

Параметры динамического процесса

Оптическое излучение, генерируемое в зоне ударного сжатия

Регистрация оптического излучения плазменного сгустка в окрестности зоны ударного сжатия проводилась спектрометром SL 40-2-3648 USB. Прибор представляет собой двухканальную систему регистрации оптических спектров на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Диспергирующим элементом в каждом из каналов спектрометра служит дифракционная решетка с параметрами: количеством штрихов на 1 мм – 600, обратной линейной дисперсией, соответственно, 35.09 нм/мм и 31.95 нм/мм, разрешением по длинам волн – <1.5 нм и размерами 12×10 мм.

Регистрация осуществлялась в азимутальной плоскости установки через выходное окно вакуумной камеры из органического стекла толщиной 4 мм. Приемник светового сигнала (оптокабель) располагался на расстоянии ~ 6 м от зоны ударного сжатия и сдвоенным оптоволоконным кабелем длиной 2 м соединялся со спектрометром и быстродействующим фотоэлектронным умножителем ФЭУ-30. Сигнал с ФЭУ регистрировался цифровым осциллографом. Таким образом, параллельно с регистрацией спектра оптического излучения проводилась регистрация временного сигнала от световой вспышки.

Калибровка спектрометра проводилась:

- в ближнем ультрафиолете – по непрерывному спектру дейтериевой лампы ДДС-80 с паспортным значением величины энергетической силы света в спектральном интервале 215 – 300 нм ~ 1.8 мВт/стер;
- в диапазоне видимого света – по непрерывному спектру вольфрамовой лампы накаливания мощностью 100 Вт.

Качество калибровки по диапазону оптического излучения проверено на отдельных линиях меди с известной интенсивностью.

На Рис. 2 приведен типичный спектр оптического излучения плазменного сгустка в зоне ударного сжатия мишени.

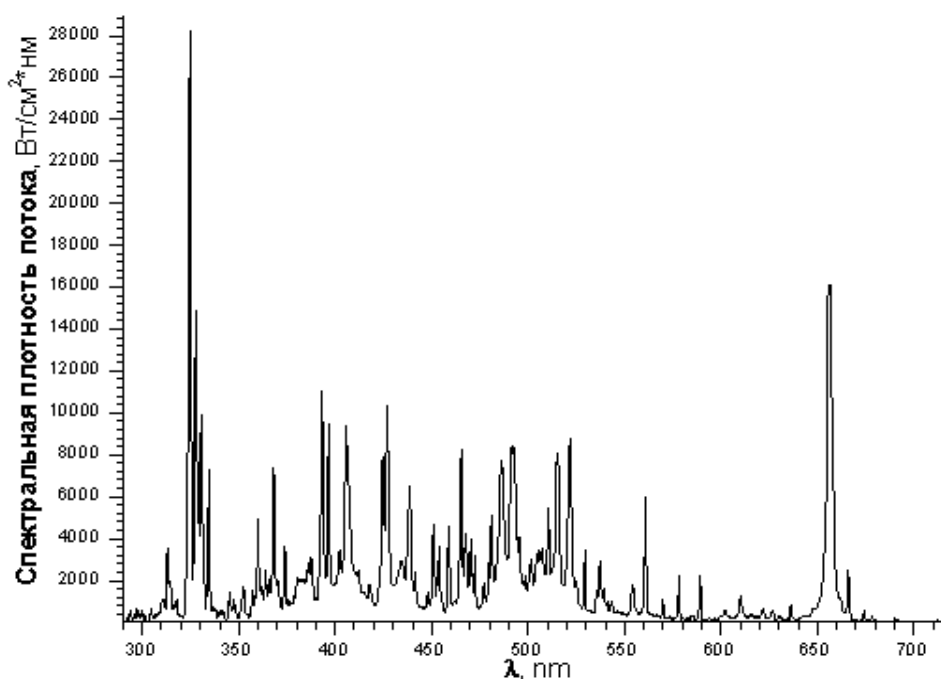


Рис. 2. Спектр оптического излучения плазменного сгустка в эксперименте №3981.

Обработка спектра оптического излучения проводилась с использованием стандартной компьютерной программы Peak Fit, позволяющей работать с линейчатыми спектрами, включающими до сотни спектральных линий.

Оценка параметров плазменного сгустка в эксперименте №3981

1) Ионная компонента (Табл. 1)

- a) Средняя энергия и скорость иона – 9.48 кэВ и 1.6×10^7 см \times с $^{-1}$, соответственно – рассчитаны по формулам для доплеровского уширения.
- b) Количество излучающих атомов – 8.03×10^{17} , рассчитано исходя из графиков роста интегрального поглощения спектральных линий («кривых роста»). Для отдельных спектральных линий использовалась нормировка интенсивности на эффективную площадь поперечного сечения плазменного сгустка и время излучения.
- c) Энергия ионной составляющей ~ 750.89 Дж, получена на основе анализа гауссовских компонент спектральных линий отдельных ионов различных химических элементов.

2) Электронная компонента

- a) Температура электронов – $T_e \cong 0.36$ кэВ, оценена по амплитудам водородных линий.
- b) Плотность электронов $\sim 1.2 \times 10^{17}$ см $^{-3}$ (в ударном приближении), получена из анализа лоренцевских составляющих спектральных линий в предположении, что уширение линий обусловлено столкновениями ионов с электронами.
- c) Оценка полного количества электронов в объеме плазменного сгустка – $N_e \approx 1 \times 10^{18}$.
- d) Энергия электронной составляющей ~ 60 Дж.

Эффективный размер плазменного сгустка – 3 см (диаметр) был получен, исходя из эффективного времени излучения и средней скорости ионов. Эффективное время излучения было принято равным длительности фронта сигнала световой вспышки, регистрируемого ФЭУ $\sim 50 - 200$ нс (в рассматриваемом эксперименте $\tau = 60$ нс).

Следует обратить внимание на присутствие в спектре плазменного сгустка спектральных линий ионов Fe, Ni и др. химических элементов (см. Табл. 1), не входящих в исходный состав материала мишени, однако по энергии и количеству излучающих атомов конкурирующих с его основными компонентами (Pb, Cu).

Сравнение параметров излучения в эксперименте №3981 с экспериментом №5980, который был выполнен в режиме имитации* инициирующего воздействия на мишень, показало значительные отличия энергии корпускулярной компоненты плазмы, несмотря на внешнее сходство оптических спектров и близкие величины светового выхода (14 Дж и 9 Дж, соответственно).

Полный выход корпускулярной энергии в эксперименте (№3981) составляет ~ 808 Дж, и на два порядка превышает аналогичный выход ~ 12 Дж в эксперименте выполненного в режиме имитации (№5980).

* Режим имитации имеет те же энергетические параметры исходного электромагнитного воздействия, но не создает условий для запуска кумулятивного процесса самоконцентрации энергии в мишени.

Таблица 1. Оценки энергетического выхода ионной компоненты плазменного сгустка в окрестности зоны ударного сжатия с учетом стадий ионизации (Эксперимент №3981, мишень – Pb, Cu)

Химический элемент	Средняя энергия иона, кэВ	Средняя скорость иона, см·с ⁻¹	Кол-во излучающих атомов	Энергия ионов, Дж
H	1.6E-01 ±3.8E-02	1.7E+07 ±2.2E+06	1.72E+17	5.46
C	1.5E+00 ±2.2E-01	1.5E+07 ±1.1E+06	3.21E+16	8.90
F	1.2E+00 ±5.9E-02	1.1E+07 ±2.8E+05	2.04E+17	14.40
Al	3.9E+00 ±5.1E-01	1.5E+07 ±1.1E+06	4.19E+15	2.69
Cl	5.7E+00 ±6.3E-01	1.7E+07 ±7.5E+05	6.72E+15	6.60
Ca	6.1E+00 ±9.2E-01	1.7E+07 ±1.3E+06	6.61E+15	4.96
Ti	9.4E+00 ±5.0E-01	1.9E+07 ±4.0E+05	2.00E+16	31.00
Cr	8.9E+00 ±1.6E+00	1.8E+07 ±1.6E+06	5.14E+15	6.73
Fe	7.7E+00 ±5.1E-01	1.6E+07 ±5.3E+05	1.33E+17	139.00
Ni	9.1E+00 ±9.5E-01	1.6E+07 ±9.9E+05	7.53E+16	127.00
Cu	9.0E+00 ±1.0E+00	1.6E+07 ±9.1E+05	7.52E+16	138.00
Zn	1.1E+01 ±1.3E+00	1.8E+07 ±1.2E+06	1.98E+16	41.50
Mo	1.4E+01 ±1.2E+00	1.6E+07 ±7.5E+05	1.04E+16	22.80
Xe	1.8E+01 ±5.5E+00	1.6E+07 ±2.2E+06	1.78E+15	6.28
Ba	1.7E+01 ±6.9E+00	1.5E+07 ±2.8E+06	2.15E+15	8.57
Pb	2.9E+01 ±3.4E+00	1.6E+07 ±9.4E+05	3.51E+16	187.00
ИТОГ:			8.03E+17	750.89

Таблица 2. Оценки энергетического выхода ионной компоненты плазменного сгустка с учетом стадий ионизации (Эксперимент №5980, режим имитации)

Химический элемент	Средняя Энергия иона, кэВ	Средняя скорость иона, см·с ⁻¹	Кол-во излучающих атомов	Энергия ионов, Дж
H	5.2E-03 ±8.5E-04	3.1E+06 ±2.7E+05	1.78E+16	0.02
C	6.5E-02 ±6.2E-03	3.2E+06 ±1.5E+05	7.83E+15	0.08
O	1.0E-01 ±4.5E-03	3.5E+06 ±7.8E+04	1.55E+16	0.24
Cl	2.4E-01 ±1.2E-02	3.6E+06 ±8.9E+04	2.82E+15	0.10
Ca	2.9E-01 ±5.2E-02	3.5E+06 ±1.8E+05	1.35E+15	0.06
Ti	3.4E-01 ±2.9E-02	3.7E+06 ±1.6E+05	2.82E+15	0.14
Cr	3.9E-01 ±4.0E-02	3.8E+06 ±1.9E+05	1.23E+15	0.09
Fe	3.9E-01 ±2.6E-02	3.6E+06 ±1.2E+05	3.17E+15	0.17
Ni	4.8E-01 ±4.6E-02	4.0E+06 ±1.9E+05	1.94E+15	0.13
Cu	4.6E-01 ±2.0E-02	3.7E+06 ±8.3E+04	9.44E+16	5.88
Zn	4.1E-01 ±3.8E-02	3.5E+06 ±1.6E+05	4.58E+15	0.32
Mo	7.3E-01 ±1.1E-01	3.8E+06 ±2.8E+05	2.96E+15	0.31
Pb	1.1E+00 ±1.7E-01	3.2E+06 ±2.5E+05	1.62E+15	0.31
ИТОГ:			1.58E+17	7.83