

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

ТИЛИКИНА ИВАНА НИКОЛАЕВИЧА

«ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИБРИДНЫХ X-ПИНЧЕЙ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы

Рассматриваемая работа посвящена исследованию процесса взрыва и пинчевания проволоочки гибридного X-пинча, приводящей к образованию единичной горячей плазменной точки. Непосредственно задачей диссертации являлось, с одной стороны, фундаментальное исследование процесса образования приэлектродной плазмы, ее расширения и влияния этой плазмы на динамику пинча, а, с другой, проведение оптимизации гибридных X-пинчей, получаемых на различных установках, с целью создания источника жесткого электромагнитного и корпускулярного излучений для задач радиографии.

На сегодняшний день существует немного способов создания в лабораторных условиях плотной высокотемпературной плазмы. Фактически это нагрев твердотельных мишеней импульсами оптических лазеров или лазеров рентгеновского диапазона и взрыв проволочек. В последнем случае наиболее удобным оказалось использование конфигурации X-пинча при которой удастся локализовать область образования единичной горячей

плазменной точки. В рассматриваемой работе предлагается использование более простой и технологичной конфигурации, получившей название гибридного X-пинча. Таким образом, в диссертации изучается один из немногих способов генерации плотной горячей плазмы, что и обуславливает **актуальность** исследования.

Научная новизна работы определяется, в частности, тем, что в ней впервые проведено детальное исследование динамики гибридных X-пинчей и выявлено основополагающее влияние приэлектродной плазмы на процесс формирования горячей точки.

Также несомненна и **практическая ценность** работы, поскольку предложенные конфигурации гибридных X-пинчей, обладающие большей технологичностью, меньшим уровнем фоновой подсветки и большей стабильностью, могут успешно применяться в качестве источника рентгеновского и бета-излучений при радиографии различных плазменных и медико-биологических объектов, а также в задачах рентгеновской спектроскопии, как эмиссионной, так и абсорбционной.

Поскольку кандидатская диссертация является, в первую очередь, квалификационной работой, то необходимо отметить, что свою **высокую квалификацию** автор продемонстрировал, в частности, успешным проведением экспериментов на очень разных установках. Хотя работа является преимущественно экспериментальной, автор продемонстрировал также умение использовать современные расчетные методы при интерпретации полученных данных. Это и расчет дифракционных картин,

позволивший определить размер горячей точки гибридного X-пинча, и расчет плотности плазмы на начальной стадии взрыва по анализу интерференционных картин.

Следует также отметить, что **степень обоснованности** научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, и их **достоверность** у меня не вызывает никаких сомнений. В целом диссертация написана хорошо, и читается как цельное научное исследование. Тем не менее, хотелось бы сделать несколько критических замечаний, не касающихся качества проведенной работы, а связанных исключительно с представлением полученных результатов.

1) Автор время от времени сопоставляет характеристики гибридного X-пинча со «стандартным рентгеновским источником», под которым понимает рентгеновскую трубку. Лет 50 назад, такое сравнение было по сути единственно возможным. В настоящее время рентгеновские трубки также являются наиболее распространенным технологическим источником. Но если говорить о применении в научных исследованиях, особенно в области физики высоких плотностей энергии, то «стандартными» сейчас скорее можно считать лазерную плазму, X-пинч и рентгеновские лазеры как на свободных электронах, так и плазменные. Очень жаль, что в диссертации нет сравнения гибридных X-пинчей именно с такими рентгеновскими источниками.

При этом, было бы полезно сопоставить гибридный X-пинч как источник высокотемпературной плотной плазмы с лазерной плазмой и

плазмой обычного X-пинча. Это можно было бы сделать в виде развернутой таблицы, которая давала бы представление читателю о том, в каких случаях предпочтительно использование тех или иных методов создания плазменного источника. В частности, в такой таблице нужно было бы дать количественные характеристики степени локализации горячей точки, в тексте диссертации для гибридного X-пинча этих данных мне найти не удалось.

2) Автор в своих исследованиях использовал неизвестный мне класс рентгеновских детекторов, а, именно, «силиконовые диоды». Поскольку я являюсь теоретиком, то вполне допускаю, что мог пропустить появление таких технических устройств. Правда и знакомые мне экспериментаторы ничего по этому поводу сообщить мне не смогли, да и поиск в интернете ничего не дал. Надеюсь, что в процессе защиты автор расскажет немного о свойствах диодов на основе полимерного силикона.

3) В разделе, посвященном использованию гибридного X-пинча для эмиссионной рентгеновской спектроскопии автор делает вывод, что «так как X-пинч имеет малые размеры излучающей области во всех направлениях, то возможно получения на одном изображении и спектрального разрешения и пространственного». Между тем имеется огромное число работ, где свечение разлетающейся лазерной плазмы регистрируется одновременно со спектральным и пространственным разрешением, хотя исследуемая плазма имеет по одному направлению очень большой размер, превышающий 1 см, а по другому тоже не маленький, порядка миллиметра. Если утверждение

автора относится к случаю использования конкретного спектрометра, то это должно быть оговорено.

4) В тексте есть некоторое количество опечаток (см., например, подпись к рис. 3.9б), нерасшифрованных аббревиатур (например, СХП, которая, наверное, означает «стандартный X-пинч», но это лишь моя догадка). Очень странным для меня выглядит формат ссылок. Ссылаясь, например, на работы с 54 по 57, автор не пишет [54-57], а использует странно выглядящую длинную запись [54], [55], [56], [57]. Если я отстал от жизни, и именно так требует оформления библиографических ссылок какая-нибудь новая инструкция, то, естественно, к автору диссертации это замечание не относится.

Следует подчеркнуть, что сделанные выше замечания никак не затрагивают основные результаты и выводы диссертационной работы.

Полученные в работе результаты опубликованы в восьми статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК и апробированы в докладах на двенадцати конференциях, в том числе международных. В публикациях достаточно подробно и полно изложены полученные И.Н. Тиликиным результаты, а также использованные им методы и подходы.

Считаю, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития физики плазмы и рентгеновской спектроскопии.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе Тиликина И.Н. в науку.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор Тиликин И.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 — Физика плазмы.

Отзыв составил ведущий научный сотрудник лаборатории 1.2.5. – диагностики вещества в экстремальном состоянии Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур (ОИВТ РАН), доктор физико-математических наук

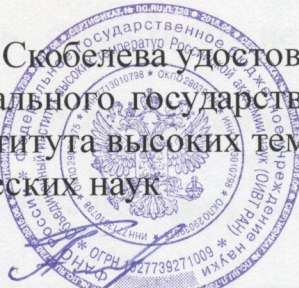
Скобелев Игорь Юрьевич.
«3» октября 2016 г.

125412, г. Москва, Ижорская ул. 13, стр. 2, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН)

тел.: (495) 484-19-44 email: igor.skobelev@gmail.com

Подпись Игоря Юрьевича Скобелева удостоверяю.

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур, доктор физико-математических наук



Амиров Равиль Хабибулович

тел. (495) 485-90-09, email: amirovravil@yandex.ru

Список основных статей, опубликованных за последние 5 лет официального оппонента Скобелева Игоря Юрьевича по теме диссертационной работы Тиликина Ивана Николаевича «Исследование динамики гибридных X-пинчей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

1. Evidence of high-n hollow-ion emission from Si ions pumped by ultraintense x-rays from relativistic laser plasma. J. Colgan, A.Ya. Faenov, S.A. Pikuz, E. Tubman, N.M.H. Butler, J. Abdallah jr., R.J. Dance, T.A. Pikuz, I.Yu. Skobelev, M.A. Alkhimova, N.Booth, J.Green, C. Gregory, A. Andreev, R. Lotzsch, I. Uschmann, A.Zhidkov, R. Kodama, P. McKenna and N. Woolsey, *European Physics Letters*. 2016. T. 114. C. 35001.

2. Indirect monitoring shot-to-shot shock waves strength reproducibility during pump-probe experiments. T.A. Pikuz, A.Ya. Faenov, N. Ozaki, N.J. Hartley, B. Albertazzi, T. Matsuoka, K. Takahashi, H. Habara, Y. Tange, S. Matsuyama, K. Yamauchi, R. Ochante, K. Sueda, O. Sakata, T. Sekine, T. Sato, Y. Umeda, Y. Inubushi, T. Yabuuchi, T. Togashi, T. Katayama, M. Yabashi, M. Harmand, G. Morard, M. Koenig, V. Zhakhovsky, N. Inogamov, A. S. Safronova, A. Stafford, I. Yu. Skobelev, S. A. Pikuz, T. Okuchi, Y. Seto, K. A. Tanaka, T. Ishikawa, and R. Kodama. *Journal of Applied Physics*. 2016. T.120, C. 035901 (2016)

3. Revealing the second harmonic generation in a femtosecond laser-driven cluster-based plasma by analyzing shapes of Ar XVII spectral lines. Eugene Oks, Elisabeth Dalimier, Anatoly Faenov, Tatiana Pikuz, Yuji Fukuda, Alexander Andreev, James Koga, Hironao Sakaki, Hideyuki Kotaki, Alexander Pirozhkov, Yukio Hayashi, Igor Skobelev, Sergei Pikuz, Tetsuya Kawachi, Masaki Kando, Kiminori Kondo, Alexei Zhidkov, and Ryosuke Kodama. *Optics Express*. 2015. T. 23. № 25. C. 31993

4. Diagnostics of warm dense matter by high-resolution X-ray spectroscopy of hollow ions. Faenov A.Y., Pikuz T.A., Kodama R., Skobelev I.Y., Pikuz S.A., Fortov V.E. *Laser and Particle Beams*. 2015. T. 33. № 1. C. 27-39.

5. Acceleration of highly charged GeV Fe ions from a low-Z substrate by intense femtosecond laser. Nishiuchi M., Sakaki H., Esirkepov T.Zh., Pikuz T.A., Faenov A.Ya., Pirozhkov A.S., Matsukawa K., Sagisaka A., Ogura K., Kanasaki M., Kiriyama H., Fukuda Y., Kando M., Bulanov S.V., Kondo K., Nishio K., Orlandi R., Sako H., Koura H., Imai K. et al. *Physics of Plasmas*. 2015. T. 22. № 3. C. 033107.

6. Laboratory formation of a scaled protostellar jet by coaligned poloidal magnetic field. B. Albertazzi, A. Ciardi, M. Nakatsutsumi, T. Vinci, J. Béard, R. Bonito, J. Billette, M. Borghesi, Z. Burkley, S.N. Chen, T.E. Cowan, T. Herrmannsdörfer, D.P. Higginson, F. Kroll, S.A. Pikuz, K. Naughton, L. Romagnani, C. Riconda, G. Revet, R. Riquier, H.-P. Schlenvoigt, I.Yu. Skobelev, A.Ya. Faenov, A. Soloviev, M. Huarte-Espinosa, A. Frank, O. Portugall, H. Pépin, J. Fuchs. *Science*. 2014. T. 346. № 6207. C. 325

7. Soft picosecond X-ray laser nanomodification of gold and aluminum surfaces. Starikov S.V., Faenov A.Ya., Pikuz T.A., Skobelev I.Yu., Fortov V.E., Ishino M., Tanaka M., Hasegawa N., Nishikino M., Kaihori T., Imazono T., Kando M., Kawachi T., Tamotsu S., *Applied Physics B: Lasers and Optics*. 2014. T. 116. № 4. C. 1005-1016.

8. Two-plasmon decay instability's signature in spectral lines and spectroscopic measurements of charge exchange rate in a femtosecond laser-driven cluster-based plasma. Oks E., Dalimier E., Faenov A.Ya., Pikuz T., Skobelev I., Fukuda Y., Jinno S., Sakaki H., Kotaki H., Pirozhkov A., Hayashi Y., Kawachi T., Kando M., Kondo K. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*. 2014. T. 47. № 22. C. 221001.

9. Создание экзотических состояний вещества с помощью рентгеновского излучения, генерируемого при фокусировке петаваттного лазерного импульса на твердотельные мишени. Пикуз С.А., Фаенов А.Я., Скобелев И.Ю., Фортов В.Е. *Успехи физических наук*. 2014. T. 184. № 7. C. 759-765.

10. Very low electron temperature in warm dense matter formed by focused picosecond soft x-ray laser pulses, Ishino M., Hasegawa N., Nishikino M., Kawachi T., Yamagiwa M., Pikuz T., Skobelev I., Faenov A., Inogamov N., *Journal of Applied Physics*. 2014. Т. 116. № 18. С. 183302.

11. Detailed analysis of hollow ions spectra from dense matter pumped by X-ray emission of relativistic laser plasma, Hansen S.B., Colgan J., Abdallah Jr. J., Faenov A.Ya., Pikuz Jr. S.A., Skobelev I.Yu., Wagenaars E., Culfa O., Dance R.J., Tallents G.J., Rossall A.K., Woolsey N.C., Booth N., Lancaster K.L., Evans R.G., Gray R.J., McKenna P., Kaempfer T., Schulze K.S., Uschmann I. et al. *Physics of Plasmas*. 2014. Т. 21. № 3. С. 031213.

12. On the possibility of obtaining incoherent femtosecond X-ray pulses from a laser plasma, Belyaev V.S., Kovkov D.V., Matafonov A.P., Karabadzhak G.F., Raikunov G.G., Faenov A.Y., Pikuz Jr. S.A., Skobelev I.Y., Pikuz T.A., Fokin D.A., Fortov V.E., Ignat'ev G.N., Kapitanov S.V., Krapiva P.S., Korotkov K.E., *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters (JETP Letters)*. 2013. Т. 97. № 12. С. 681-685.

13. Временная структура импульсов рентгеновского излучения пикосекундной лазерной плазмы, Беляев В.С., Ковков Д.В., Матафонов А.П., Карабаджак Г.Ф., Райкунов Г.Г., Фаенов А.Я., Пикуз С.А., Скобелев И.Ю., Пикуз Т.А., Фокин Д.А., Игнатьев Г.Н., Капитанов С.В., Крапива П.С., Коротков К.Е., Фортвов В.Е. *Квантовая электроника*. 2013. Т. 43. № 9. С. 865-870.

14. О возможности получения импульсов некогерентного рентгеновского излучения фемтосекундной длительности с помощью лазерной плазмы, Беляев В.С., Ковков Д.В., Матафонов А.П., Карабаджак Г.Ф., Райкунов Г.Г., Фаенов А.Я., Пикуз С.А.М., Скобелев И.Ю., Пикуз Т.А., Фокин Д.А., Фортвов В.Е., Игнатьев Г.Н., Капитанов С.В., Крапива П.С., Коротков К.Е. *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. 2013. Т. 97. № 11-12. С. 782-787.

15. X-Ray spectroscopy diagnoses of clusters surviving under prepulses of ultra-intense femtosecond laser pulse radiation, Faenov A.Y., Skobelev I.Y., Pikuz T.A., Pikuz S.A., Fortov V.E., Fukuda Y., Hayashi Y., Pirozhkov A., Kotaki H., Shimomura T., Kiriyaama H., Kanazawa S., Kando M., Kato Y., Colgan J., Abdallah J. *Laser and Particle Beams*. 2012. Т. 30. № 3. С. 481-488.

16. Nanomodification of gold surface by picosecond soft X-Ray laser pulse, Norman G., Starikov S., Stegailov V., Fortov V., Skobelev I., Pikuz T., Faenov A., Ishino M., Tanaka M., Hasegawa N., Nishikino M., Ohba T., Kaihori T., Ochi Y., Imazono T., Fukuda Y., Kando M., Kawachi T., Tamotsu S., Kato Y. et al., *Journal of Applied Physics*. 2012. Т. 112. № 1. С. 013104.

Официальный оппонент, ведущий научный сотрудник Лаборатории диагностики вещества в экстремальном состоянии Отделения низкотемпературной плазмы ОИВТ РАН, доктор физико-математических наук



Скобелев Игорь Юрьевич
3 октября 2016 года