham, T L Tan, P Lee, M Zakaullah and S Lee. "Spectral Study of The Electron Beam Emitted From a 3 kJ Plasma Focus". *Plasma Sources Sci. Technol.* 14 (2005) 549–560
- [29] M. Zakaullah, K. Alamgir, M. Shafiq, S. M. Hassan, and M. Sharif, A. Waheed. "Enhanced Copper K-Alpha Radiation From a Low-Energy Plasma Focus". *Applied Physics Letters*, Vol. 78, No. 7, 12 FEBRUARY 2001
- [30] S. Hussain, S. Ahmad, M. Z. Khan, M. Zakaullah, and A. Waheed. "Plasma Focus as a High Intensity Flash X-ray Source for Biological Radiography". *Journal of Fusion Energy*, Vol. 22, No. 3, September 2003 (2004)
- [31] R. S. Rawat, T. Zhang, G. J. Lim, W. H. Tan, S. J. Ng, A. Patran, S. M. Hassan, S. V. Springham, T. L. Tan, M. Zakaullah, P. Lee, and S. Lee. "Soft X-Ray Imaging Using a Neon Filled Plasma Focus X-ray Source". *Journal of Fusion Energy*, Vol. 23, No. 1, March 2004 (2005)
- [32] F. Castillo-Mejía, M. Milanese, M. Moroso, J. Pouzo, and M. Santiago. "Research on Dense Plasma Focus Hard X-Ray Emission With Scintillator-Photomultiplier and Thermoluminescent Detectors Measurements". EPSPPD. EPFL. Ch/ Praha/WEB/98ICPP
- [33] S. Hussain, M. Shafiq and M. Zakaullah, Tailoring a plasma focus as hard x - ray source for imaging, *APPLIED PHYSICS LETTERS* 96, 031501 (2010).
- [34] M. A. Tafreshi and E. Saeedzadeh, Studies of the Hard X-ray Emission from the Filippov Type Plasma Focus Device, Dena, *Journal of Fusion Energy*, Vol. 25, No. 3/4, December 2006.
- [35] F. Castillo, I. Gamboa-deBuen, J. J. E. Herrera, J. Rangel, and S. Villalobos High contrast radiography using a small dense plasma focus, *APPLIED PHYSICS LETTERS* 92, 051502 (2008).