ФИЗИКА ПЛАЗМЫ, 2020, том 46, № 7, с. 613–620

ДИНАМИКА ПЛАЗМЫ

УДК 533.952,621.039.627

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕЙ ИНДУКТИВНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИНЧА И ВЫХОД РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НЕОНА В ПЛАЗМЕННОМ ФОКУСЕ ТИПА ФИЛИППОВА

© 2020 г.
M. A. Mohammadi[a, b, *], M. Manouchehrizadeh[a], R. S. Rawat[c]

[a] *Department of Atomic and Molecular Physics, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[b] *Research Center of Astrophysics and Applied Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[c] *Natural Sciences and Science Education, National Institute of Education, Nanyang Technological University, Nanyang, Singapore*

**e-mail: mohammadidorbash@yahoo.com*

Поступила в редакцию 30.09.2019 г.
После доработки 13.12.2019 г.
Принята к публикации 20.01.2020 г.

До настоящего времени влияние индуктивности на выход рентгеновского излучения в установках “плазменный фокус” типа Филиппова не было детально описано в литературе. В данной работе установка плазменный фокус типа Филиппова на 90 кДж используется для экспериментального исследования влияния трех различных внешних индуктивностей (20, 40 и 60 нГн) на ток пинча и выход мягкого рентгеновского излучения неона. Полученные результаты для трех индуктивностей показывают, что при внешней индуктивности 60 нГн генерируется максимальный ток пинча при высоких напряжениях (12–13 кВ). Также установлено, что при внешней индуктивности 60 нГн большая доля максимального тока переносится в плазменный шнур. Эксперименты показывают, что отношение пинчевого и максимального токов для 60 нГн больше, чем для двух других внешних индуктивностей. Влияние внешней индуктивности на мягкое рентгеновское излучение неона при постоянном давлении (0.25 Торр) и различных напряжениях (10–13 кВ) исследовано с помощью пятиканального диодного рентгеновского спектрометра. Для трех внешних индуктивностей средний выход мягкого рентгеновского излучения при 11 кВ имеет максимальное значение на 40 и 60 нГн, а при 12 кВ – на 20 нГн. Максимальная энергия, выносимая мягким рентгеновским излучением, составляет 24.87 ± 2.52 Дж при внешней индуктивности 20 нГн. С увеличением внешней индуктивности максимальное рентгеновское излучение неона уменьшается.

Ключевые слова: плазменный фокус, индуктивность, рентгеновское излучение неона

DOI: 10.31857/S0367292120070070

1. ВВЕДЕНИЕ

Плотный плазменный фокус (DPF) создает плазму с высокой плотностью (~10^{25}–10^{26} м$^{-3}$) и высокой температурой (~1–2 кэВ), используя самогенерацию магнитного поля [1, 2]. Первоначально эти установки предназначались для термоядерного синтеза. На них при использовании дейтерия в качестве рабочего газа были получены интенсивные вспышки нейтронов [3, 4]. В DPF возникает разряд между внутренним и внешним электродами, после чего токовая оболочка, сформированная на изоляторе, начинает осевое движение. В конце осевой фазы токовая оболочка входит в радиальную фазу, и на этой фазе образуется плазменный шнур [5–7]. Установки DPF являются важными источниками быстрых ионов [8, 9], релятивистских электронов [10, 11], нейтронов [12–14] мягкого/жесткого рентгеновского излучения [5, 12, 15–22]. Эти пучки имеют различное применение в науке и технике. Например, ионные пучки использовались для обработки материалов, формирования наноструктуры, ионной имплантации и осаждения тонких пленок [22–26]. Мягкое рентгеновское излучение (*SXR*) использовалось для рентгеновской литографии и микрообработки, рентгенографии, активации ферментов и дефектоскопии [27–31]. Многочисленные исследования продемонстрировали применение этих установок в качестве источника нейтронов для модификации материалов, медицины и для проверки безопасности [32–34]. Некоторые исследования плазменного фокуса были связаны с динамикой токовой оболочки и пинчеванием шнура. На выход рентгеновского излуче-

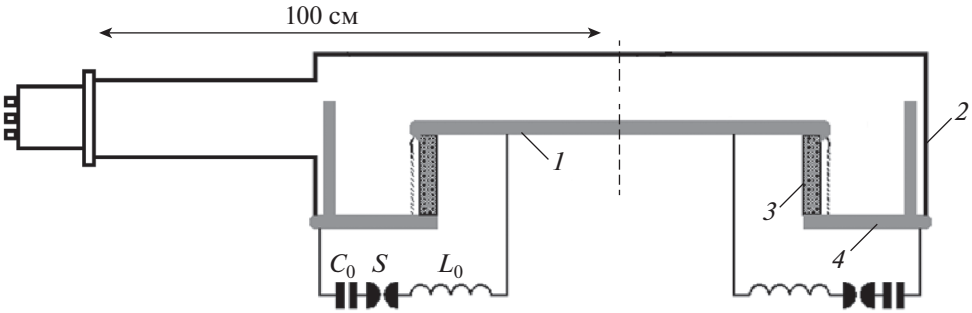

Рис. 1. Схема плазменного фокуса Sahand с открытым “беличьим колесом”. *1* – анод, *2* – катод, *3* – изолятор, *4* – разрядная камера.

ния влияют многие параметры, в том числе: сорт газа, рабочее давление, зарядное напряжение, индуктивность системы и конструкция (форма и материал) анода и катода [16, 35]. Существенное влияние на рентгеновское излучение DPF оказывает внешняя индуктивность. Роль внешней индуктивности в DPF типа Филиппова изучена в [36]. Влияние внешней индуктивности на параметры плазмы и нейтронный выход в плазменном фокусе типа Мейзера численно исследовалось в предыдущих работах [37, 38]. Было показано, что внешняя индуктивность влияет на максимальный и пинчевой ток и на нейтронный выход. Также был сделан вывод, что для большего нейтронного выхода существует оптимальная внешняя индуктивность. До настоящего времени детальные эксперименты по влиянию индуктивности на выход рентгеновского излучения в плазменном фокусе типа Филиппова не были описаны в литературе. Основная цель этой статьи заключается в том, чтобы изучить, как изменение важного параметра – внешней индуктивности – влияет на выход *SXR*. В данной работе экспериментально прослеживается влияние внешней индуктивности на максимум тока, на ток пинча и на отношение тока пинча к максимальному току. Также изучено влияние зарядного напряжения при различной внешней индуктивности на выход *SXR* и на параметры плазмы с неоном в качестве рабочего газа.

2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводились на установке Sahand – плазменном фокусе типа Филиппова. На рис. 1 показана схема установки. Емкость конденсаторной батареи, максимальное зарядное напряжение и пиковый ток разряда соответственно составляют 288 мкФ, 25 кВ и 1.1 МА [19].

Катод представляет собой “беличье колесо”, состоящее из 24 латунных стержней с открытым концом, помещенных вокруг анода диаметром 74 см. Анод – это медный диск диаметром 50 см, расположенный в верхней части керамического изолятора. Диаметр и высота изолятора соответственно составляют 48 и 11 см. Все это установлено в разрядной камере из нержавеющей стали, имеющей диаметр 76 см и высоту 26 см. Конденсаторная батарея соединена с искровым разрядником через 96 коаксиальных кабелей. Для изучения влияния внешней индуктивности на параметры плазмы и выход *SXR* использовались три внешние индуктивности со значениями 20, 40 и 60 нГн.

Для измерения тока и его производной используется специальный пояс Роговского. [6]. Сигналы *SXR* регистрируются пятиканальным диодным рентгеновским спектрометром (DXS). Он находится на расстоянии одного метра от зоны пинча, рис. 1. В данной работе в DXS используется фотодиод BPX65 без окон. Один из каналов DXS закрыт 20 мкм Al фольгой, а в другом канале в качестве фильтров помещены 10 мкм Al + + 125 мкм майлар.

Для записи данных использовался четырехканальный цифровой осциллограф Tektronix (ширина полосы 200 МГц и частота дискретизации 2×10^9 с$^{-1}$). Результаты были получены усреднением по 15 разрядам для каждого рабочего напряжения.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В этой работе эксперименты на неоне с давлением 0.25 Торр проводились при разных индуктивностях и разных напряжениях. Диапазон напряжений зарядки конденсаторной батареи составляет 10–13 кВ. Типичные сигналы производной тока, тока и рентгеновского излучения демонстрируются на рис. 2. Быстрое падение кривой производной тока соответствует образованию плазменного шнура. С интервалами 5–6 мкс создается плазменный шнур, а затем из-за неустойчивости он разрушается. На рис. 3 показаны типичные сигналы тока и производных тока трех разных внешних индуктивностей (20, 40 и 60 нГн)

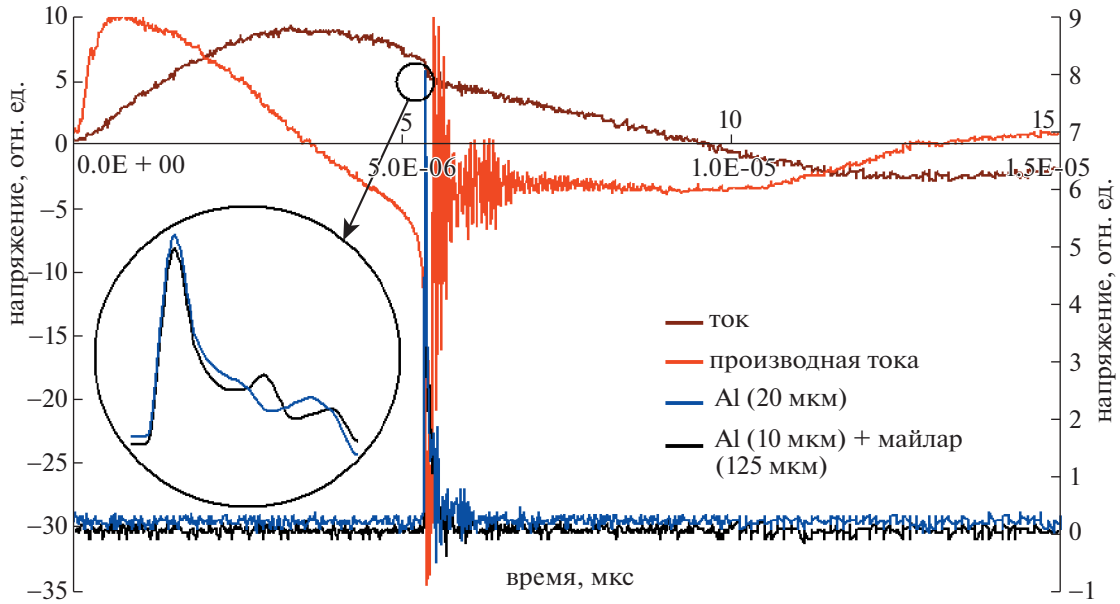

Рис. 2. Типичные сигналы тока, производной тока и рентгеновского излучения.

при одинаковых давлениях и зарядных напряжениях (0.25 Торр и 13 кВ). Изменение индуктивности влияет на максимальный ток и ток пинча, а также на время пинчевания, что будет отражено на следующих рисунках. Так же из рис. 3 видно, что при низкой индуктивности (20 нГн) отрицательный пик падения производной тока является самым сильным.

На рис. 4 показано изменение среднего максимального тока ($I_{\max}$) в зависимости от рабочего напряжения для разных индуктивностей. Видно, что с увеличением зарядного напряжения максимальный ток увеличивается почти линейно. Рисунок также показывает, что максимальный ток для всех напряжений при использовании индуктивности 20 нГн больше, чем с двумя другими индуктивностями. Из соотношения $I_{\max} = V\sqrt{C_0/L}$ следует, что для батареи с фиксированной емкостью квадрат максимального тока зависит от обратной индуктивности. При меньших индуктивностях максимальный ток больше.

На рис. 5 представлен экспериментальный результат изменения среднего тока пинча (I_{pinch}) с рабочим напряжением для трех различных внешних индуктивностей. Обнаружено, что ток пинча при низких напряжениях (10–11 кВ) уменьшается с увеличением индуктивности, тогда как при высоких напряжениях (12–13 кВ) ток пинча при использовании большой индуктивности увеличивается.

Процентное соотношение $I_{pinch}/I_{\max}$ для трех различных внешних индуктивностей показано на рис. 6. С увеличением индуктивности доля $I_{pinch}/I_{\max}$ увеличивается. Наибольшая энергия, передаваемая в плазменный шнур, наблюдается при индуктивности 60 нГн, в то время как на рис. 4 самый большой максимальный ток связан с индуктивностью 20 нГн.

Соотношение между I_{pinch} и $I_{\max}$ было получено Ли [38]:

$$I_{pinch}^2 = I_{\max}^2 \left(L_0 + 0.5L_a\right)/\left(2L_0 + L_a + 2L_p\right). \quad (1)$$

Здесь L_0 – внешняя индуктивность, L_p – индуктивность пинча и L_a – индуктивность осевой фазы. Для плазменного фокуса типа Филиппова членом L_a можно пренебречь, так что уравнение (1) можно записать как

$$I_{pinch}/I_{\max} = \sqrt{L_0/(2L_0 + 2L_p)}. \quad (2)$$

Отсюда следует, что, уменьшая L_0, можно увеличить L_p и $I_{\max}$. Это уравнение исследовано Ли и др. в работе [36]. В численном эксперименте они показали, что при уменьшении L_0 отношение $I_{pinch}/I_{\max}$ уменьшается. Из рис. 6 тоже следует, что при уменьшении L_0 величина $I_{pinch}/I_{\max}$ уменьшается.

Как сказано в предыдущем разделе, для записи сигналов *SXR* от неона использовался диодный рентгеновский спектрометр. DXS состоит из фотодиодов BPX65 (без окон), покрытых парой фильтров Росса: (I) 20 мкм Al и (II) 10 мкм Al + + 125 мкм майлар. Кривые пропускания фотодиода с этими фильтрами приведены на рис. 7. Из него видно, что эти фильтры подходят для обнаружения *SXR* неона в диапазоне энергий 900–1550 эВ [39].

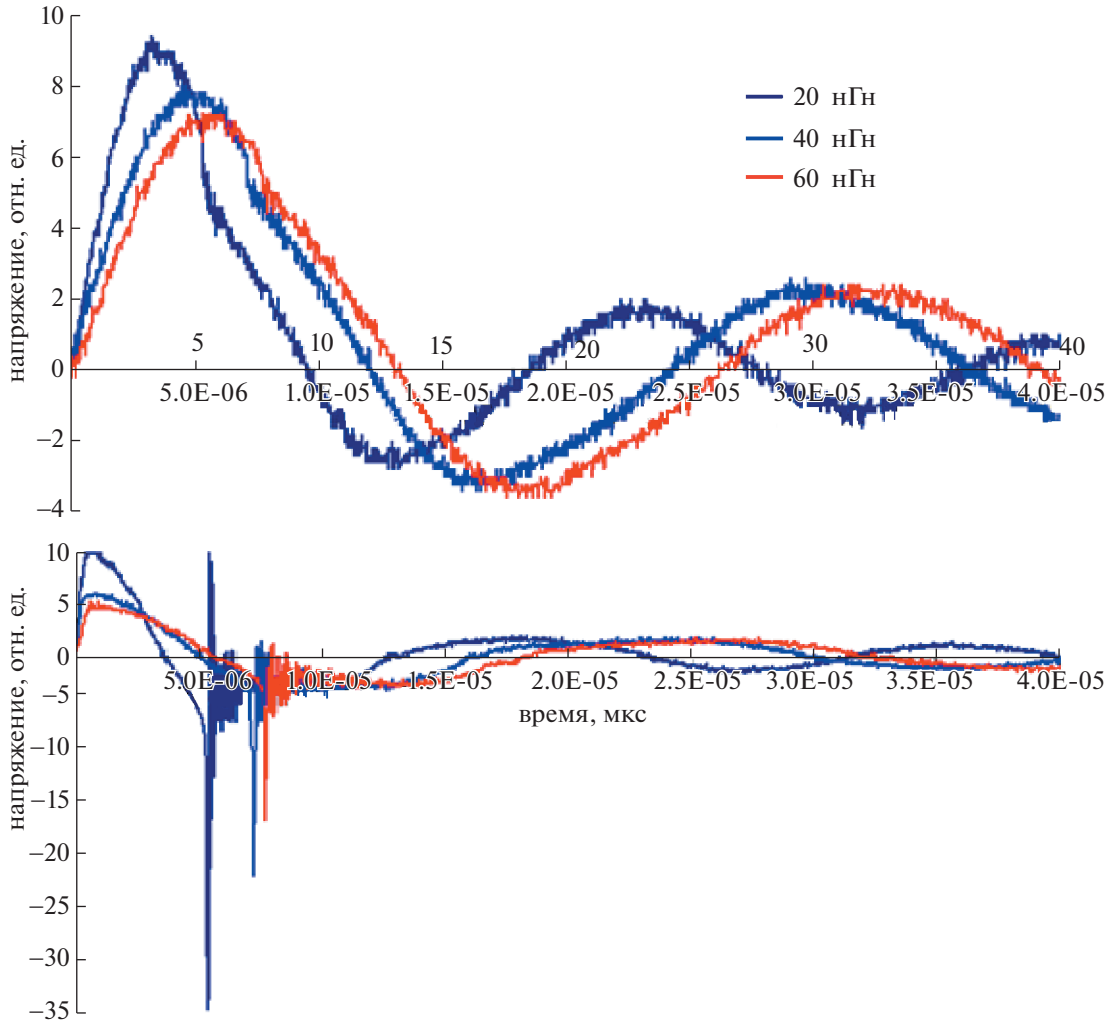

Рис. 3. Типичные сигналы тока и производной тока для трех индуктивностей.

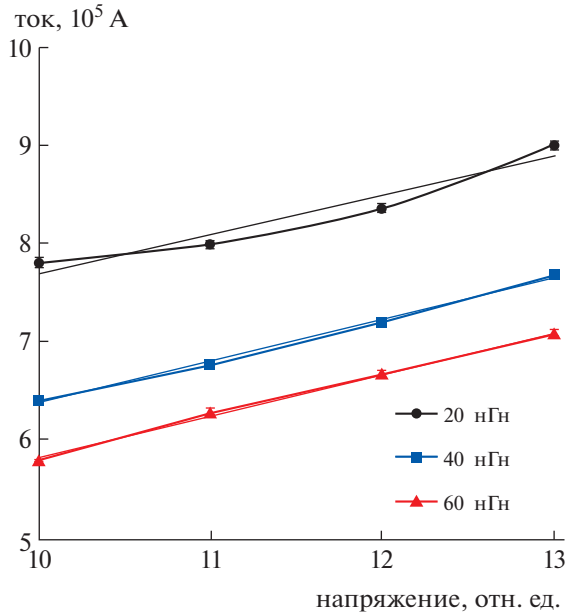

Рис. 4. Зависимость максимального тока от зарядного напряжения для трех индуктивностей.

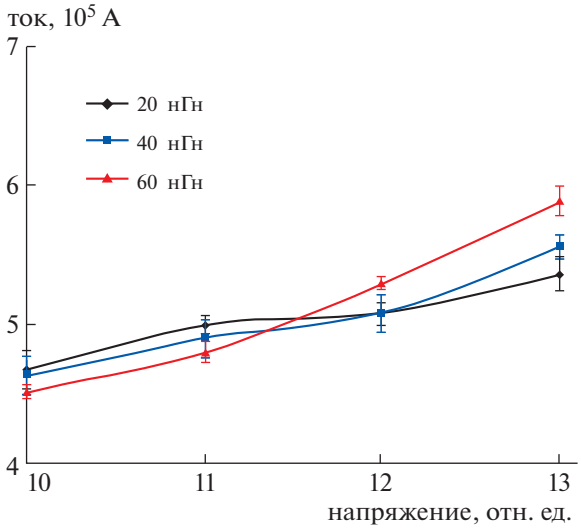

Рис. 5. Зависимость тока пинча от напряжения для трех индуктивностей.

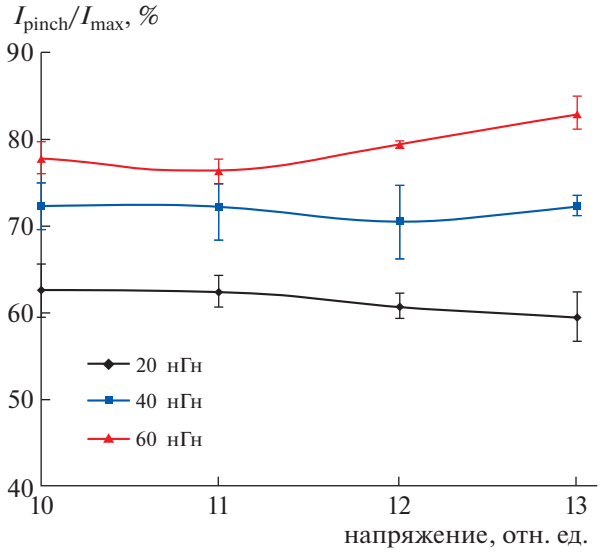

Рис. 6. Отношение тока пинча к максимальному току (в процентах) при различном напряжении для трех индуктивностей.

Предположим, что мощность K-оболочки неона, излучаемая плазменным фокусом, равна $P(t)$. Тогда интегральный выход энергии K-оболочки будет равен

$$Y_{K-shell} = \int_0^{\tau} P(t)dt. \quad (3)$$

Мощность рентгеновского излучения, падающего на фотодиод BPX65 с чувствительной площадью 1 мм^2, на расстоянии 100 см от плазменного шнура, составляет

$$P_{abs} = \frac{P(t)}{4\pi(100)^2}(0.01) \approx 7.95\times10^{-8}P(t)\ [\text{Вт}]. \quad (4)$$

Напряжение, $V(t)$, генерируемое BPX65 на резисторе 50 Ом, равно

$$V(t) = P_{abs}\times f\times 50 \approx 3.97\times10^{-6}\times P(t)\times f\ [\text{В}], \quad (5)$$

где f — частичная спектрально-взвешенная чувствительность детектора для фотодиода BPX65. Лью [39] определил спектр неона. Этот спектр использовался для расчета f. Величина f для фильтров, указанных выше, при давлении 0.25 Торр равна 1.7 × 10^{-2} Кл/Дж. Уравнение (3) можно представить как

$$Y_{K-shell} = 1.482\times10^{7}\int_0^{\tau} V(t)dt\ [\text{Дж}]. \quad (6)$$

Рис. 8 иллюстрирует изменение среднего выхода *SXR* неона при разных зарядных напряжениях и разных внешних индуктивностях. Интересно отметить, что изменение внешней индуктивности влияет на выход *SXR* из DPF, заполненного неоном. Выход *SXR* нелинейно зависит от внешней индуктивности. Зависимости выхода *SXR* от напряжения ведут себя аналогично, достигая максимума, а затем уменьшаясь. Тем не менее, в этих зависимостях выхода *SXR* есть некоторые различия.

Зависимость максимального выхода *SXR* неона от индуктивности показана на рис. 9. Видно, что максимум среднего выхода *SXR* увеличивает-

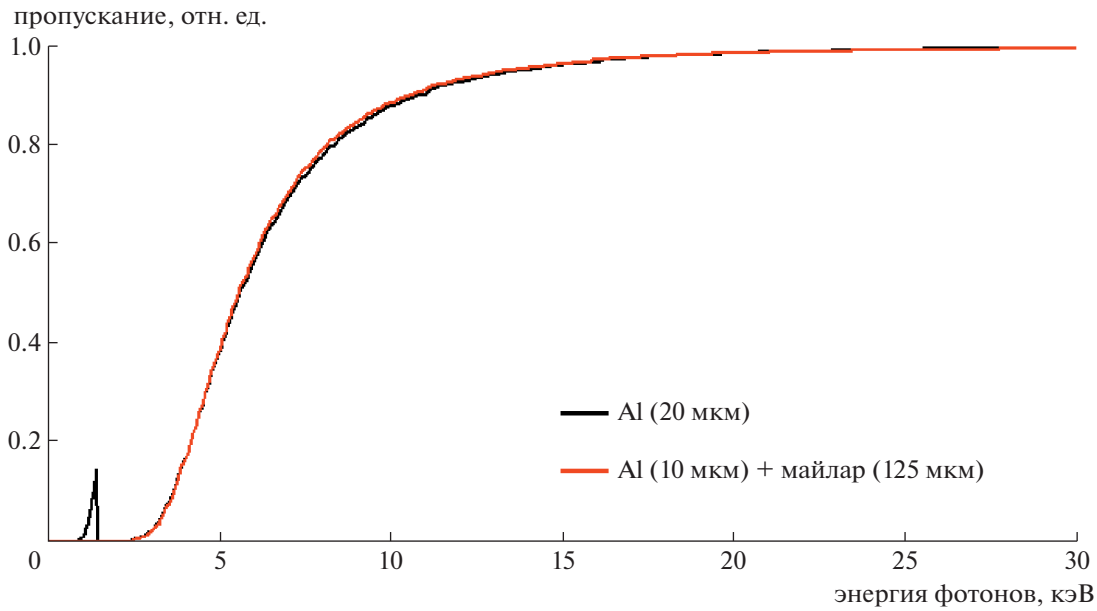

Рис. 7. Кривая пропускания 20 мкм алюминия и 10 мкм алюминия плюс 125 мкм майлара.

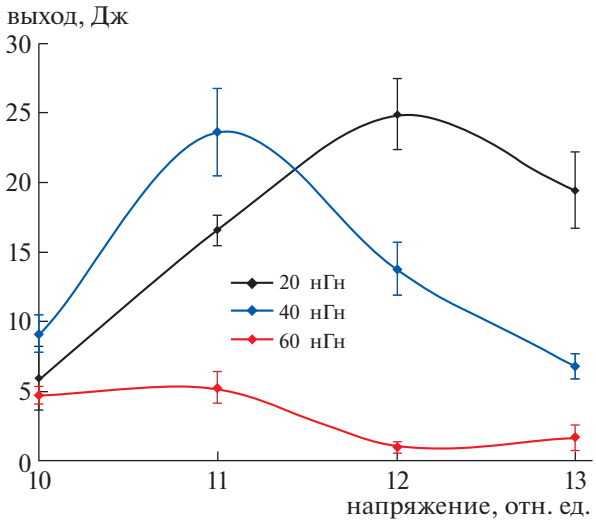

Рис. 8. Изменение выхода рентгеновского излучения (*SXR*) неона при различном напряжении для трех индуктивностей.

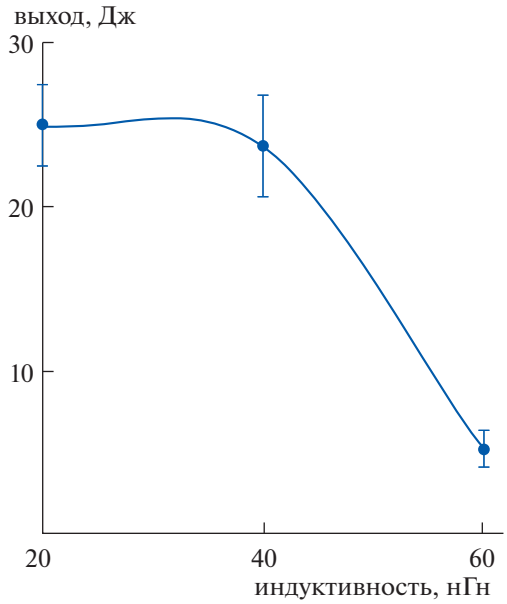

Рис. 9. Зависимость максимального выхода рентгеновского излучения неона от индуктивности.

ся с уменьшением внешней индуктивности. Для каждой индуктивности существует оптимальное напряжение, при котором значение *SXR* имеет максимальное значение. Максимальный выход *SXR* для напряжений ниже 12 кВ достигается при 40 нГн и составляет 23.62 ± 3.10 Дж при 11 кВ. С другой стороны, 20 нГн является оптимальной индуктивностью для напряжений выше 12 кВ, и самый высокий зарегистрированный выход *SXR* для этой индуктивности составляет 24.87 ± 2.52 Дж при 12 кВ. Это означает, что каждый диапазон напряжения имеет индуктивность, максимальную для выхода *SXR*. В этом эксперименте индуктивности 60 нГн отвечает самый слабый выход *SXR*, наибольшее зарегистрированное значение которого составляет 5.23 ± 1.15 Дж при 11 кВ. Также обнаружено, что для наивысшего выхода рентгеновского излучения из установки Sahand в любых рабочих условиях необходима подходящая внешняя индуктивность. С другой стороны, индуктивности 20 и 40 нГн являются оптимальными для *SXR*-излучения из плазменного фокуса Sahand. Ли и др. [37] провели численный эксперимент по выходу нейтронов из установки PF-1000 при постоянном напряжении и индуктивностях в диапазоне 5–100 нГн. Они обнаружили, что для этой установки существует оптимальная индуктивность, при которой выход нейтронов максимален. В нашей работе экспериментальные результаты по *SXR* на установке Sahand аналогичны результатам численных расчетов нейтронного выхода на установке PF-1000. Существует оптимальная индуктивность, при которой выход *SXR* максимален.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании установок плазменного фокуса одним из важных параметров является внешняя индуктивность, влияющая на *SXR*-излучение. Для этого было изучено влияние внешней индуктивности на максимальный ток, ток пинча и *SXR*-излучение в плазменном фокусе Sahand. При низких напряжениях (10 и 11 кВ) и использовании внешней индуктивности 20 нГн ток пинча был выше, чем при двух других внешних индуктивностях, но при высоких напряжениях и использовании внешней индуктивности 60 нГн ток пинча был больше, чем при двух других внешних индуктивностях. Результаты также подтверждают, что при индуктивности 60 нГн отношение пинчевого тока к максимальному было больше, чем при двух других индуктивностях. С помощью пятиканального диодного рентгеновского спектрометра исследовано влияние внешней индуктивности на мягкое рентгеновское излучение неона при постоянном давлении (0.25 Торр) и различных напряжениях (10–13 кВ). При трех внешних индуктивностях средний выход *SXR* неона достигал максимального значения при 11 кВ для 40 и 60 нГн, и при 12 кВ – для 20 нГн. Максимальный средний выход *SXR* при внешних индуктивностях 20, 40 и 60 нГн соответственно составлял 24.87 ± 2.52 Дж, 23.62 ± 3.10 Дж и 5.23 ± ± 1.15 Дж. Экспериментальные результаты показывают, что с увеличением внешней индуктивности максимальный выход *SXR* неона уменьшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Filippov N.V., Filippova T.I., Vinogradov V.P.* // Nucl. Fusion. Suppl. 1962. V. 2. P. 577.
2. *Mather J.W.* // Phys. Fluids. 1964. V. 7. P. S28.
3. *Zakaullah M., Murtaza G., Qamar S., Ahmad I., Beg M.M.* // Phys. Scripta. 1996. V. 53. P. 360.
4. *Mohammadi M.A., Sobhanian S., Rawat R.S.* // Phys. Lett. A. 2011. V. 375. P. 3002.
5. *Mohammadi M.A., Sobhanian S., Ghomeshi M., Ghareshabani E., Moslehi-fard M., Lee S., Rawat R.S.* // J. Fusion Energy. 2009. V. 28. P. 371.
6. *Mohammadi M.A., Hedyeh S.* // Plasma Sci. Technol. 2015. V. 17. P. 353.
7. *Mohamad S.N., Rashid N.A., Halim M.M., Ali J.* // Amer. Inst. Phys. 2018. 030004.
8. *Wong D., Patran A., Tan T.L., Rawat R.S., Lee P.* // IEEE Trans. Plasma Sci. 2004. V. 32. P. 2227.
9. *Ghareshabani E., Mohammadi M.A.* // J. Fusion Energy. 2012. V. 31. P. 595.
10. *Patran A., Stoenescu D., Rawat R.S., Springham S.V., Tan T.L., Tan L.C., Rafique M.S., Lee P., Lee S.* // J. Fusion Energy. 2006. V. 25. P. 57.
11. *Akel M., Saw S.H., Lee S.* // IEEE Trans. Plasma Sci. 2017. 45. P. 2303.
12. *Akel M., Ismael M.S., Lee S., Saw S.H.* // IEEE Trans. Plasma Sci. 2017. V. 45. P. 2979.
13. *Kubes P., Paduch M., Sadowski M.J., Cikhardt J., Cikhardtova B., Klir D., Kravarik J., Munzar V., Rezac K., Zielinska E., Skladnik-Sadowska E., Szymaszek E.A., Tomaszewski K., Zaloga D.* // Phys. Plasmas. 2018. V. 25. 012712.
14. *Niranjan R., Rout R.K., Srivastava R., Kaushik T.C.* // J. Appl. Phys. 2018. V. 123. P. 093301.
15. *Zakaullah M., Alamgir K., Shafiq M., Sharif M., Waheed A.* // IEEE Trans. Plasma Sci. 2002. V. 30. P. 2089.
16. *Shafiq M., Hussain S., Waheed A., Zakaullah M.* // Plasma Sources Sci. Technol. 2003. V. 12. P. 199.
17. *Bhuyan H., Mohanty S.R., Neog N.K., Bujarbarua S., Rout R.K.* // J. Appl. Phys. 2004. V. 95. P. 2975.
18. *Ahmad S., Qayyum A., Hassan M., Zakaullah M.* // Plasma Phys. Rep. 2017. 43, 749.
19. *Mohammadi M.A., Piri A., Manochehrizadeh M., Rawat R.S.* // J. Fusion Energy. 2017. V. 36. P. 240.
20. *Filippov N.V., Filippova T.I., Khutoretskaia I.V., Mialton V.V., Vinogradov V.P.* // Phys. Lett. A. 1996. V. 211. P. 168.
21. *Filippov N.V., Filippova T.I., Karakin M.A., Krauz V.I., Tykshaev V.P., Vinogradov V.P., Bakulin Y.P., Timofeev V.V., Zinchenko V.F., Brzosko J.R., Brzosko J.S.* // IEEE Trans. Plasma Sci. 1996. V. 24. P. 1215.
22. *Данько С.А., Митрофанов К.Н., Крауз В.И., Мялтон В.В., Жужунашвили А.И., Виноградов В.П., Харрасов А.М., Ананьев С.С., Виноградов Ю.В., Калинин Ю.Г.* // Физика плазмы. 2015. Т. 41. С. 955. [S.A. Dan'ko, K. N. Mitrofanov, V.I. Krauz, V.V. Myalton, A.I. Zhuzhunashvili, V.P. Vinogradov, A.M. Kharrasov, S.S. Anan'ev, Yu.V. Vinogradova, Yu.G. Kalinin // Plasma Phys. Rep. 2015. V. 41. P. 882]
23. *Karamat S., Rawat R.S., Tan T.L., Lee P., Springham S.V., Ghareshabani E., Chenand R., Sun H.D.* // Appl. Surf. Sci. 2011. V. 257. P. 1979.
24. *Valipour M., Mohammadi M.A., Sobhanian S., Rawat R.S.* // J. Fusion Energy. 2012. V. 31. P. 65.
25. *Rawat R.S.* // IEEE Trans. Plasma Sci. 2013. V. 41. P. 701.
26. *Крауз В.И., Химченко Л.Н., Мялтон В.В., Виноградов В.П., Виноградова Ю.В., Гуреев В.М., Койдан В.С., Смирнов В.П., Фортов В.Е.* // Физика плазмы. 2013. Т. 39. С. 326. [V.I. Krauz, L.N. Khimchenko, V.V. Myalton, V.P. Vinogradov, Yu.V. Vinogradova, V.M. Gureev, V.S. Koidan, V.P. Smirnov, V.E. Fortov // Plasma Phys. Rep. 2013. V. 39. P. 289]
27. *Kato Y., Be S.H.* // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. P. 686.
28. *Beg F.N., Ross I., Lorenz A., Worley J.F., Dangor A.E., Haines M.G.* // J. Appl. Phys. 2000. V. 88. P. 3225.
29. *Gribkov V.A., Srivastava A., Keat P.L.C., Kudryashov V., Lee S.* // IEEE Trans. Plasma Sci. 2002. V. 30. P. 1331.
30. *Rawat R.S., Zhang T., Lim G.J., Tan W.H., Ng S.J., Patran A., Hassan M., Springham S.V., Tan T.L., Zakaullah M., Lee P., Lee S.* // J. Fusion Energy. 2004. V. 23. P. 49.
31. *Hussain S., Shafiq M., Ahmad R., Waheed A., Zakaullah M.* // Plasma Sources Sci. Technol. 2005. V. 14. P. 61.
32. *Gribkov V., Dubrovsky A., Scholz M., Jednorog S., Karpinski L., Tomaszewski K., Paduch M., Miklaszewski R., Pimeno V., Ivanov L.I., Dyomina E.V., Maslyaev S.A., Orlova M.A.* // Nukleonika. 2006. V. 51. P. 55.
33. *Pimenov V., Gribkov E., Dubrovsky A., Ugaste U., Laas T., Scholz M., Miklaszewsk R., Kolmanand B., Tartari A.* // Nukleonika. 2008. V. 53. P. 111.
34. *Roshan M.V., Razaghi S., Asghari F., Rawat R.S.* // Phys. Lett. A. 2014. V. 37. P. 2168.
35. *Mohammadi M.A., Sobhanian S., Wong C.S., Lee S., Lee P., Rawat R.S.* // J. Phys. D: Appl. Phys. 2009. V. 42. 45203.
36. *Филиппов Н.В.* // Физика плазмы. 1983. Т. 9. С. 25. [N.V. Filippov // Sov. J. Plasma Phys. 1983. V. 9. P. 22]
37. *Lee S., Lee P., Saw S.H., Rawat R.S.* // Plasma Phys. Control. Fusion. 2008. V. 50. 065012.
38. *Lee S., Saw S.H.* // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 92. P. 25.
39. *Liu M.H.* Soft X-rays from compact plasma focus. Nanyang Technological University, 1996.

Перевод С.Е. Лысенко

Experimental study of the Effect of External Inductance on Pinch Characteristics and Neon Soft X-Ray Yield in Filippov Type Plasma Focus Device

M. A. Mohammadi[1, 2, #], M. Manouchehrizadeh[1], and R. S. Rawat[3]

[1] *Department of Atomic and Molecular Physics, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[2] *Research Center of Astrophysics and Applied Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[3] *Natural Sciences and Science Education, National Institute of Education, Nanyang Technological University, Nanyang, Singapore*

#e-mail: mohammadidorbash@yahoo.com

So far, the detailed experimental effect of the inductance on the X-ray yield in the Filippov type plasma focus devices have not been documented in literatures. In this paper, a 90 kJ Filippov type plasma focus device is used to investigate the effect of three different external inductances (20, 40 and 60 nH) on the pinch current and neon soft X-ray (SXR) yield experimentally. The obtained results for the three inductances show that the 60 nH inductance produces maximum pinch current for high voltages (12, 13 kV). The results also show that with using 60 nH external inductance, a more fraction of maximum current is transferred into the plasma column. Experimental results show that the ratio of pinch to maximum currents for 60 nH is more than two other external inductances. The effect of external inductance on the neon soft X-ray emission at constant pressure (0.25 Torr) and different voltages (10–13 kV) is investigated with a five-channel diode X-ray spectrometer. In three external inductances, the average neon SXR yield has a maximum value at 11 kV for 40 and 60 nH, 12 kV for 20 nH. The maximum neon SXR yield energy is 24.87 ± 2.52 J for the external inductance 20 nH at 12 kV and for the external inductance 40 nH is 23.62 ± 3.10 J at 11 kV and for external inductance 60 nH is 5.23 ± ± 1.15 J at 11 kV. Experimental results show that with increasing of external inductance, the maximum neon SXR is decreased.

Key words: plasma focus, inductance, neon SXR