

تأثير التحريض الساكن لبنك المكثفات على مردود الأشعة السينية اللينة لبلازما النتروجين

*الدكتور المشرف: وليد صهيوني

**الدكتور المشارك: علاء ناصيف

***الطالب: ميري الحجه

ملخص

تمّ في هذا البحث استخدام كود Lee من أجل إجراء دراسة عددية لتأثير تغيير التحريض الساكن لبنك المكثفات، للجهاز البلازما المحرّقة الكثيفة UNU ICTP PFF على مردود الأشعة السينية لبلازما النتروجين. تمّ أولاً دراسة تغيير المردود مع تغيير ضغط الغاز حيث كانت القيمة العظمى للمردود 0.45 J عند 1.8 Torr . ثانياً تم دراسة تخفيض قيمة التحريض الخارجي على قيمة المردود عند قيم التحريض $1, 5, 10, 20, 30, 50 \text{ nH}$ حيث كانت القيمة العظمى للمردود 1.83 J عند 5 nH مع تغيير أبعاد الأقطاب إلى $a=1.25 \text{ cm}$, $b=4.3 \text{ cm}$, $z_0=7.1 \text{ cm}$.

الكلمات المفتاحية: جهاز البلازما المحرّقة الكثيفة UNU ICTP PFF، كود Lee، بلازما النتروجين.

الدكتور المشرف: أستاذ دكتور كلية العلوم - قسم الفيزياء وليد صهيوني
الدكتور المشارك: دكتور في الجامعة الوطنية الخاصة كلية الصيدلة علاء ناصيف
الطالب: ميري الحجه طالبة ماجستير في فيزياء المادة الكثيفة قسم الفيزياء كلية العلوم

Effect of capacitor bank static induction on soft X-ray yield of nitrogen plasma

PROF.DR .WALID.M.SAHYOUNI

Dr. Alaa.A.Nassif

Merry alhajji

Abstract

In this paper, Lee's code was used to conduct a numerical study to the effect of changing capacitor bank static inductance L_0 of the UNU ICTP PFF dense plasma focus device on nitrogen plasma soft X-ray yield. **Firstly**, soft X-ray yield changes was studied with gas pressure changes, where the maximum value of yield was 0.45 J at 1.8 Torr. **Secondly**, reducing static inductance on soft X-ray yield was studied at induction values 1.5, 10, 20, 30, and 50 nH, where the maximum value of soft X-ray yield was 1.83 J at 5 nH with changing electrodes dimensions to $a=1.25$ cm, $b=4.3$ cm, $z_0=7.1$ cm.

Keywords: UNU ICTP PFF Dense Plasma focus Device, Lee Code, Nitrogen Plasma.

مقدمة:

اكتشف رونجن الأشعة السينية عام 1895 حيث تنتج من كبح الإلكترونات المسرعة ضمن أنبوب الأشعة السينية التقليدي وهي تستخدم في العديد من التطبيقات، ولكن منذ اكتشاف ظاهرة البلازما المحرقة من قبل ماذر وفيليبوف [1] تم البحث في إمكانية الاستفادة من أجهزة البلازما المحرقة الكثيفة كمنابع للأشعة السينية وذلك عند استبدال غاز الديتيريوم بغازات أخرى.

تنشأ البلازما المحرقة عند إجراء تفريغ كهربائي من بنك مكثفات (كمون من مرتبة عشرات kV) ضمن غاز موضوع داخل حجرة تحتوي على تشكيلة الكترودات (مصعد ومهبط)، يؤدي تأيين الغاز إلى تشكيل طبقة من البلازما تتسرع بشكل محوري على طول الكترودات ثم بشكل قطري ليتشكل عمود بلازما حار جداً - كثيف جداً يتوضع على قمة المصعدي القبضة (Pinch) يستمر لفترة قصيرة من الزمن (عشرات النانو ثانية) لينهار بعدها بسبب لا استقرارات البلازما [2] [3] .

بيّنت الدراسات أنه خلال فترة بقاء قبضة البلازما على قمة المصعد (أو ما يطلق عليها فترة الركود stagnation period) فإنها تعتبر مصدراً غنياً للأشعة السينية اللينة التي تصدر من خلال ثلاث آليات: الإصدار الخطي، الكبح، إعادة الاتحاد [4] . حيث أجريت العديد من التجارب العددية لدراسة إصدار الأشعة السينية اللينة من جهاز البلازما المحرقة NX2 عند استخدام غاز النيون كغاز تشغيل [5]، كما تم حساب القيمة العظمى لمردود الأشعة السينية اللينة الصادرة من جهاز UNU/ ICTP PFF عند تغير ضغط غاز النتروجين [6]. كما تم باستخدام كود Lee إجراء عملية تحسين لمردود الأشعة السينية اللينة الصادرة لجهازي بلازما محرقة مختلفين بطاقة التشغيل وذلك من خلال التغير الهندسي لأبعاد الأقطاب [4] [5] .

تم إجراء عدد كبير من التجارب لإمكانية استخدام الأشعة السينية اللينة الصادرة في العديد من التطبيقات مثل طباعة الرقائق الالكترونية والتصوير الشعاعي [7] وتصوير العينات البيولوجية [8] .

تلتب طاقة تشغيل جهاز البلازما المحرقية وبارامترات (الأبعاد الهندسية للالكترودات) بالإضافة إلى نوع الغاز المستخدم في عملية التشغيل دوراً أساسياً في طاقة الأشعة السينية اللينة الصادرة ولذلك تجري عملية تطوير مستمر لهذه الأجهزة من أجل الحصول على طاقة أشعة سينية ملائمة لكل تطبيق عملي [9] [10] .

هدف البحث:

يهدف البحث إلى إجراء دراسة عددية حاسوبية لدراسة تأثير التحريض الساكن لبثك المكثفات في جهاز البلازما المحرقية الكثيفة UNU ICTP PFF على مردود الأشعة السينية الصادرة عن بلازما النتروجين المحرقية وذلك من خلال إجراء سلسلة من التجارب العددية باستخدام كود Lee.

كود Lee ومبدأ العمل:

تعدّ التجارب العددية من أفضل الوسائل من أجل دراسة إصدار الأشعة السينية اللينة من أجهزة البلازما المحرقية حيث يقدّم كود لي [11] الذي يعتبر من أفضل برامج نمذجة البلازما المحرقية أداة برمجية مناسبة جداً لمثل هذا النوع من الدراسات نظراً للميزات الكبيرة التي يتمتع بها التي تقدم محاكاة واقعية بدرجة كبيرة لظاهرة البلازما المحرقية. صدرت أول نسخة عن هذا النموذج عام 1985 حيث كانت عبارة عن مرحلتين وبعد ذلك استخدم لوصف وتحسين أجهزة البلازما المحرقية ولاحقاً تم تطويرها إلى خمس مراحل عام 2000 حيث قدم محاكاة واقعية لخصائص البلازما المحرقية وذلك من خلال ربط

بارامترات الدارة الكهربائية مع ديناميكيات وترموديناميك البلازما والاصدارات الاشعاعية، كمتّ من خلال هذا الكود حساب مردود الاشعة السينية اللينة عند استخدام غازات مختلفة (الهيدروجين، الديتيريوم، مزيد ديتريوم-ترتيوم، الأرغون، الكريبتون) والإصدار النيوتروني وتحسين هذا المردود عند تغيير ضغط ونوع الغاز وبارامترات بنك المكثفات [12] [13]. كما تم استخدام هذا الكود في العديد من مجالات الدراسة مثل تصميم أجهزة بلازما محرقية جديدة وإجراء تعديلات على أجهزة البلازما المحرقية الموجودة من ناحية تغيير بارامترات بنك المكثفات أو تغيير أبعاد الإلكترودات. تتم عملية إدخال بارامترات الجهاز المدروس وإجراء عملية موائمة بين التابع الموجي للتيار الكهربائي المتدفق خلال مراحل تطور البلازما المحرقية المحسوب وفق الكود مع التابع الموجي للتيار في جهاز البلازما المحرقية الفعلي [10].

الأدوات والبرامج المستخدمة:

تم إجراء هذه الدراسة حاسوبياً باستخدام برنامج Lee الحاسوبي الاصدار (RADPFV5.15de.c1) مع عدد من البرمجيات الملحقة اللازمة لعمل هذا البرنامج لدراسة مردود الأشعة السينية اللينة الصادرة من جهاز البلازما المحرقية الكثيفة UNU ICTP PFF الذي يعمل بطاقة تشغيل 2.2 kJ وذلك عند تغيير ضغط غاز النتروجين، ثم القيام بدراسة تأثير التحريض الساكن لبنك المكثفات على مردود الأشعة السينية اللينة لبلازما النتروجين.

جهاز البلازما المحرقية الكثيفة UNU ICTP PFF:

يعتبر هذا الجهاز جهاز نموذجي للبلازما المحرقية مصمم وفق نموذج ماذر (Mather Type) ، يعمل بمجال طاقة تشغيل 1.8 – 3.3 كيلو جول باستخدام غازات الديوتيريوم والأرجون والنيون والنتروجين، وكذلك أمزجة غازية مثل الأرجون أسيتيلين، 3He-D2 أو

4He-D2، ضمن مجال ضغط 1.30 و 5.98 ملي بار، المصعد الموجود بداخل حجرة التفريغ مجوف أو أسطوانة مصممة من النحاس أو التيتانيوم تم تغيير أبعادها في سلسلة من التجارب المختلفة: الطول 140 - 162 ملم والقطر 14 - 19 ملم. حول المصعد، هناك ستة قضبان نحاسية تشكل المهبط طولها 157 ملم وسماكتها 9.5-10.0 ملم؛ القطر الكلي للنظام 64 مم. كما تم استخدام مصاعد إضافية على شكل قرصين منفصلين بقطر 85 و 70 مم ، على التوالي، مشكلة نظام تسلسلي من ثلاثة مصاعد؛ بالإضافة إلى ذلك، في إحدى التجارب تم إدراج الجرافيت في نهاية المصعد، والعازل بين المصعد والمهبط مصنوع من زجاج بيركس [14]. تم استخدام هذا الجهاز في العديد من التطبيقات العملية مثل ترسيب أغشية كربونية تشبه الألماس. أثناء إجراء التجارب العددية على هذا الجهاز تم استخدام البارامترات الموضحة في الجدول 1:

جدول 1: بارامترات جهاز البلازما المحرقة الكثيفة [14] UNU ICTP PFF

$E_0 = 2.2 \text{ KJ}$	طاقة التشغيل Operation Energy
$L_0 = 110 \text{ nH}$	تحريض الدارة Inductance of circuit
$C_0 = 30 \mu\text{F}$	سعة بنك المكثفات Capacitance
$r_0 = 12 \text{ m}\Omega$	المقاومة Resistance
$V_0 = 12 \text{ KV}$	كمون التشغيل Operation Voltage
$P_0 = 1.05 \text{ Torr}$	ضغط التشغيل Pressure
$a = 0.95 \text{ cm}$	نصف قطر المصعد Anode radius
$b = 3.2 \text{ cm}$	نصف قطر المهبط Cathode radius
$Z_0 = 16 \text{ cm}$	طول المصعد Anode length
N	غاز التشغيل Working gas

مناقشة النتائج:

1- تغيير مردود الأشعة السينية اللينة لبلازما النتروجين عند تغيير ضغط الغاز:

تم تنفيذ سلسلة من التجارب العددية باستخدام كود Lee لإيجاد خصائص البلازما المحرقة المتشكلة وقيم مردود الأشعة السينية اللينة الصادرة عند تغيير ضغط غاز النتروجين حتى القيمة التي لا يحدث بعدها تمحرق والنتائج موضحة في الجدول 2:

جدول 2: خصائص البلازما المحرقة في جهاز UNU ICTP PFF مع تغيير ضغط غاز

النتروجين

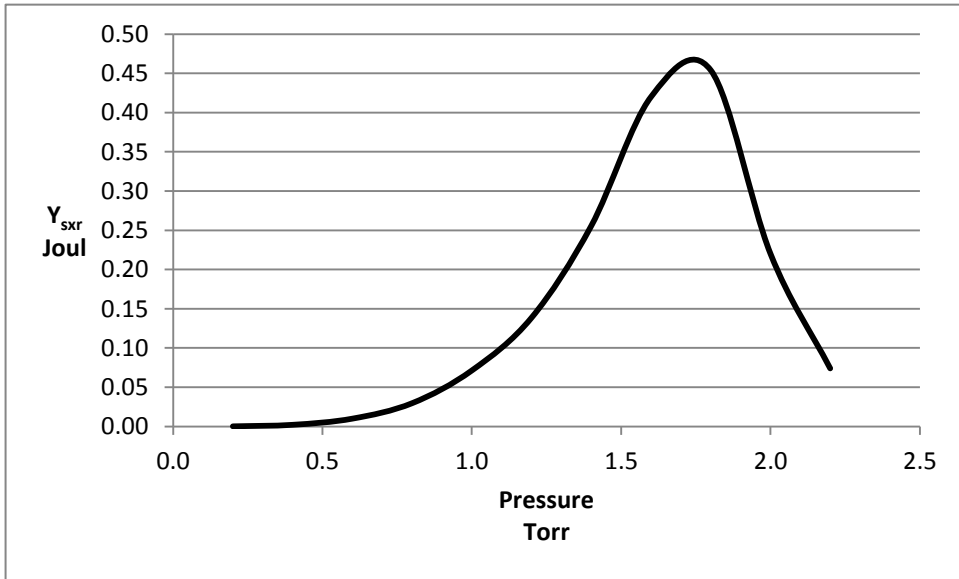
P_0 Torr	T_{pinch} $10^6(K)$	I_{peak} kA	I_{pinch} kA	v_a cm/ μ s	v_s cm/ μ s	v_p cm/ μ s	Y_{srx} Joul
0.2	19.07	135	92	12.4	52.1	33.4	0.00
0.4	10.72	144	97	9.7	38.0	26.9	0.00
0.6	7.16	148	98	8.3	31.3	22.4	0.01
0.8	5.12	150	95	7.3	27.1	19.3	0.03
1.0	3.78	152	92	6.6	23.9	17.0	0.07
1.2	2.99	153	87	6.0	21.4	15.1	0.14
1.4	2.36	154	82	5.5	19.2	13.6	0.26
1.6	1.85	155	76	5.1	17.3	12.2	0.42
1.8	1.43	156	69	4.7	15.5	11.0	0.45
2.0	1.08	157	62	4.4	13.7	9.9	0.22
2.2	0.79	157	55	4.1	12.1	8.8	0.07

نلاحظ من هذه النتائج:

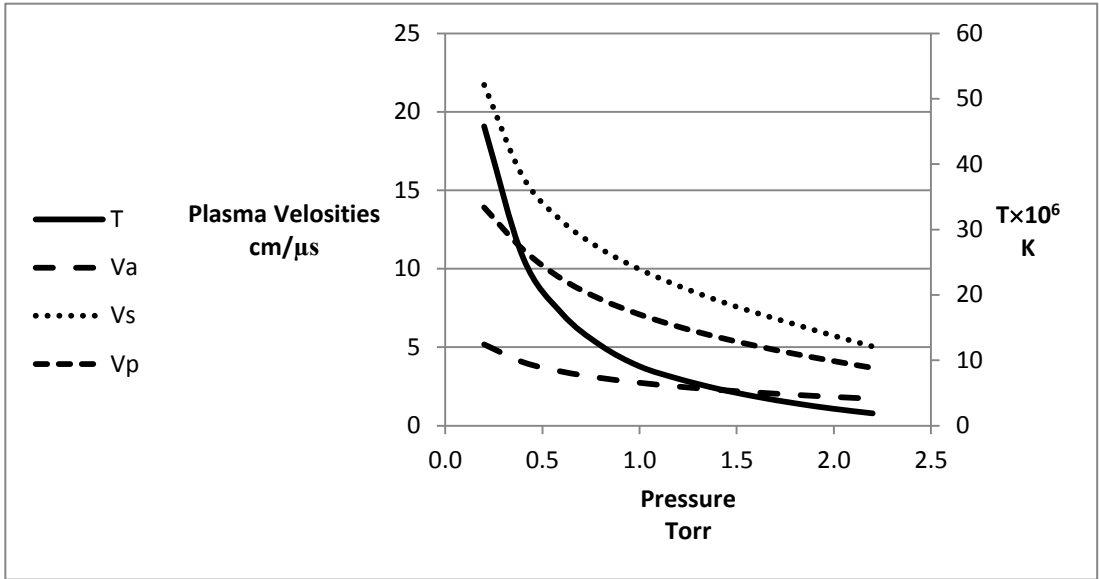
- ازدياد قيمة مردود الأشعة السينية اللينة مع ازدياد ضغط غاز النتروجين حتى الوصول إلى قيمة عظمى لـ 0.45 عند 1.8 Torr ثم ينخفض مع الاستمرار

زيادة الضغط الشكل 1، ويرجع سبب هذا الانخفاض بمردود الأشعة السينية اللينة مع استمرار ازدياد الضغط إلى أنه عند زيادة الضغط فإن قيم السرعات (المحورية v_a ، القطرية v_s ، سرعة المكبس المغناطيسي v_p) تتناقص و هذا التناقص في السرعات يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة البلازما إلى أقل من درجة الحرارة اللازمة لإصدار الأشعة السينية اللينة الشكل 2.

- تتخفض قيمة ذروة التيار الكلي I_{peak} قليلاً عند القيم المنخفضة للضغط وذلك بسبب زيادة المقاومة الديناميكية الناتجة عن زيادة سرعة غمد التيار مع انخفاض الضغط.
- يكون لتيار القبضة I_{pinch} المتدفق عبر عمود البلازما المتشكل قيمة عظمى عند الضغوط المنخفضة و ذلك بسبب انتقال زمن تشكّل القبضة ليقترّب أكثر من زمن بلوغ التيار أعلى قيمة له (الذروة في ربع دور).



الشكل 1: تغيير مردود الأشعة السينية اللينة مع تغيير ضغط غاز النتروجين



الشكل 2: سرعات البلازما ودرجة الحرارة مع تغير ضغط غاز النتروجين

2- تأثير تغيير التحريض الساكن لبنيك المكثفات على المردود:

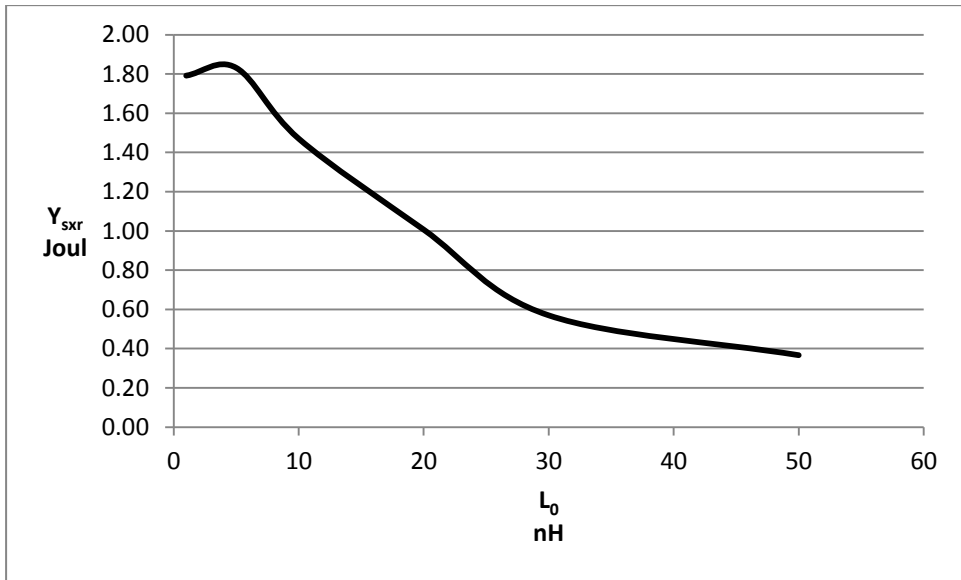
تم دراسة تأثير تخفيض قيمة التحريض الساكن على مردود الأشعة السينية اللينة الصادرة عند قيمة ضغط غاز النتروجين 2.2 Torr وذلك من خلال اختيار قيم التحريض 1,5,10,20,30,50 nH وهذا اقتضى تغيير الأبعاد الهندسية للجهاز مع الحفاظ على النسبة $c=b/a$ ثابتة عند القيمة 3.4 والنتائج موضحة في الجدول الآتي:

جدول 3: خصائص البلازما المحرقة UNU ICTP PFF مع تغير التحريض الخارجي لبثك المكثفات

L_0 nH	a cm	b cm	z_0 cm	I_{peak} kA	I_{pinch} kA	r_{min} cm	z_{max} cm	Y_{line}
1	1.3	4.4	4.5	401	128	0.19	1.9	1.79
5	1.25	4.3	7.1	348	113	0.16	1.8	1.83
10	1.17	4.0	8.6	309	108	0.14	1.7	1.47
20	1.05	3.6	10.9	264	98	0.11	1.5	1.01
30	0.90	3.1	14.2	233	83	0.10	1.3	0.57
50	0.80	2.7	17.2	200	73	0.08	1.1	0.37

يتبين من هذه النتائج:

- انخفاض كل من ذروة التيار الكلي I_{peak} تيار القبضة I_{pinch} مع ازدياد قيمة L_0 .
- مع ازدياد قيمة L_0 نلاحظ وجود قيمة عظمى للمردود J عند 1.83 عند $L_0 = 5$ nH كما هو موضح في الشكل 3.
- تم الحصول على قيم مثلى لأبعاد الأقطاب التي يتحقق عندها أعلى مردود للأشعة السينية اللينة $a=1.25$ cm, $b=4.3$ cm, $z_0=7.1$ cm.



الشكل 3: مردود الأشعة السينية اللينة عند قيم التحريض الساكن

الاستنتاجات:

أظهرت نتائج هذه الدراسة تأثير انخفاض قيمة التحريض الساكن لبنك المكثفات لجهاز البلازما المحرقة UNU ICTP PFF على مردود الأشعة السينية اللينة حيث ازداد من 0.45 ل عند استخدام البارامترات الأساسية للجهاز إلى 1.83 ل خلال تخفيض قيمة التحريض الساكن لبنك المكثفات من 110 nH إلى 5 nH. تفيد هذه النتائج في ملائمة جهاز البلازما المحرقة بحسب التطبيق العملي المراد استخدامه كما تؤكد أهمية التجارب العددية في تطوير أجهزة البلازما المحرقة الكثيفة.

المراجع المستخدمة

- [1] Mather, J. W. (1966). **High density deuterium plasma.** In Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research. Vol. II. Proceedings of a Conference on Plasma Physics and Controlled Physics Research Nuclear Fusion Research.
- [2] Haines, M. G. (2011). **A review of the dense Z–pinch.** Plasma Physics and Controlled Fusion, 53(9), 093001.
- [3] Lu, X., Laroussi, M., & Puech, V. (2012). **On atmospheric–pressure non–equilibrium plasma jets and plasma bullets.** Plasma Sources Science and Technology, 21(3), 034005.
- [4] Sahyouni, W., & Nassif, A. (2018). **Neon soft X–ray yield optimization from NX2 dense plasma focus device.**
- [5] Sahyouni, W., & Nassif, A. (2019). **Nitrogen Soft X–Ray Yield Optimization from UNU/ICTP PFF Plasma Focus Device.** American Journal of Modern Physics, 8(6), 86–89.
- [6] Hassan, S. M., & Lee, P. (2017). **Pulsed Plasma Sources for X–ray Microscopy and Lithography**

- Applications.** Plasma Science and Technology for Emerging Economies: An AAAPT Experience, 269–292.
- [7] Rawat, R. S., Zhang, T., Lim, G. J., Tan, W. H., Ng, S. J., Patran, A., ... & Lee, S. (2004). **Soft X-ray imaging using a neon filled plasma focus X-ray source.** Journal of fusion energy, 23, 49–53.
- [8] Lee, S., Rawat, R. S., Lee, P., & Saw, S. H. (2009). **Soft X-ray yield from NX2 plasma focus.** Journal of Applied Physics, 106(2).
- [9] Serban, A., & Lee, S. (1997). **Soft X-ray emission from a small plasma focus operated in deuterium.** Plasma Sources Science and Technology, 6(1), 78.
- [10] Lee, S. (2014). Plasma focus radiative model: **Review of the Lee model code.** Journal of Fusion Energy, 33, 319–335.
- [11] Akel, M., Lee, S., & Saw, S. H. (2012). **Numerical experiments in plasma focus operated in various gases.** IEEE Transactions on Plasma Science, 40(12), 3290–3297.
- [12] Lee, S., Saw, S. H., Lee, P., & Rawat, R. S. (2009). **Numerical experiments on plasma focus neon soft X-ray**

scaling. Plasma Physics and Controlled Fusion, 51(10), 105013.

- [13] Dubinov, A. E., Fomicheva, E. I., & Senilov, L. A. (2020). **Research with plasma foci in countries of Asia, Africa, and Latin America**. Reviews of Modern Plasma Physics, 4(1), 6.
- [14] Akel, M., & Lee, S. (2013). **Soft X-Ray emission in the water window region with nitrogen filling in a low energy plasma focus**. Journal of Fusion Energy, 32(1), 121–127.