



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

اندازه‌گیری شرایط بهینه گسیل ایکس نرم دستگاه پلاسمای کانونی صنعتی شریف و طیف سنجی آن با استفاده از یک طیف سنج کریستال خمیده استوانه‌ای

عبدالهادی، حسین زاده : غلامرضا، اطاعتی : ناصر، وثوقی

۱- دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، صندوق پستی:

۲- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک،

چکیده

دستگاه پلاسمای کانونی قابلیت تولید الکترون، یون، نوترون و اشعه ایکس نرم و سخت را در گستره‌ی پیوسته‌ای از طول موج و انرژی‌ها دارد. در این مقاله برای طیف سنجی پرتوهای ایکس نرم گسیل شده از دستگاه پلاسمای کانونی دانشگاه صنعتی شریف یک طیف سنج طراحی و ساخت شده است که طرح کلی آن بر اساس طرح جوهان است و از یک بلور خمیده استوانه‌ای در داخل آن استفاده شده است. برای اندازه‌گیری شرایط بهینه گسیل ایکس نرم دستگاه پلاسمای کانونی صنعتی شریف از یک دوربین روزنه سوزنی به قطر روزنه ۵۰۰ میکرومتر و آشکارساز فوتودیود با فیلتر Al+Mylar به ضخامت ۱۲ میکرومتر استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که طول موج‌های ایکس نرم گسیل شده از پلاسمای آرگون یونیزه شده، عمدتاً در بازه‌ی بین ۳ تا ۴ آنگستروم می‌باشند و از این بین، گذار اتمی $1s^2-1s^2p$ مربوط به گسیل طول موج ۳٫۹۴۳ آنگستروم دارای بیشترین شدت در بین سایر خطوط طیفی می‌باشد.

کلمات کلیدی: پلاسمای کانونی، طیف سنج ایکس، اشعه ایکس، دوربین روزنه سوزنی، نرم افزار Originpro

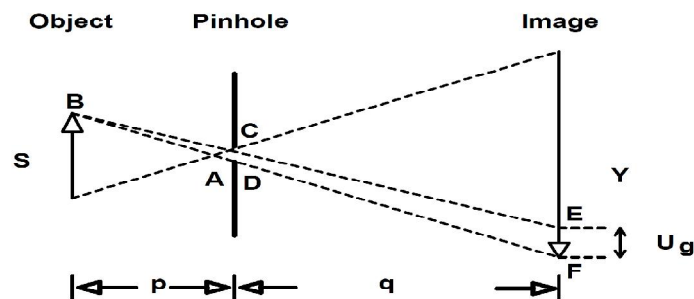
مقدمه

پلاسمای شامل مجموعه‌ای از الکترون‌ها و یون‌ها می‌باشد که می‌تواند در حالت به شدت یونیزه ماده تشکیل شود. این فرایند یونیزاسیون با افزایش دما تا مقادیر زیاد (حدود $10^7 k^0 - 10^8 k^0$) انجام می‌شود. چنین دمایی به طور طبیعی در اتمسفر کیهانی و یا در زمین در اثر انفجار هسته‌ای و همچنین روش‌های کنترل شده‌ای مانند دستگاه‌های توکامک، اسپارک‌ها و یا از طریق تمرکز پرتو لیزر پالسی روی یک هدف جامد یا گازی بوجود می‌آید [۱ و ۲]. یکی از دستگاه‌هایی که قادر به تولید پلاسمای چگال (چگالی بیش از $10^{19} cm^{-3}$) و داغ (دمای بیش از ۱ keV) می‌باشد، دستگاه پلاسمای کانونی است. تابش الکترومغناطیسی در این دستگاه در باند طیفی گسترده‌ای از امواج رادیویی تا اشعه ایکس سخت می‌باشد و همین مسئله موجب کاربردی شدن این دستگاه نیز گردیده است [۳ و ۴]. پلاسمای تولید شده در دستگاه پلاسمای کانونی دارای حجم کوچکی است که در مدت زمان بسیار کوچکی از مرتبه‌ی چند ده نانو ثانیه تولید می‌شود. به همین دلیل بیشتر ابزارهای تشخیصی متعارف در این شرایط غیر قابل استفاده هستند. در چنین شرایطی روش‌های مستقل از زمان کاربرد زیادی دارند. یکی از روش‌های متداول در

اندازه‌گیری مستقل از زمان پرتوهای ایکس گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی استفاده از دوربین روزنه سوزنی می‌باشد. این دستگاه گرچه توانایی اندازه‌گیری زمانی را ندارد ولی می‌تواند پرتوهای گسیلی از پلاسمای را از نظر فضایی تفکیک نماید. سوراخ دوربین در مقایسه با ابعاد پلاسمای خیلی کوچک است اما در مقایسه با ضخامت ورقه حاوی سوراخ، بزرگ است [۵]. تعداد میکروتنگش‌ها، اندازه‌ی آن‌ها و مکانشان در ستون پلاسمای در هر شات تغییر می‌کنند. اندازه و مکان میکروتنگش‌ها وابسته به ساختار پرتوهای ایکسی است که تابش می‌کند [۶]. در چنین شرایطی از روش Penumbra [۷ و ۸] برای اندازه‌گیری ابعاد چشمه استفاده می‌کنیم. طبق این روش که در شکل ۱ تصویری از هندسه آن آمده است رابطه زیر برقرار است:

$$S = \frac{p}{q}(Y - A) - A$$

که در معادله بالا $P(m)$: فاصله چشمه نورانی تا روزنه، $q(m)$: فاصله تصویر تا روزنه، $A(m)$: قطر روزنه دوربین و Y : طول تصویر بدست آمده بر روی آشکارساز (فیلم رادیوگرافی) است.



شکل ۱- اساس کار دوربین روزنه سوزنی.

تحقیقات و مطالعات وسیعی در زمینه عکس برداری با دوربین روزنه سوزنی بر روی دستگاه پلاسمای کانونی صورت گرفته است. غلامرضا اطاعتی تحقیقاتی را در این زمینه بر روی دستگاه پلاسمای کانونی امیرکبیر انجام داده است. نتایج تصویر برداری ایشان نشان داد که برای گاز نئون ناحیه تابش پرتوهای ایکس عموماً به صورت پلاسمای است در حالی که برای گاز آرگون این ناحیه بیشتر به صورت نقاط داغ یا میکروپینچ دیده می‌شود [۹]. بگ و همکارانش به اندازه‌گیری بازدهی پرتوهای ایکس در دستگاه پلاسمای کانونی $2kJ$ ، $200kA$ با گازهای ۱۸ $Z \leq$ پرداختند. تصاویر انتگرالی دوربین روزنه سوزنی با فیلتر ایکس نرم نشان دهنده یک ستون پلاسمای بود در حالی که با فیلتر ایکس سخت ساختارهای نقطه‌ای داغ مشاهده شدند. این رفتار نشان دهنده گذار پلاسمای از ستون به یک سری نقاط داغ است [۱۰]. در پروژه‌ای که توسط پیمان عباسی در سازمان انرژی اتمی ایران انجام شده است با استفاده از یک بلور خمیده از جنس میکا به بررسی طیف ایکس نرم گسیل شده از دستگاه پلاسمای کانونی نوع



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

فیلیپوف و ناخالصی‌های آن پرداخته شده است. نتایج این تحقیق اختلاف قابل توجهی با مقادیر صحیح کمیات مورد نظر داشتند [۱۱]. در این مقاله برای بدست آوردن شرایط بهینه گسیل ایکس نرم دستگاه پلاسمای کانونی صنعتی شریف و طیف سنجی ایکس نرم آنارز روش ابتکاری شدت سنجی به شیوه مقایسه نقطه به نقطه (مقایسه شدت یک نقطه از طیف ثبت شده نسبت به یک نقطه از تصاویر دیگر و طیف زمینه) استفاده شده است. برای این کار از نرم افزار Originpro استفاده شده است. صحت استفاده از این روش توسط آشکارساز شدت ایکس نرم فوتودیود بررسی شده است.

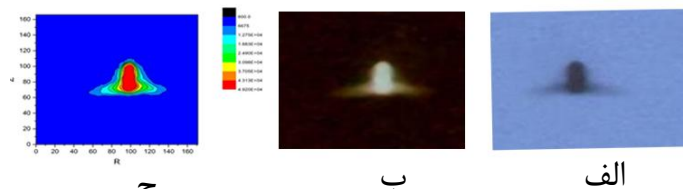
روش کار

دستگاه پلاسمای کانونی شریف از نوع مدر و انرژی $4/5\text{kJ}$ و با مشخصات $C_0 = 39\mu\text{F}$ ، $V_0 = 20\text{kV}$ ، $L_0 = 170\text{nH}$ ، $I_{\text{Max}} = 250\text{kA}$ می باشد. تعداد کاتد دستگاه ۶ عدد و آند به کار گرفته شده توپر و از جنس مس است. آشکارساز به کار گرفته شده برای ثبت تصویر پلاسمای تنگیده شده، فیلم رادیوگرافی KODAK می باشد. دوربین روزنه سوزنی به کار گرفته شده دارای قطر روزنه $500\mu\text{m}$ و موازی با الکتروود مرکزی دستگاه (آند) قرار گرفته است. تصویری از دوربین روزنه سوزنی شریف در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲- دوربین روزنه سوزنی دستگاه پلاسمای کانونی شریف.

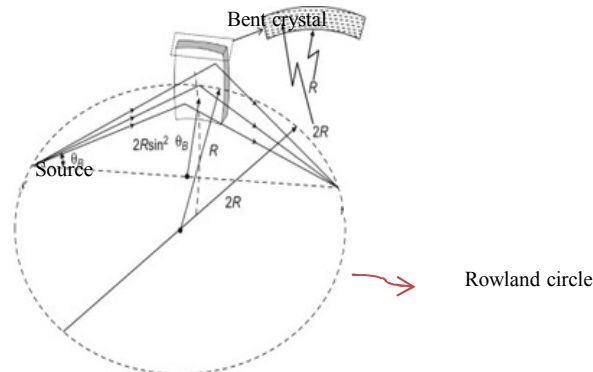
فیلتر استفاده شده $\text{Al}+\text{Mylar}$ به ضخامت ۱۲ میکرون است. فیلم‌های گرفته شده بوسیله دوربین روزنه سوزنی ابتدا از نگاتیو به پوزیتیو تبدیل شده و نهایتاً توسط نرم افزار Originpro به ماتریس تبدیل شده و برای شدت سنجی مورد تحلیل قرار گرفته شده اند. در شکل ۳ این مراحل نشان داده شده است.



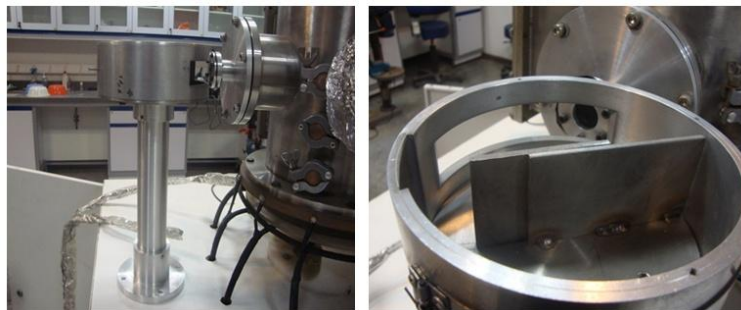
شکل ۳- مراحل شدت سنجی عکس‌های دوربین روزنه سوزنی. الف: تصویر ثبت شده از پلاسمای تشکیل شده توسط دوربین روزنه سوزنی، ب: تبدیل تصویر از نگاتیو و پوزیتیو، ج: تحلیل تصویر با نرم افزار Originpro و شدت سنجی آن.

طیف سنج بر اساس طرح جوهران طراحی و ساخت گردیده است. در این طراحی، چشمه، آشکارساز و مرکز انحنای کریستال خمیده بر روی یک منحنی دایره‌ای شکل به نام منحنی رولاند قرار دارند. بر اساس مدل جوهران

شعاع انحنای کریستال خمیده، دو برابر شعاع منحنی رولاند است. در شکل ۴ این طرح نشان داده شده است. تصویری از طیف سنج ساخته شده و نحوه چیدمان آزمایش در شکل ۵ آمده است.



شکل ۴- طرحی از طیف سنج ساخته شده و مدل جوهان. شعاع کریستال خمیده دو برابر شعاع منحنی رولاند



شکل ۵- چیدمان آزمایش و نحوه ی قرارگرفتن طیف سنج و دستگاه پلاسمای کانونی شریف.

برای شدت سنجی فیلم‌های گرفته شده توسط روزنه سوزنی و طیف های بدست آمده از طیف سنج، از شیوه قیاس نقطه به نقطه استفاده شده است. طبق این شیوه شدت یک نقطه از ستون پلاسمای تنگیده شده (ناحیه قرمز رنگ در شکل ۳-ج) نسبت به زمینه فیلم (وجه مشترک بین همه طیف‌ها) سنجیده و مقایسه می‌شود. این کار به این دلیل انجام گرفته است زیرا ستون پلاسمای گاز آرگون عمدتاً به صورت نقاط داغ است و نقاط داغ منبع اصلی گسیل ایکس نرم در دستگاه پلاسمای کانونی است [۱۰ و ۱۲].

نتایج

۱- نتایج آزمایش‌ها مربوط به اندازه‌گیری شرایط بهینه گسیل ایکس نرم پلاسمای کانونی

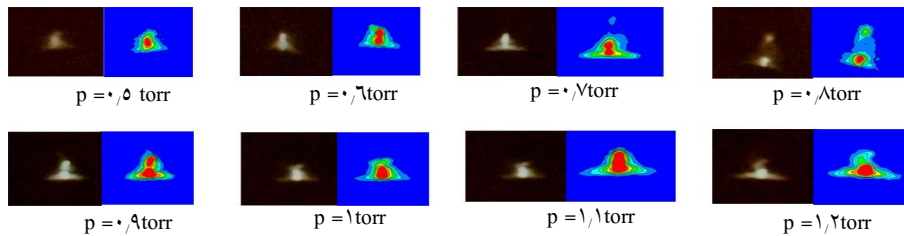
نتایج عکس‌های گرفته شده با دوربین روزنه سوزنی و تحلیل آن‌ها با نرم افزار Originpro به ازای ولتاژ ۱۸kV و فشارهای مختلف در شکل ۴ آمده است. همچنین نتایج بررسی صحت استفاده از این روش توسط آشکارساز فوتودیود در شکل ۵ آمده است. نتایج کلی محاسبات در جدول ۱ آمده است. همان گونه که در شکل ۵ مشاهده



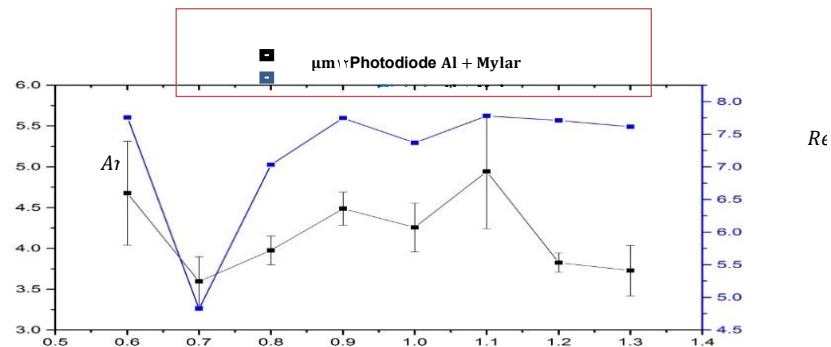
بیست و یکمین کنفرانس هفتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ و دانشگاه اصفهان

می‌شود، روند تغییرات برای هر دو آشکارساز مشابه هم می‌باشد. این نتیجه نشان داد که شدت سنجی به شیوه مقایسه نقطه به نقطه و به کمک تحلیل نرم افزار Originpro نتایج منطقی و قابل قبولی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- عکس‌های دوربین روزنه سوزنی با فیلتر $12 \mu\text{m}$ و تحلیل آن‌ها با نرم افزار Origin به ازای ولتاژ 18 kV و فشارهای مختلف.



شکل ۵- مقایسه نتایج شدت سنجی تصاویر دوربین روزنه سوزنی و آشکارساز فوتودیود برای فیلتر به ضخامت $12 \mu\text{m}$ ادر ولتاژ

18 kV و فشارهای مختلف.

جدول ۱- نتایج کلی شدت سنجی عکس‌های دوربین روزنه سوزنی بوسیله نرم افزار origin به ازای تمامی فشارها و ولتاژها

| فشار (Torr) | | | | | | | | ولتاژ (Kev) |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| ۱٫۲ | ۱٫۱ | ۱ | ۰٫۹ | ۰٫۸ | ۰٫۷ | ۰٫۶ | ۰٫۵ | |
| ۷٫۳۳۳ | ۶٫۹۸۵ | ۷٫۳۶۱ | ۶٫۷۹۱ | ۶٫۴۵۵ | ۶٫۵۳۱ | ۶٫۷۷۹ | ۶٫۸۸۸ | ۱۶ |
| ۵٫۱۲۴ | ۶٫۷۱۰ | ۶٫۶۰۰ | ۵٫۷۹۰ | ۶٫۵۳۱ | ۶٫۰۲۱ | ۵٫۰۲۷ | ۶٫۶۳۴ | ۱۷ |
| ۷٫۷۸۰ | ۷٫۷۸۲ | ۷٫۳۷۰ | ۷٫۷۷۸ | ۷٫۰۳۱ | ۴٫۸۲۷ | ۷٫۷۷۷ | ۶٫۴۶۱ | ۱۸ |

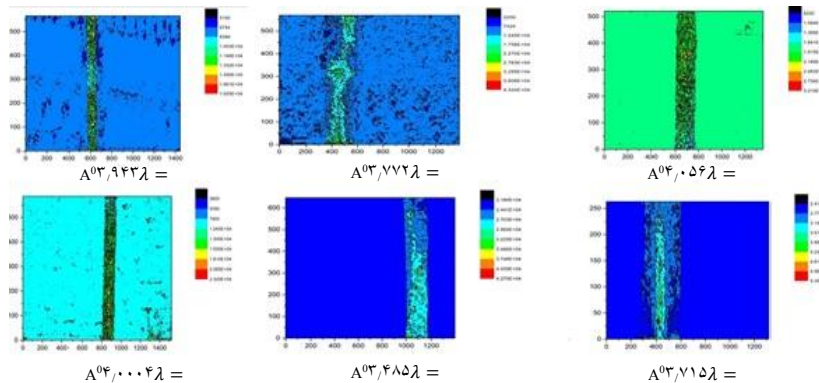
۲- نتایج آزمایش‌ها مربوط به طیف سنجی ایکس نرم پلاسمای کانونی

مراحل تحلیل خطوط طیف ثبت شده، مشابه فرایند تحلیل فیلم‌های دوربین روزنه سوزنی است. تحلیل شده شش خط طیفی ثبت شده بوسیله نرم افزار Originpro در شکل ۹ آمده است.



بیست و یکمین کنفرانس هفتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۹- تحلیل شدت خطوط طیفی بوسیله نرم افزار Originpro برای شش گذار اتمی ثبت شده.

جدول ۲ نتایج کلی طیف سنجی ایکس نرم پلاسمای یونیزه شده گاز آرگون را بر حسب طول موج، انرژی، زاویه پراش و گذار اتمی صورت گرفته نشان می دهد.

جدول ۲- نتایج کلی طیف سنجی بر حسب پارامترهای مختلف طیف.

| Wavelength (A ⁰) | Photon Energy (eV) | Transition | Ions | Relative Intensity | Relative Error | Diffraction Angle (Degree) |
|------------------------------|--------------------|----------------------------|----------|--------------------|----------------|----------------------------|
| ۳,۹۴۳ | ۳۱۴۴,۸۱ | $p^2s_1 - ^1s_1$ | Ar XVIII | ۱,۵۸۷ | ۰,۰۰۱۲ | ۲۳,۶۷ |
| ۳,۷۷۲ | ۳۲۸۷,۳۸ | $p^2s_1 - 1$ | Ar XVIII | ۱,۴۱۲ | ۰,۰۰۹۳ | ۲۲,۵۸ |
| ۴,۰۵۶ | ۳۰۵۷,۱۹ | $\tilde{p}^2s_1 p - ^1s_1$ | Ar XVI | ۱,۱۴۳ | ۰,۰۱۰۰ | ۲۴,۳۹ |
| ۴,۰۰۴ | ۳۰۹۹,۶۹ | $p^2s_1 - ^1s_1$ | Ar XVII | ۱,۴۸۸ | ۰,۰۰۷۸ | ۲۴,۰۳ |
| ۳,۶۸۵ | ۳۵۵۸,۱۰ | $p^3p^2s_1 p - ^1s_1$ | Ar XVI | ۱,۲۱۴ | ۰,۰۱۶۰ | ۲۰,۷۸ |
| ۳,۷۱۵ | ۳۳۳۷,۸۱ | $p^2s_1 - 1$ | Ar XVIII | ۱,۲۶۴ | ۰,۰۰۴۲ | ۲۲,۲۲ |

بحث و نتیجه گیری

با بررسی و تحلیل نتایج آزمایش ها می توان به این نتیجه رسید که به ازای ولتاژهای ۱۶kV، ۱۷kV و ۱۸kV به ترتیب در فشارهای ۱ torr، ۱/۱ torr و ۱/۱ torr بیشترین شدت گسیل پرتو ایکس نرم وجود دارد. تحلیل تصاویر روزنه سوزنی با نرم افزار Originpro و تایید نتایج آن با آشکارساز فوتودیود نشان داد که روش به کارگرفته شده قیاس نقطه به نقطه، نتایج منطقی و قابل قبولی را ارائه می دهد. همچنین نتایج نشان داد که به ازای هر ولتاژ ثابت، با افزایش فشار، فرم پلاسمای تشکیل شده از حالت ستونی به سمت نقطه ای شدن گرایش پیدا می کند و این نقاط در شرایط بهینه هر ولتاژ، چگال تر و نزدیک تر به هم می شوند. قطر نقاط داغ پلاسمای تنگیده ۸۰ μm اندازه گیری شد و ارتفاع و عرض ستون پلاسمای به ترتیب ۵,۸۸ mm و ۱,۲ mm اندازه گیری شد. نتایج طیف سنجی نشان داد که طیف نشری ایکس نرم پلاسمای آرگون یونیزه شده عمدتاً در بازه ی طول موجی ۳-۴A⁰ می باشد و این با نتایج



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

نشان داده شده قبلی [۱۳] در تطابق است. گذار اتمی مربوط به نشر طول موج $3.943A^0$ بیشترین شدت را در بین سایر خطوط طیفی دارد. نتایج استفاده از این شیوه نشان داد که یک روش قابل قبول برای طیف‌هایی که معیار شدت سنجی آن‌ها به صورت نسبی است، می‌باشد و این شیوه برای گازی همچون آرگون که پلاسمای یونیزه شده آن دارای طیف نشری طول موج بسیار نزدیک به هم است (زاویه پراش تقریباً $20-25A^0$) به خوبی جوابگو بوده است.

References

1. Y. kato, et al., j Vac.Sc.Technol.B, 195-198(1988).
2. W. Neff, et al., SPIE, 1140, 1310(1989).
3. N. A. Nyson, X-rays in Atomic and Nuclear Physics, University of Birmingham, 2nd Edition(1990).
4. Alin Constantin Patran, PHD. Thesis, Nanyang Technological University(2002).
5. A.R.Bbabazadeh, M.Vahdat Roshan and S.M.Sadat Kiai, Experimental Study of X-ray emission Yield in Fillipov- type plasma focus operating in Neon and Neon-Krypton mixture, Nukleonika, 2002.
6. P.S.Antiferov, K.N.Koshelev, A.E.Kramida and A.M.Panin, Appl. Phys. , 1989.
7. C.S.Wong, Ph.D.Dissertation, University of Malaya, 1983.
8. A.Cobble, R.P.Johnson, T.E.Cowan, R.Galloudec and M.Allen, J.Appl.phys. , 2002.
9. Reza Etaati, Investigation of Soft X-Ray, Hard X-Ray and Ion Emission in a Mather Type Plasma Focus Device, Amirkabir University of Technology, PHD Thesis, Tehran, 2011.
10. F.N.Beg and et al. , study of X-ray emission from a table top Plasma focus and its application as an X-ray backlighter, Journal of Applied Physics, 2000.
11. S.P.Abbasi, X-Ray Spectroscopy of Dena Plasma Focus with bent Crystal Spectrometer, MSC Thesis, Physics Department, K.N.T University, Tehran, (1384).
12. G. R. Etaati, et al., J. Fusion Energ., 29(2010).
13. Shan Bing, Comparative Study of Dynamics and X-Ray Emission of Several Plasma Focus Devices, PHD. Thesis. Nanyang Technological University, 191-192 (2010).