

11 фс, 1.5 ПВт лазер с нелинейной компрессией импульса

В.Гинзбург, И.Яковлев, А.Кочетков, А.Кузьмин, С.Миронов,
И.Шайкин, А.Шайкин, Е.Хазанов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

vlgin@rambler.ru



Institute of Applied Physics, Russia vlgin@rambler.ru

11 фс, 1.5 ПВт лазер с нелинейной компрессией импульса

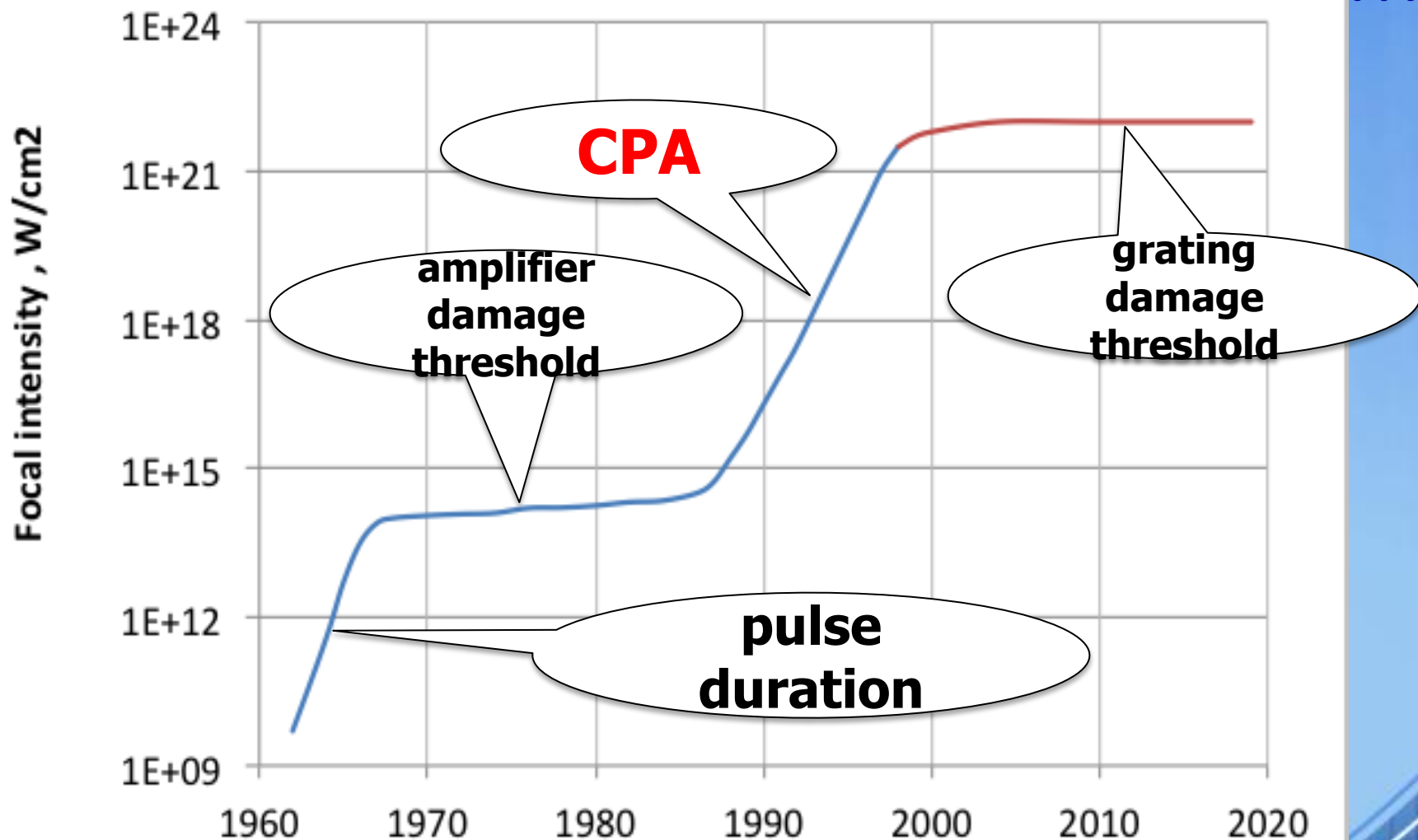
.....

Contents:

- **Introduction**
- **Compression after Compressor Approach (CafCA)**
- **Small-scale self-focusing suppression in powerful laser beams**
- **Experimental results**
- **Conclusions**



New idea is wanted for the next jump



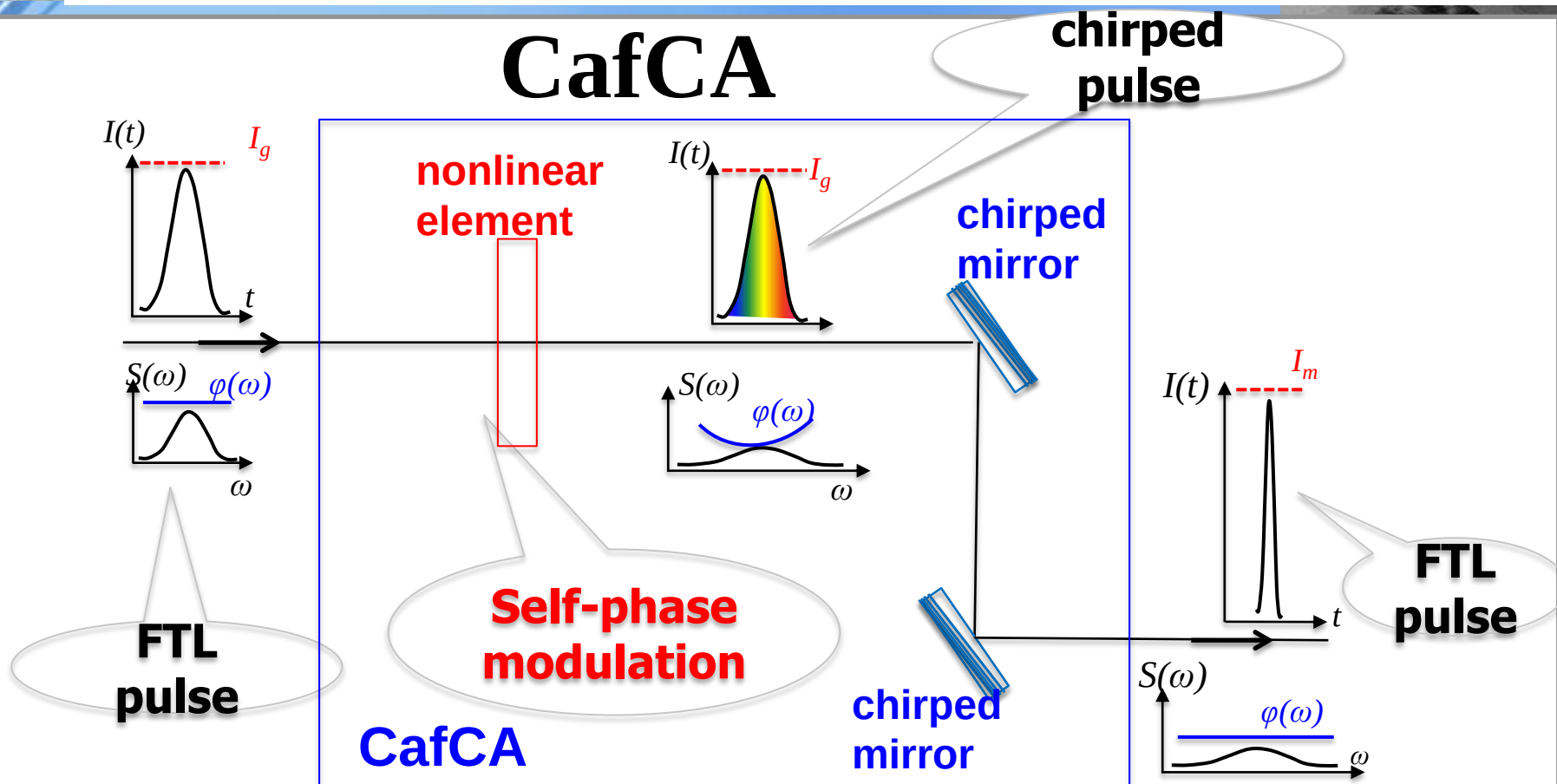
Пути дальнейшего увеличения мощности

$$Power = \frac{Energy}{Pulse\ duration}$$

- Мозаичный компрессор
- Суммирование CPA каналов
- **C**ompression **a**fter **C**ompressor **A**pproach (CafCA)



Compression after Compressor Approach

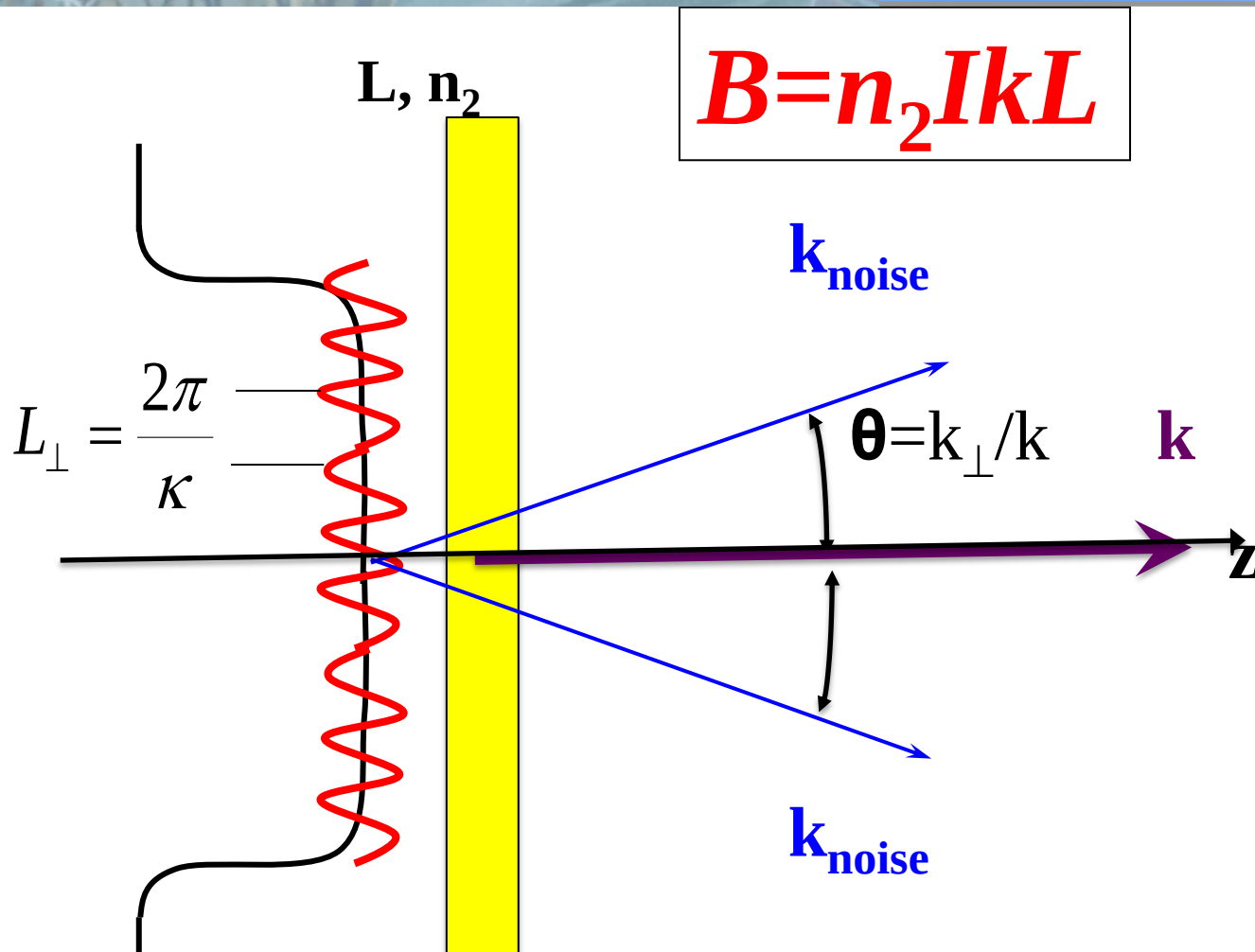


В-интеграл:
 $B = n_2 I k L$

Коэф. увеличения мощности
 $F_{\text{power}} \approx 1 + B/2$

V.N. Ginzburg, A.A. Kochetkov, I.V. Yakovlev, S.Y. Mironov, A.A. Shaykin, E.A. Khazanov, Quantum Electronics 46 (2016) 106-108.

Мелкомасштабная самофокусировка



$$B = n_2 I k L$$

Instability if

$$0 < \theta < \theta_{\text{cr}} = 2\sqrt{\frac{\gamma l}{n}}$$

V.I. Bespalov and V.I. Talanov, "Filamentary structure of light beams in nonlinear liquids," JETP Letters, 3, 307-310 (1966).

Small-scale self-focusing basics

$$B < 2 \dots 3$$

$$F_{\text{power}} \approx 1 + B/2$$

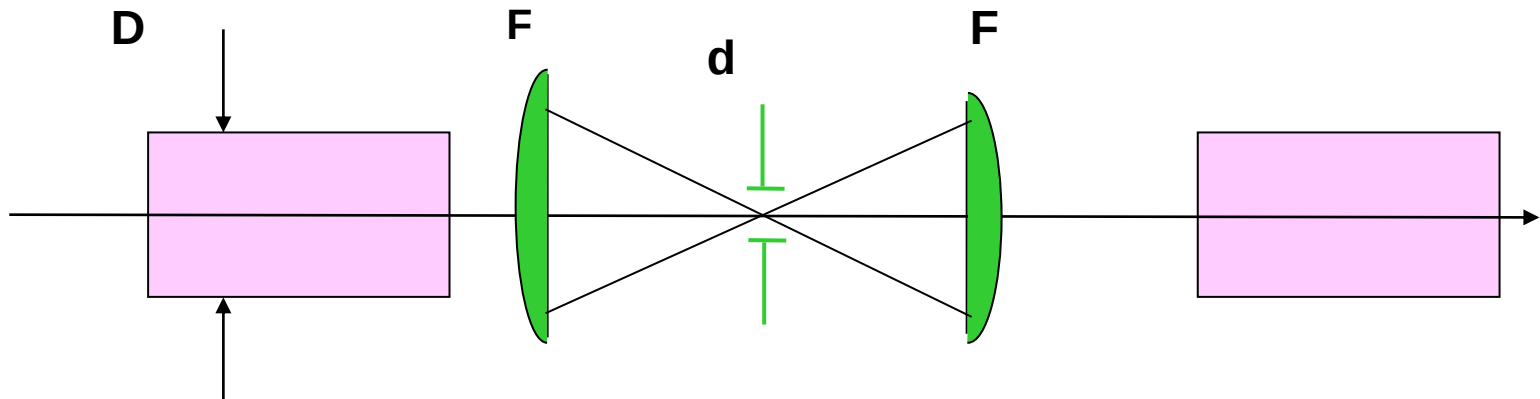
$$F_{\text{power}} < 2 \dots 2.5$$

Small-scale self-focusing suppression

The technique of beam filtering depends on the intensity level

For ns laser beams intensities $I \sim 1 \div 10 \text{ GW/cm}^2$ $\theta_{\max} = 0.73 \div 2 \text{ mrad}$

Vacuum spatial filters



$$d \gg F \theta_{\text{dif}} = F \frac{\lambda}{D}$$

$$d < F \alpha_{\max} = F \frac{\lambda}{L_{\perp}^{\max}}$$

$$F \gg D$$

$$\theta_{\alpha} = 2 \sqrt{\frac{\gamma I}{n}}$$

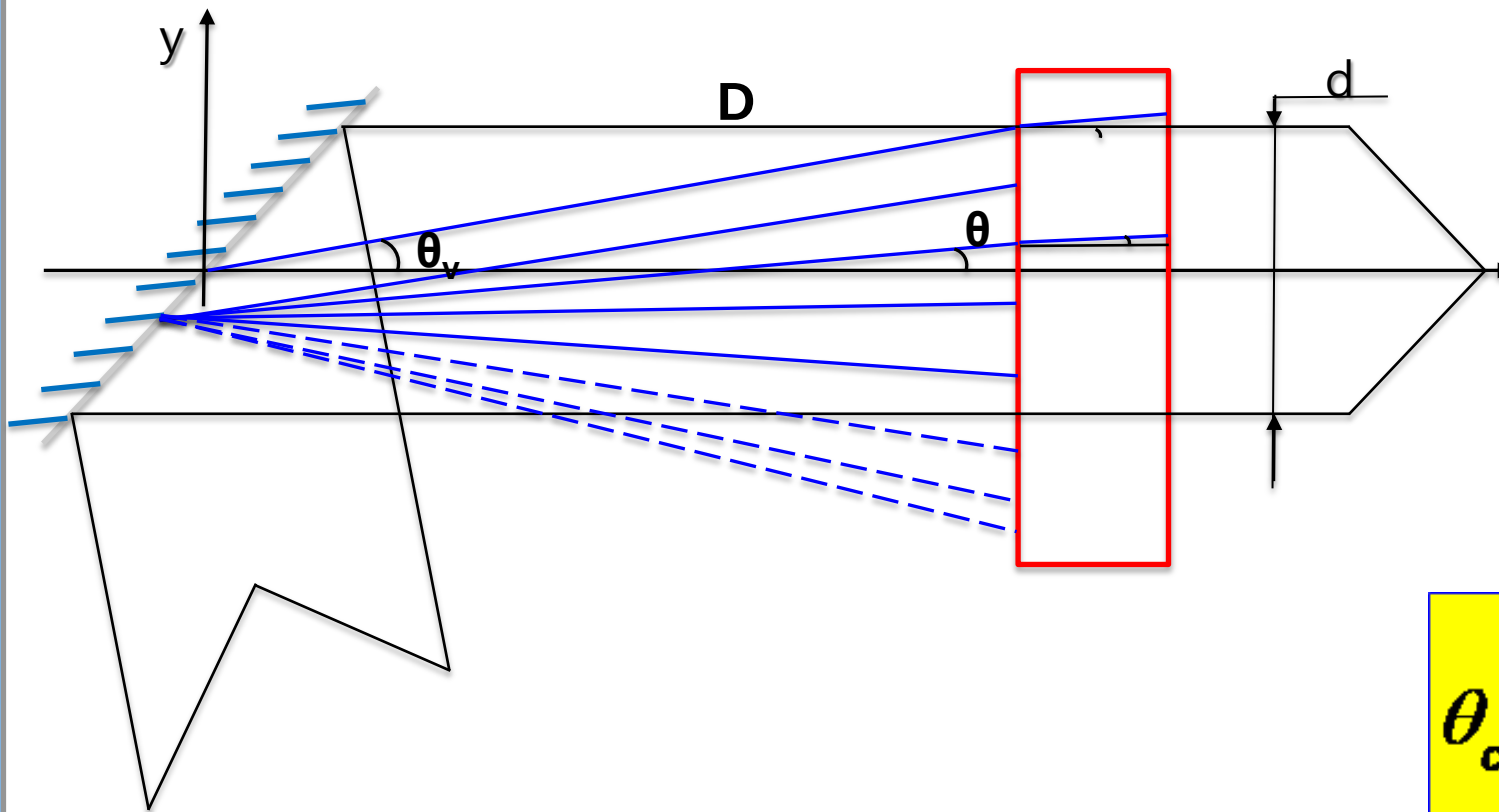
How laser beam can be filtered at the intensity $\sim 1 \text{ TW/cm}^2$?

Beam self-filtering

The technique of beam filtering depends on the intensity level

For ns laser beams intensities $I \sim 1 \div 10 \text{ GW/cm}^2$ $\theta_{\max} = 0.73 \div 2 \text{ mrad}$

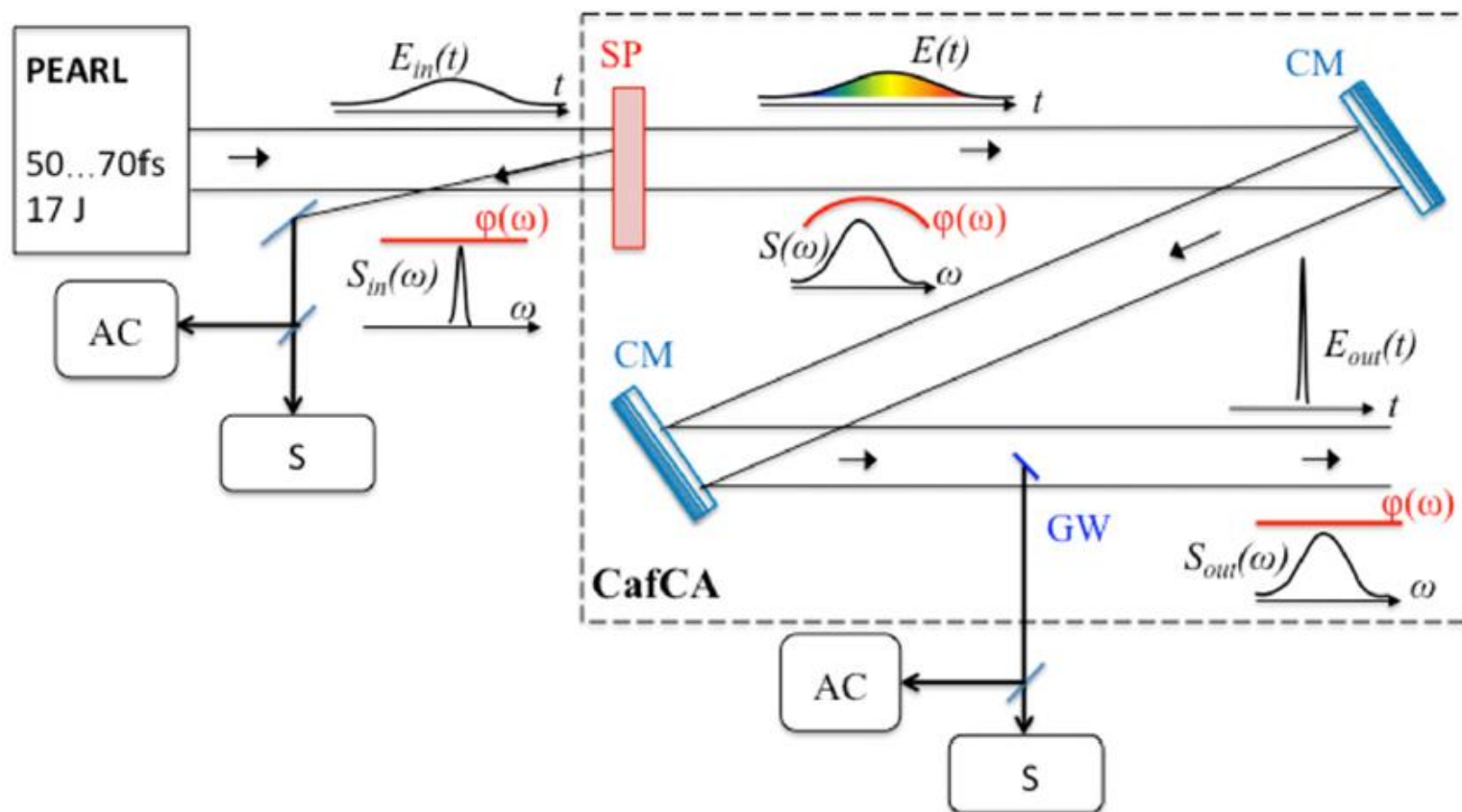
For fs laser beams intensities $I \sim 1 \div 10 \text{ TW/cm}^2$ $\theta_{\max} = 20 \div 50 \text{ mrad}$



$$\theta_{\alpha} = 2 \sqrt{\frac{\gamma I}{n}}$$

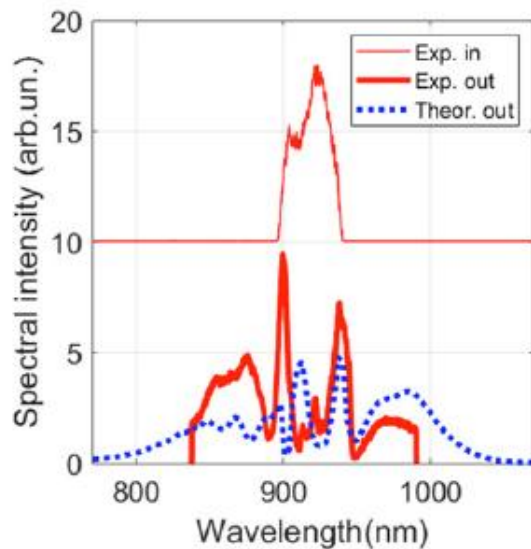
Free space propagation leads to beam self-filtering
 $I = 1 \text{ TW/cm}^2$, $d = 100 \text{ mm}$: the safety distance $D > 1.6 \text{ m}$

Схема эксперимента

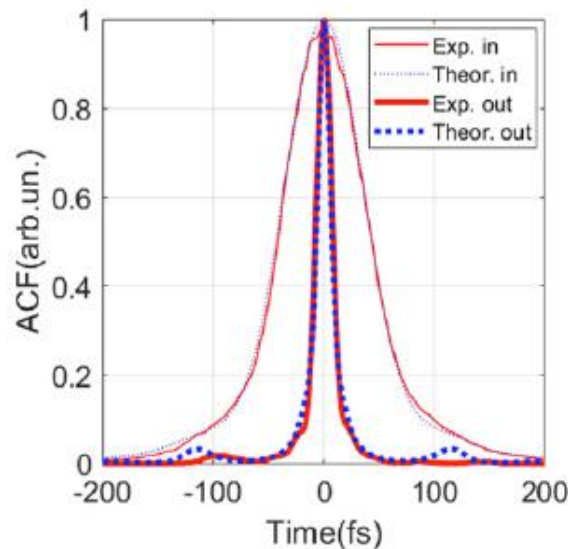


Experimental results & calculations

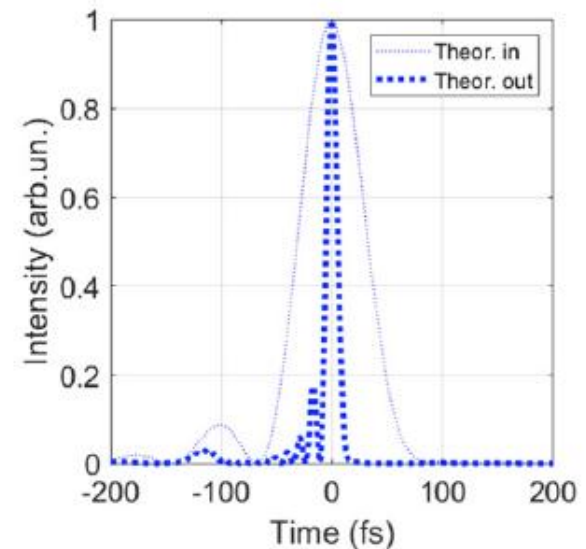
Spectra



ACF

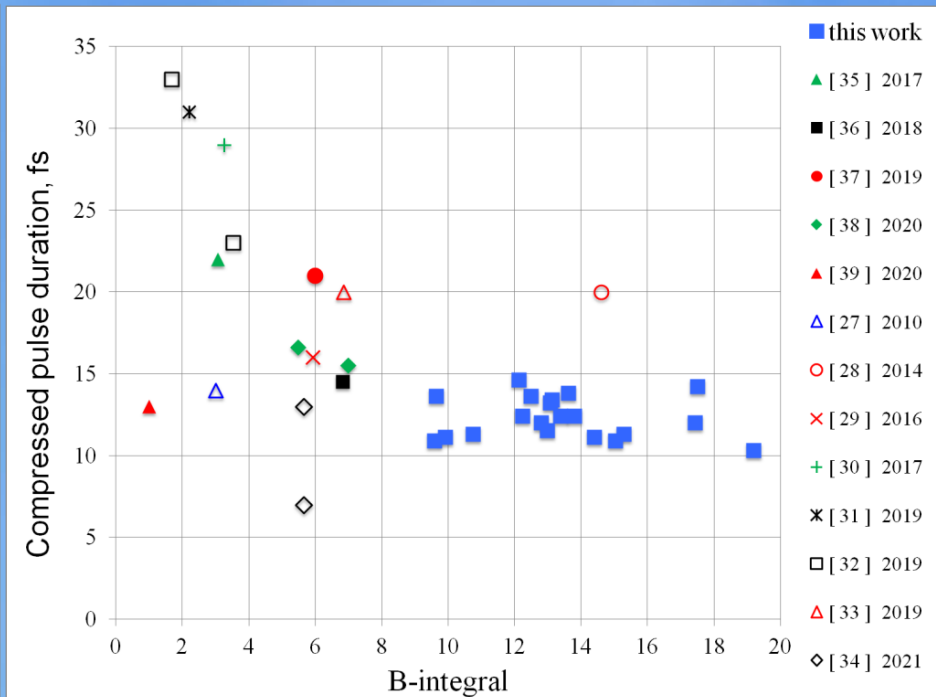
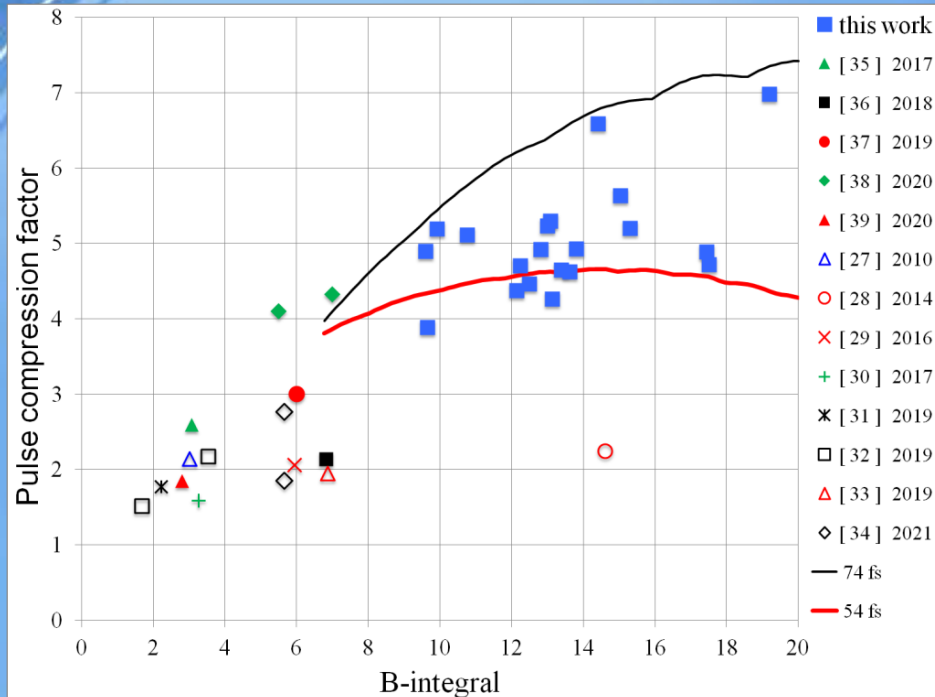


Pulse



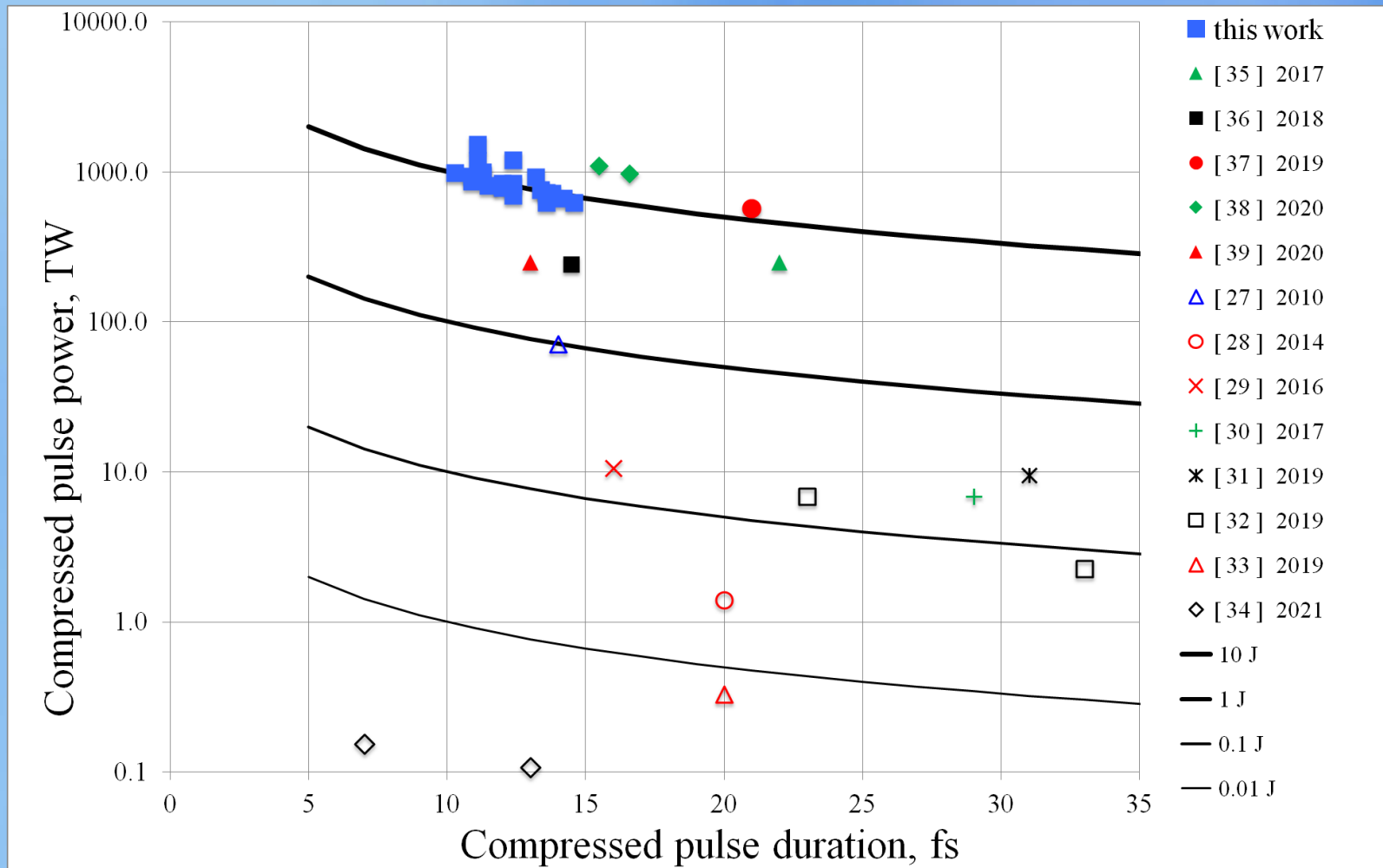
	Experiment			Numerical study			
B	τ_{in} , fs	τ_{out} , fs	$F_t = \tau_{in}/\tau_{out}$	τ_{in} , fs	τ_{out} , fs	$F_t = \tau_{in}/\tau_{out}$	$F_i = I_{in}/I_{out}$
9.6	54 ± 5	10.9 ± 1	5.0	58	12.3	4.7	4.2
9.9	58 ± 6	11.3 ± 1	5.1	58	12.2	4.8	4
13	60 ± 6	11.5 ± 1	5.2	64	11	5.8	5
19.2	72 ± 7	10.3 ± 1	7.0	75	10.2	7.4	5.7

Experimental results



35. S. Y. Mironov, V. N. Ginzburg, I. V. Yakovlev, A. A. Kochetkov, A. A. Shaykin, E. A. Khazanov, and G. A. Mourou, "Using self-phase modulation for temporal compression of intense femtosecond laser pulses," *Quantum Electronics* **47**, 614-619 (2017).
36. S. K. Lee, J. Y. Yoo, J. I. Kim, R. Bhushan, Y. G. Kim, J. W. Yoon, H. W. Lee, J. H. Sung, and C. H. Nam, "High energy pulse compression by a solid medium," in *Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)*, (IEEE, 345 E 47TH st, New York, NY 10017 USA, 2018).
37. V. N. Ginzburg, I. V. Yakovlev, A. S. Zuev, A. A. Korobeinikova, A. A. Kochetkov, A. A. Kuz'min, S. Y. Mironov, A. A. Shaykin, I. A. Shaykin, and A. E. Khazanov, "Compression after compressor: threefold shortening of 200-TW laser pulses," *Quantum Electronics* **49**, 299-301 (2019).
38. V. Ginzburg, I. Yakovlev, A. Zuev, A. Korobeynikova, A. Kochetkov, A. Kuzmin, S. Mironov, A. Shaykin, I. Shaikin, E. Khazanov, and G. Mourou, "Fivefold compression of 250-TW laser pulses," *Physical Review A* **101**, 013829 (2020).
39. S. Y. Mironov, S. Fourmaux, P. Lassonde, V. N. Ginzburg, S. Payeur, J.-C. Kieffer, E. A. Khazanov, and G. Mourou, "Thin plate compression of a sub-petawatt Ti:Sa laser pulses," *Applied Physics Letters* **116**, 241101 (2020).

Experimental results



Заключение

Получены рекордные значения:

- фактора компрессии импульса $\tau_{in}/\tau_{out} > 6$
- длительности компрессированного импульса $\tau_{out} = 11 \text{ фс}$
- пиковой мощности 1.5 ПВт.

Эксперименты проводились при значениях В-интеграла от 9 до 19 и при этом не обнаружено никаких повреждений оптических элементов, что говорит о подавлении мелкомасштабной самофокусировки

Представленные результаты и несомненные достоинства метода CafCA :

- простота
- низкая стоимость
- незначительные потери
- применимость к любому мощному лазеру

говорят о дальнейшем развитии метода для получения мультипетаваттных лазерных импульсов с малым числом периодов поля