

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

الدكتور المشرف: وليد صهيوني

الدكتور المشارك: علاء ناصيف

اسم الطالب: ميري الحجه

## ملخص

تمّ في هذا البحث استخدام كود Lee من أجل إجراء دراسة عددية لتأثير تغيير التحريض الساكن لبنك المكثفات  $L_0$  لجهاز 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  $J = 0.45$  عند  $1.8 \text{ Torr}$ . 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  $J = 1.83$  عند  $5 \text{ nH}$  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.

\*المشرف : أستاذ دكتور جامعة البعث كلية العلوم /قسم الفيزياء

\*\* المشرف المشارك: دكتور الجامعة الوطنية الخاصة /كلية الصيدلة

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

Condidate

Supervisor

Prof. Supervisor

Merry Al hajji

Dr. Alaa Nassif

Dr. Walid Sahyouni

## 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 رونتجن 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 كمصادر 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 الالكترودات ثم بشكل قطري ليتشكل عمود بلازما حار جداً - كثيف جداً يتوضع على قمة المصعد يدعى 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].

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].

تلعب طاقة تشغيل جهاز البلازما المحرقة 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].

تعدّ التجارب العددية من أفضل الوسائل من أجل دراسة إصدار الأشعة السنية اللينة من أجهزة البلازما المحرقة حيث يقمّ كود لي [11] الذي يعتبر من أفضل برامج نمذجة البلازما المحرقة أداة برمجية مناسبة جداً لمثل هذا النوع من الدراسات نظراً للميزات الكبيرة التي يتمتع بها التي تقدم محاكاة واقعية بدرجة كبيرة لظاهرة البلازما المحرقة. صدرت أول نسخة عن هذا النموذج عام 1985 حيث كانت عبارة عن مرحلتين وبعدها ذلك استخدم لوصف وتحسين أجهزة البلازما المحرقة ولاحقاً تم تطويره إلى خمس مراحل

عام 2000 حيث قدم محاكاة واقعية لخصائص البلازما المحرقة وذلك من خلال ربط بارامترات الدارة الكهربائية مع ديناميكيات وترموديناميك البلازما والاصدارات الاشعاعية، كما تمّ من خلال هذا الكود حساب مردود الأشعة السينية اللينة عند استخدام غازات مختلفة 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 محرقة جديدة وإجراء تعديلات على أجهزة البلازما المحرقة الموجودة من ناحية تغيير بارامترات بنك المكثفات أو تغيير أبعاد الإلكترونيات .

#### هدف البحث:

يهدف البحث إلى إجراء دراسة عددية حاسوبية لدراسة تأثير التحريض الساكن لبنك المكثفات في جهاز البلازما المحرقة الكثيفة UNU ICTP PFF على مردود الأشعة السينية الصادرة عن بلازما النتروجين المحرقة.

#### الأدوات والبرامج المستخدمة:

تمّ إجراء هذه الدراسة حاسوبياً باستخدام برنامج Lee الحاسوبي الاصدار (RADPFV5.15de.c1) مع عدد من البرمجيات الملحقه اللازمة لعمل هذا البرنامج لدراسة مردود الأشعة السينية اللينة الصادرة من جهاز البلازما المحرقة الكثيفة UNU

ICTP PFF الذي يعمل بطاقة تشغيل 2.2 kJ وذلك عند تغيير ضغط غاز النتروجين، ثم القيام بدراسة تأثير التحريض الساكن لبثك المكثفات على مردود الأشعة السينية اللينة لبلازما النتروجين.

### جهاز البلازما المحرقة الكثيفة UNU ICTP PFF:

يعتبر هذا الجهاز جهاز نموذجي للبلازما المحرقة 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 مصمتة 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 [15] :

جدول 1: بارامترات جهاز البلازما المحرقة الكثيفة UNU ICTP PFF

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

## 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 UNU ICTP PFF مع تغيير ضغط غاز النتروجين

$P_o$ Torr	$T_{pinch}$ $10^6(K)$	$I_{peak}$ kA	$I_{pinch}$ kA	$v_a$ cm/ $\mu$ s	$v_s$ cm/ $\mu$ s	$v_p$ cm/ $\mu$ s	$Y_{sxr}$ 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 ل 0.45 عند 1.8 Torr ثم ينخفض مع الاستمرار

بزيادة الضغط الشكل 1، ويرجع سبب هذا الانخفاض بمردود الأشعة السينية

اللينة مع استمرار ازدياد الضغط إلى أنه عند زيادة الضغط فإن قيم السرعات

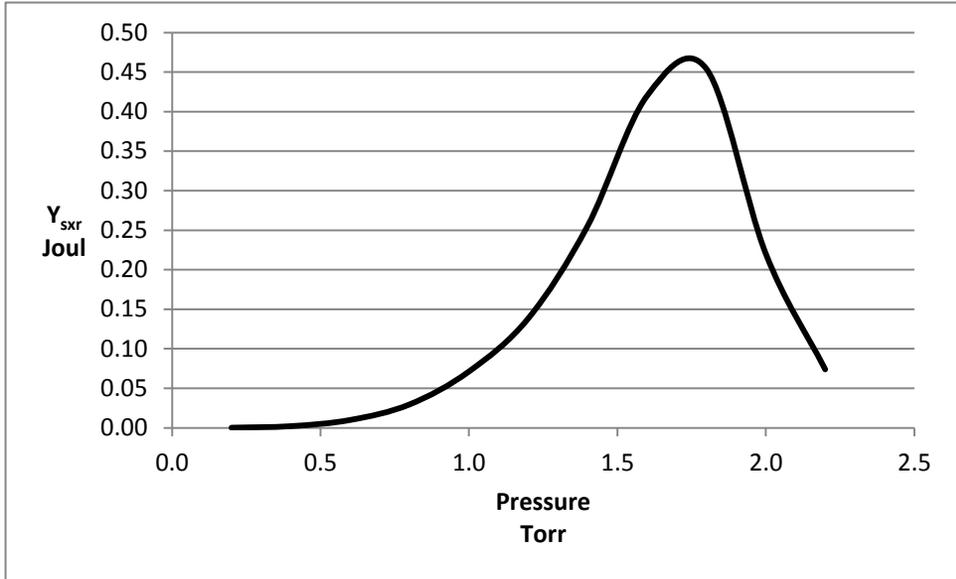
(المحورية  $v_a$ ، القطرية  $v_s$ ، سرعة المكبس المغناطيسي  $v_p$ ) تتناقص و هذا

التناقص في السرعات يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة البلازما إلى أقل من

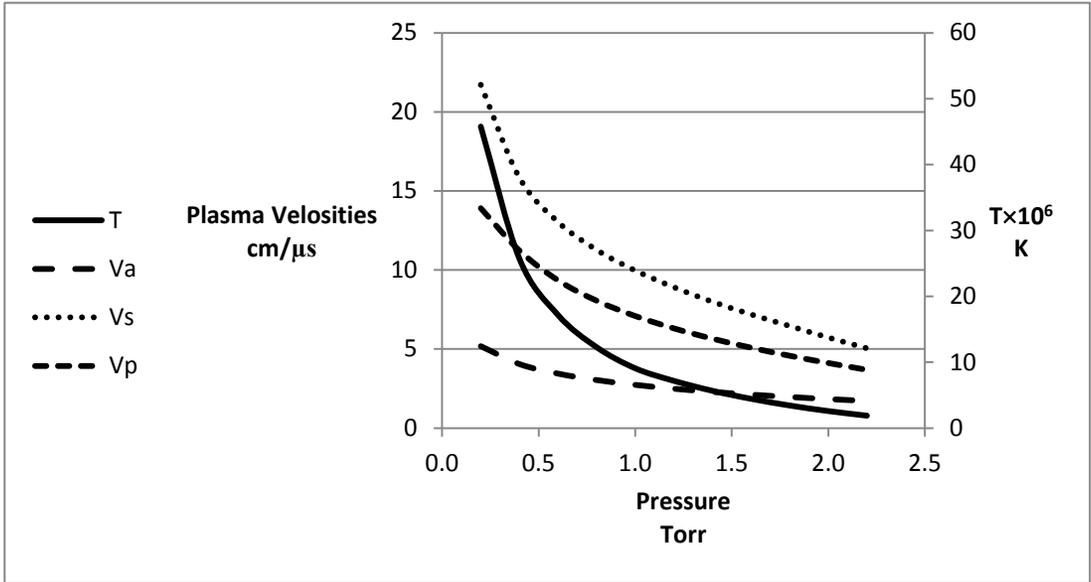
درجة الحرارة اللازمة لإصدار الأشعة السينية اللينة الشكل 2.

- 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

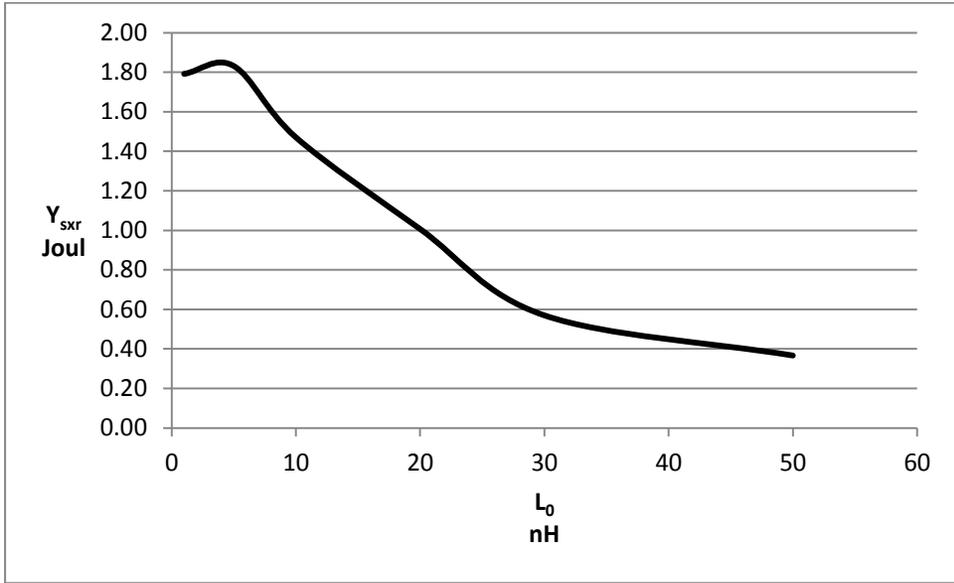
## 2- تأثير تغيير التحريض الساكن لبنيك المكثفات على المردود:

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:

$L_0$ 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  $L_0 = 5$  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  $J$  0.45 عند استخدام البارامترات الأساسية للجهاز إلى  $J$  1.83 من خلال تخفيض قيمة التحريض الساكن لبنك المكثفات من  $nH$  110 إلى  $nH$  5.

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. (1965), **Formation of a high- density deuterium plasma focus**, *The Physics of Fluids*, 8(2), 366-377.
- [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] Hussain, S., Ahmad, S., Sharif, M., Sadiq, M., Waheed, A., & Zakauallah, M, (2006), **Comparative studies of X-ray emission from a plasma focus with different metal inserts at the anode tip**, *Physics Letters A*, 349(1-4), 236-244.
- [5] Sahyouni .W and Nassif . A , (2018) , **Neon Soft X-ray Yield Optimization from Dense plasma Focus Device**, *Jordan Journal of Physics*, Vol.11, PP. 167-172.
- [6] Sahyouni .W and Nassif . A , (2019) , **Nitrogen Soft X-Ray Yield Optimization from UNU/ICTP PFF Plasma Focus Device**, *American Journal of Modern Physics*, Vol. 8, PP. 86-89.
- [7] 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..
- [8] 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.
- [9] 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).

- [10] 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.
- [11] Lee, S, (2014), **Plasma focus radiative model: Review of the Lee model code**, *Journal of Fusion Energy*, 33, 319-335..
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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..
- [15] 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.