



دانشگاه سمنان



# Femtolaser Amplifier

تقویت کننده لیزر فمتوثانیه

Dr. Aliasghar Ajami

Faculty of Physics, Semnan University

03/08/1400

October 25, 2021



# L A S E R

**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

تقویت نور به وسیله گسیل القایی تابش

## خواص نور لیزر

### ✓ طول موج

ناحیه اشعه ایکس نرم به طول موج حدود ۱۰ نانومتر تا فرو سرخ دور با طول موج حدود چند صد میکرومتر

### ✓ پهنای طیف (تکفامی)

از ۰/۰۱ نانومتر (لیزر هلیم-نئون) تا بیش از ۱۰۰ نانومتر (لیزر فمتوثانیه یا قوت کبود)

### ✓ جهت‌مندی

واگرایی از ۰/۰۱ درجه (لیزر یگ) تا ۵۰ درجه (لیزر دیود)

### ✓ درخشایی

### ✓ همدوسی

## انواع لیزر

لیزر فمتو

**Femtolaser**

$$1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$$

یک فمتو ثانیه در مقایسه با یک ثانیه مانند

یک دقیقه در مقایسه با عمر جهان است.

✓ لیزر حالت جامد مانند لیزر یگ و یاقوت

✓ لیزر گازی مانند کربن دی اکسید و هلیوم-نئون

✓ لیزر رزینه ای مانند رودامین بی

✓ لیزر فیبر نوری

✓ لیزر بخار فلز مانند بخار مس

✓ لیزر دیودی مانند گالیم-آرسناید

فمتو لیزر یک لیزر پالسی با طول پالس کمتر از پیکو ثانیه یعنی در محدوده چند فمتوثانیه تا چند صد فمتو ثانیه است.

## روشهای پالسی کردن لیزر

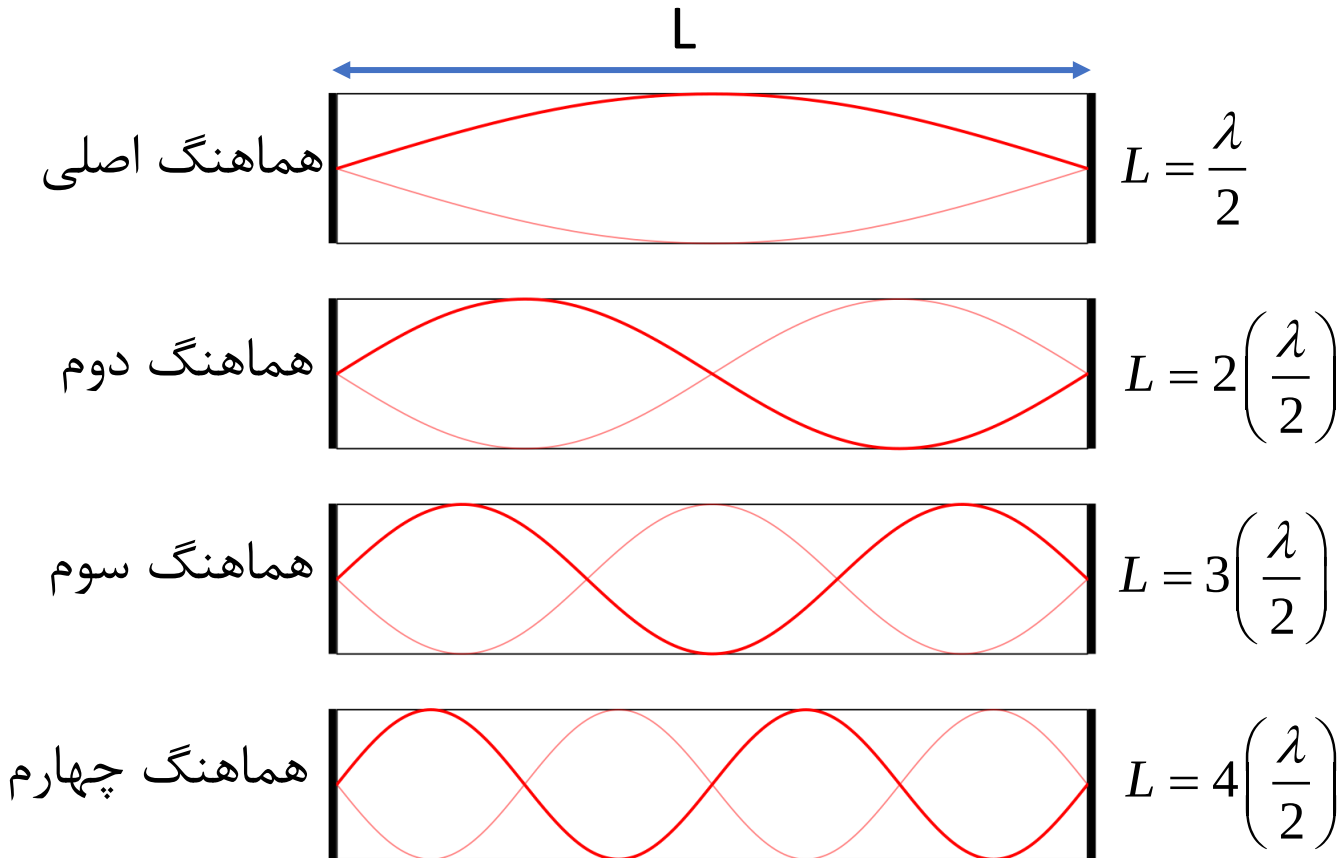
- **Q-switching**
- **Mode-locking**

### Q-switching

- Rotating Mirrors
- Electro-optic modulators
- ✓ Pockels cell
- ✓ Kerr cell
- Acousto-optic modulator

## مدهای طولی Longitudinal Mode

برای طول خاصی از یک تشدیدگر بسامدها یا طول موج های خاصی تشدید شده و بقیه تقویت نمی شوند.  
منظور از مدهای طولی همان طول موجهایی هستند که عملاً درون تشدیدگر تقویت می شوند.



$$L = n\left(\frac{\lambda}{2}\right)$$

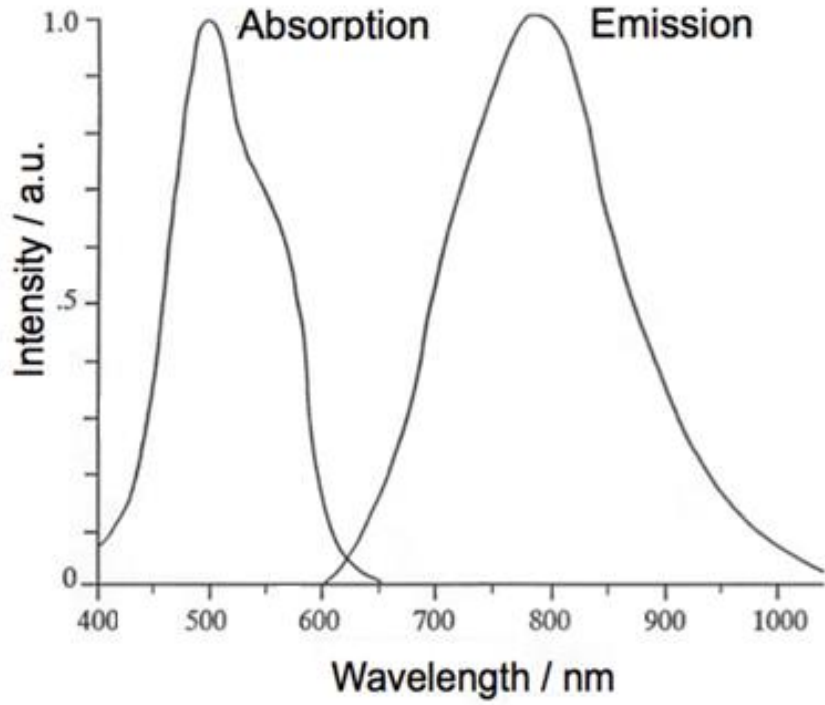
$L$  : Resonator Length

$\lambda$  : Wavelength

$n$  : Mode number

$$n = \frac{2L}{\lambda}$$

لیزرهای **Ti-Sapphire** معروفترین فمتولیزرها هستند که کوتاهترین پالسها را تولید می کنند.



Ti-Sapphire crystal

## Absorption and Emission Spectrum

طیف جذب و تابش کریستال

یاقوت کبود

پهنای طیف تابشی کریستال یاقوت کبود بیش از ۲۰۰ نانومتر است.

بیشینه تابش روی طول موج حدود ۸۰۰ نانومتر است.

طول کاواک فمتولیزر **Ti-Sapp** حدود ۲ متر است.

$$n = \frac{2L}{\lambda}$$

$$n = \frac{2 \times 2}{800 \times 10^{-9}}$$

$$n = 5000000$$

خیلی ساده این عدد را شماره مد مرکزی بنامیم.

به عبارتی مرکز تابش هماهنگ شماره ۵۰۰۰۰۰۰ است.

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$\lambda_{5000001} = \frac{2 \times 2}{5000001} = 799.9998 \text{ nm}$$

طول موج مد مجاور مد مرکزی. اختلاف کمتر از ۰,۰۰۰۲ نانومتر است که با هیچ طیف سنجی قابل تفکیک نیست در نتیجه طیف را پیوسته مشاهده می کنیم.

$$n = \frac{2L}{\lambda}$$

$$\Delta n = \frac{2L \Delta \lambda}{\lambda^2} = \frac{2 \times 2 \times 200 \times 10^{-9}}{(800 \times 10^{-9})^2} = 1250000$$

تعداد مدهای تشدید در بازه طول موجی ۷۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر  
درون رزوناتور با طول ۲ متر

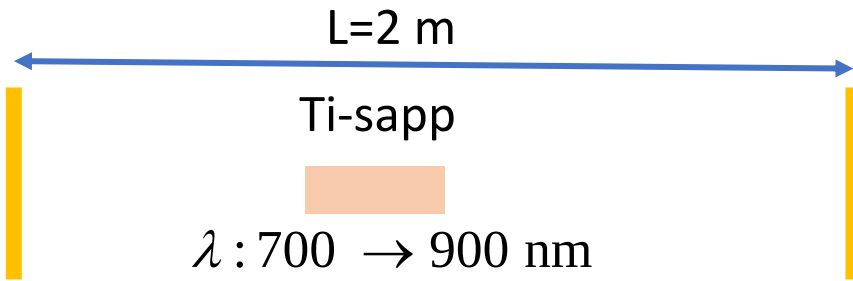
$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$\nu_n = \frac{nc}{2L} \Rightarrow \Delta \nu = \frac{c}{2d} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2} = 75 \text{ MHz}$$

اختلاف بسامد مدهای مجاور.

این مقدار دقیقاً مساوی تکرار پالس لیزر یعنی عکس فاصله بین پالسها (زمان یک رفت و برگشت کامل درون رزوناتور) است.





✓ اختلاف بسامد مدهای مجاور  $\Delta\nu = 75\text{ MHz}$

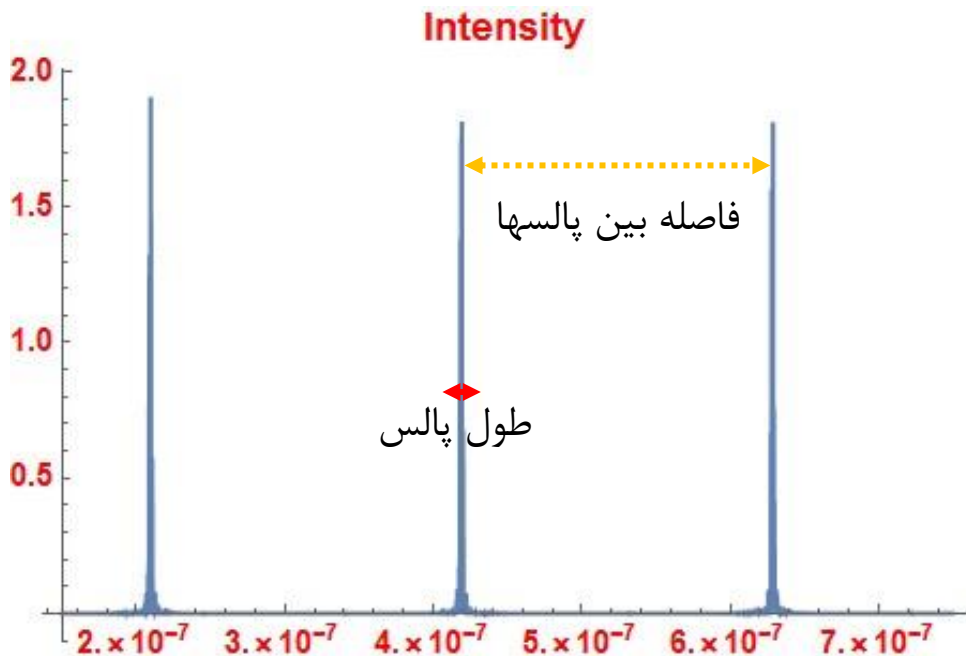
✓ تکرار پالس ۷۵ مگا هرتز

✓ فاصله بین پالسها ۱۳,۳ نانوثانیه

✓ پهنای طیف  $9,375 \times 10^{13}$  هرتز، ۲۰۰ نانومتر

✓ تعداد مدهای تشدید شده ۱۲۵۰۰۰۰

✓ طول پالس حدود ۱۰ فمتوثانیه (متناسب با عکس پهنای طیف)



طول رزوناتور تعیین کننده فاصله بسامدی مدها، تکرار پالس لیزر،  
فاصله زمانی بین پالسها و تعداد کل مدهای تشدید شده است.

هرگاه تمام مدها همفاز باشد حاصل برهم‌نهی آنها دارای چنین  
شدتی خواهد شد که نشان دهنده خروجی پالسی می باشد

## قبل شدگی مدها Mode-locking

$$E_n(t) = E_n e^{-i(\omega_n t + \varphi_n)}$$

$$E_{tot} = \sum_{n=1}^N E_n e^{-i(\omega_n t + \varphi_n)}$$

$$\begin{cases} \omega_n = \omega_0 + n\Delta\omega \\ \varphi_n = \varphi_0 + n\Delta\varphi \end{cases}$$

فرض کنیم که امواج دارای فاصله  
بسامدی یکسان هستند:

$$E_{tot} = \sum_{n=1}^N E_n e^{-i(\omega_0 + n\Delta\omega t + \varphi_n)}$$

$$E_{tot} = E e^{-i\omega_0 t} \sum_{n=1}^N e^{-i(n\Delta\omega t)}$$

تمام امواج هم دامنه و همفاز فرض شده اند:

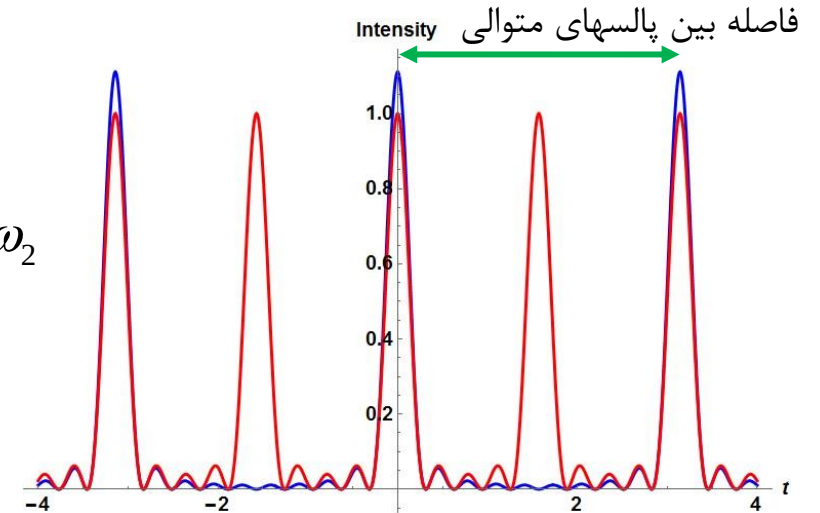
$$E_{tot} = E e^{-i\omega_0 t} \sum_{n=1}^N \left( e^{-i\Delta\omega t} \right)^n$$

$$E_{tot} = E e^{-i\omega_0 t} \left( \frac{\sin(N\Delta\omega t)}{\sin(\Delta\omega t)} \right)$$

$$I = I_M \left( \frac{\sin(N\Delta\omega t)}{\sin(\Delta\omega t)} \right)^2$$

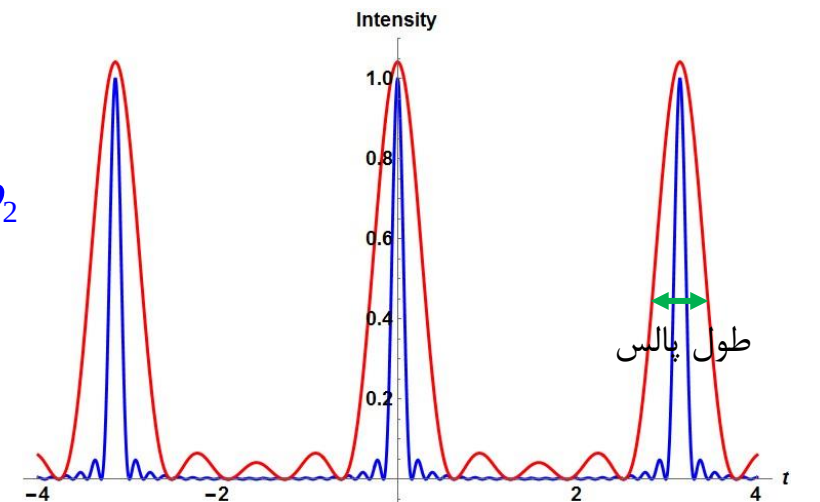
$$\Delta\omega_1 > \Delta\omega_2$$

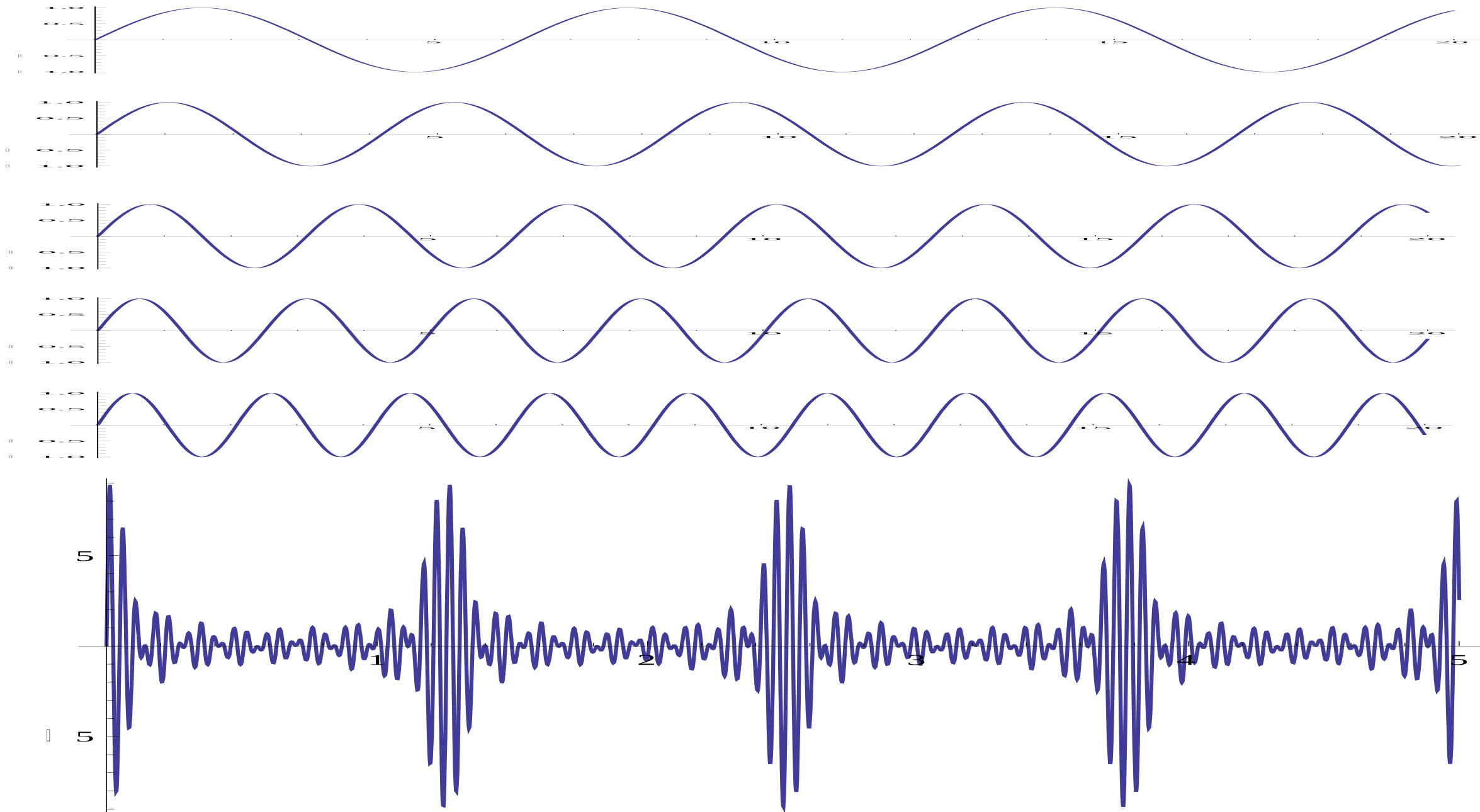
$$N_1 \Delta\omega_1 = N_2 \Delta\omega_2$$



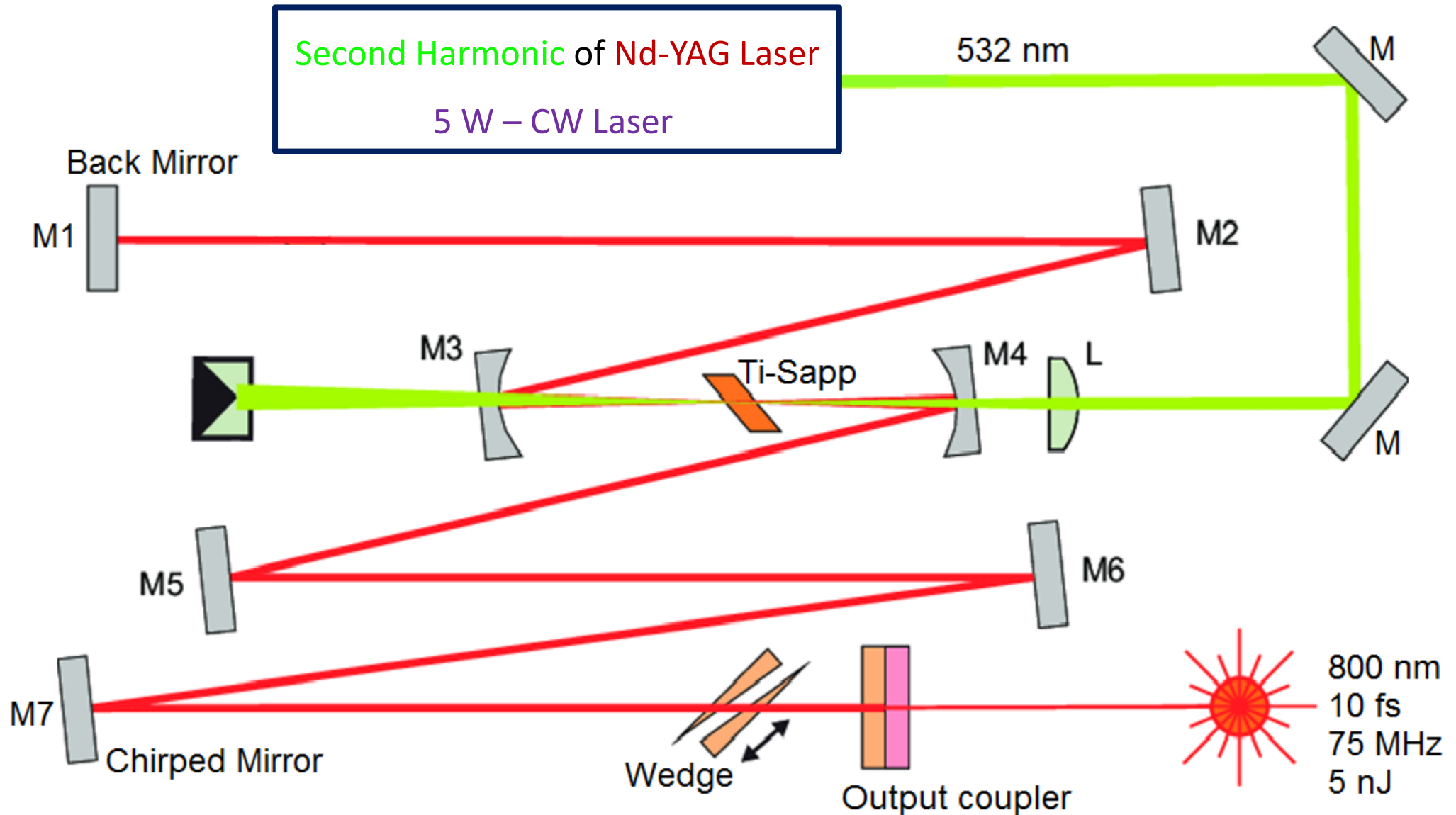
$$\Delta\omega_1 = \Delta\omega_2$$

$$N_1 \Delta\omega_1 < N_2 \Delta\omega_2$$





# Kerr Lens Mode-Locked Ti-Sapphire femto-laser



## femto-Oscillator

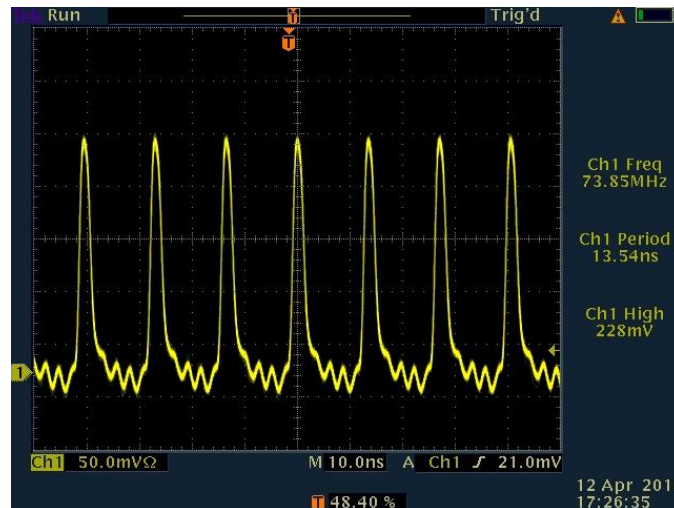
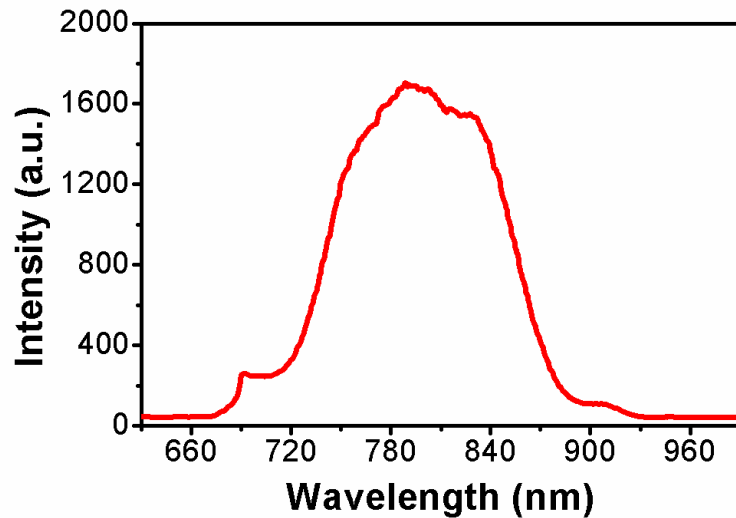
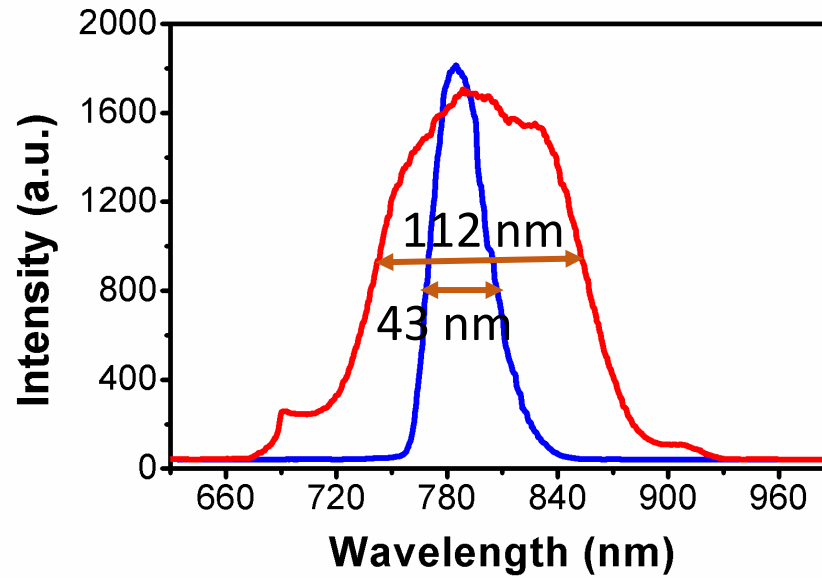
$$\bar{P} = 400 \text{ mW}$$

$$\text{R.R.} = 75 \text{ MHz}$$

$$E_p = \frac{\bar{P}}{\text{R.R.}} = 5.3 \text{ nJ}$$

$$\tau = 10 \text{ fs}$$

$$P_{\text{peak}} = \frac{E_p}{\tau} = 0.53 \text{ MW}$$



## femto-Amplifier

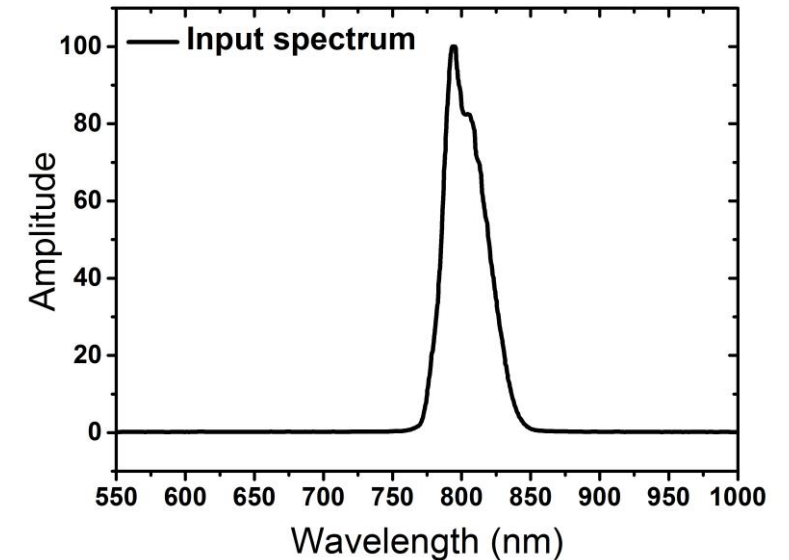
$$\bar{P} = 800 \text{ mW}$$

$$\text{R.R.} = 1 \text{ kHz}$$

$$E_p = \frac{\bar{P}}{\text{R.R.}} = 0.8 \text{ mJ}$$

$$\tau = 25 \text{ fs}$$

$$P_{\text{peak}} = \frac{E_p}{\tau} = 66.6 \text{ GW}$$

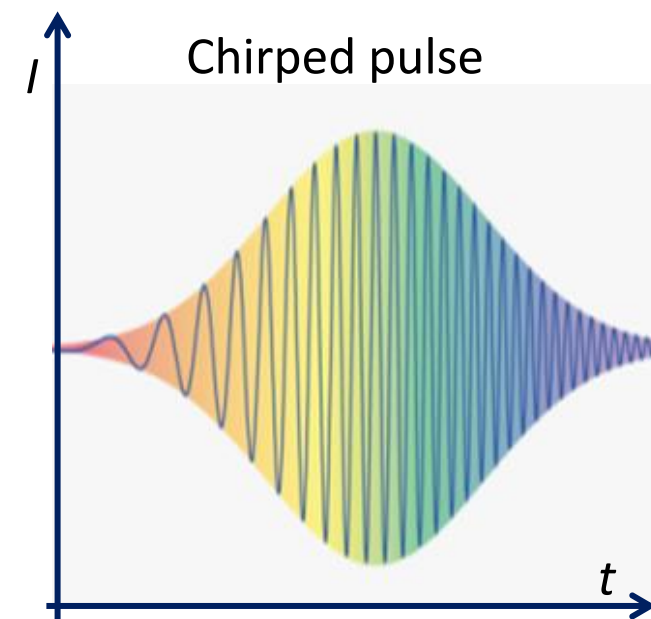
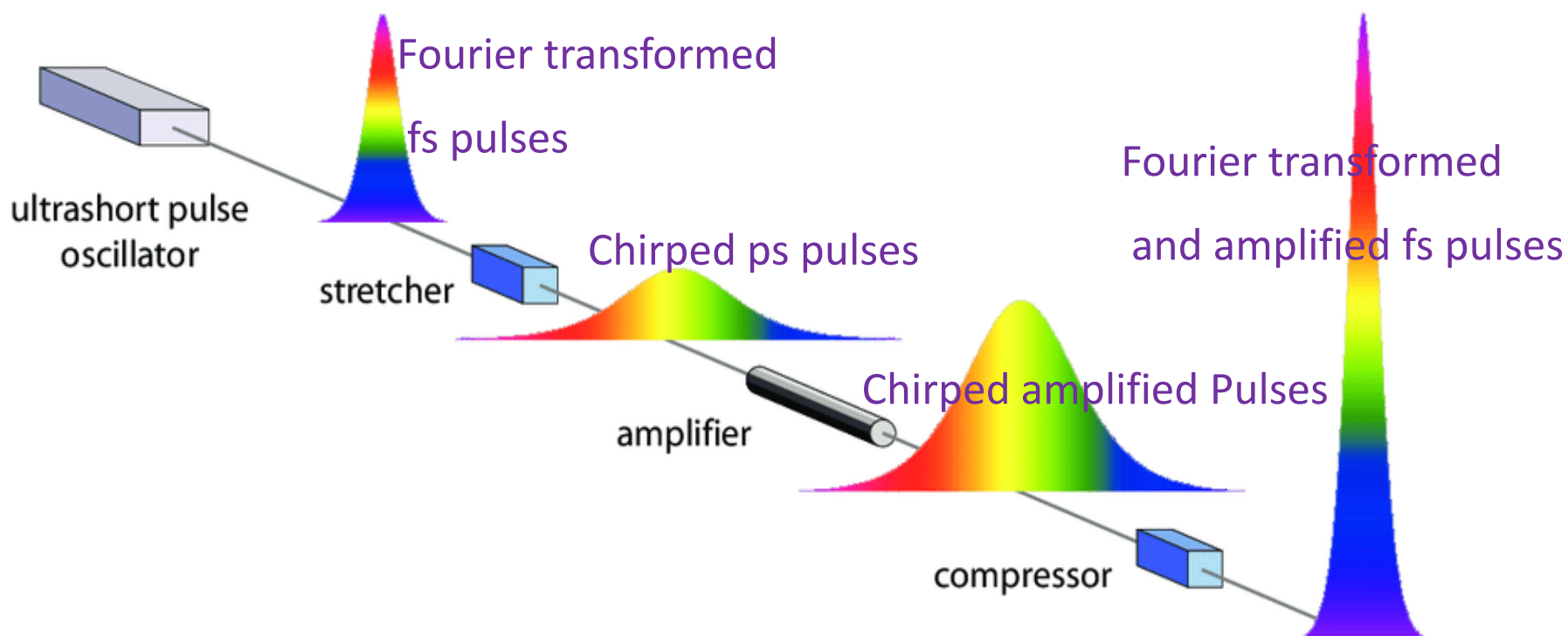


## Chirped pulse Amplification

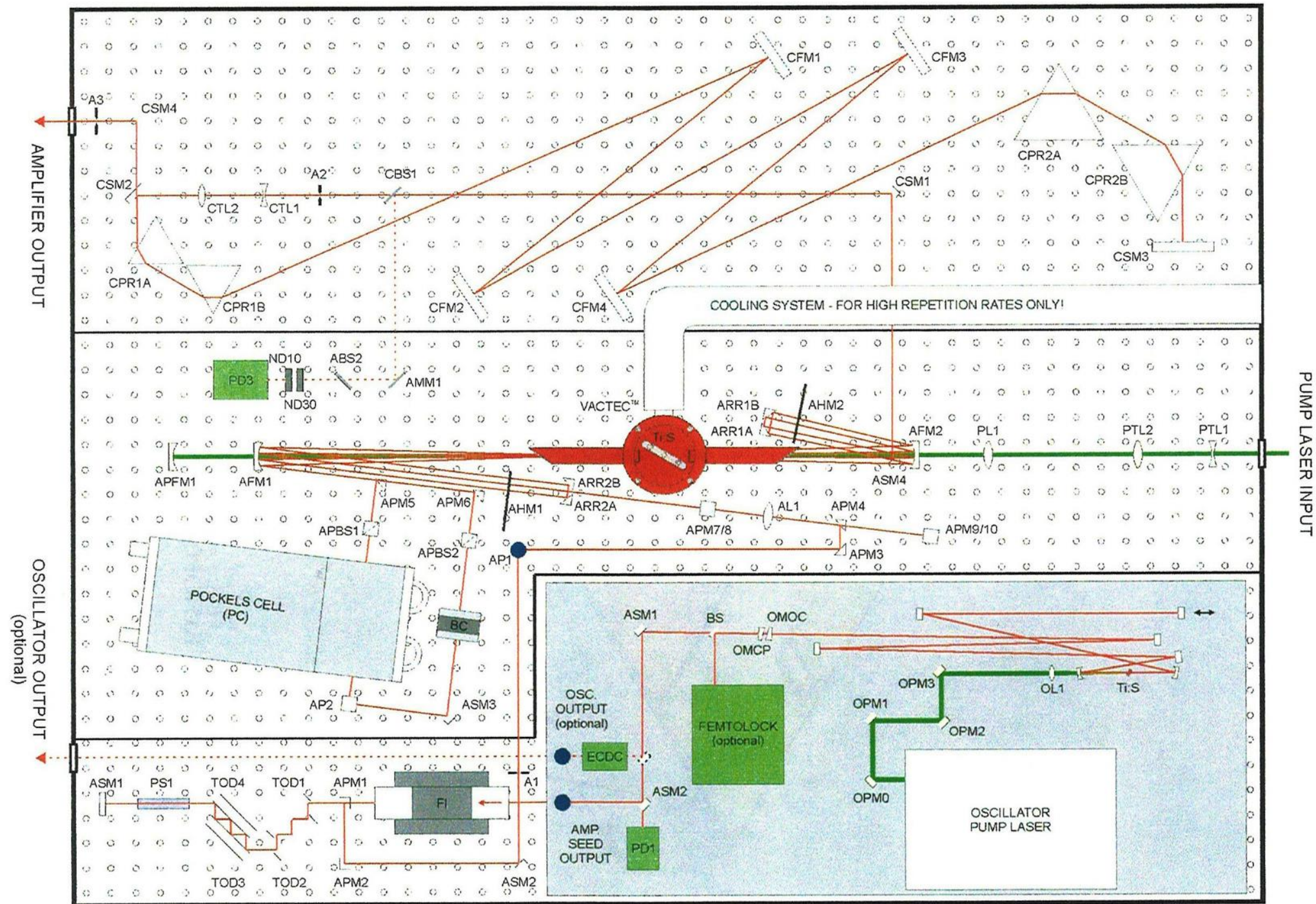
قرار است انرژی پالس ۱۵۰۰۰۰ بار تقویت گردد. اگر طول پالس ثابت بماند شدت نیز ۱۵۰۰۰۰ بار افزایش یافته و باعث آسیب دیدن کریستال خواهد شد.

$$\frac{E_p^{Amplifier}}{E_p^{Oscillator}} = \frac{0.8 \text{ mJ}}{5.3 \text{ nJ}} = 150,000$$

برای جلوگیری از آسیب اپتیک بکار رفته در امپلیفایر طول پالسهای خروجی از اسیلاتور را قبل از ارسال به قسمت امپلیفایر افزایش می دهند. این کار با انتشار باریکه لیزر از درون یک قطعه شیشه ای به طول چند سانتی متر انجام می گیرد. پالسهای خروجی از استرچر چیرپ شده هستند یعنی طیف تابش تابع زمان است. طول موجهای بلندتر در ابتدای پالس و طول موجهای کوتاهتر از انتهای پالس مشاهده می شوند.



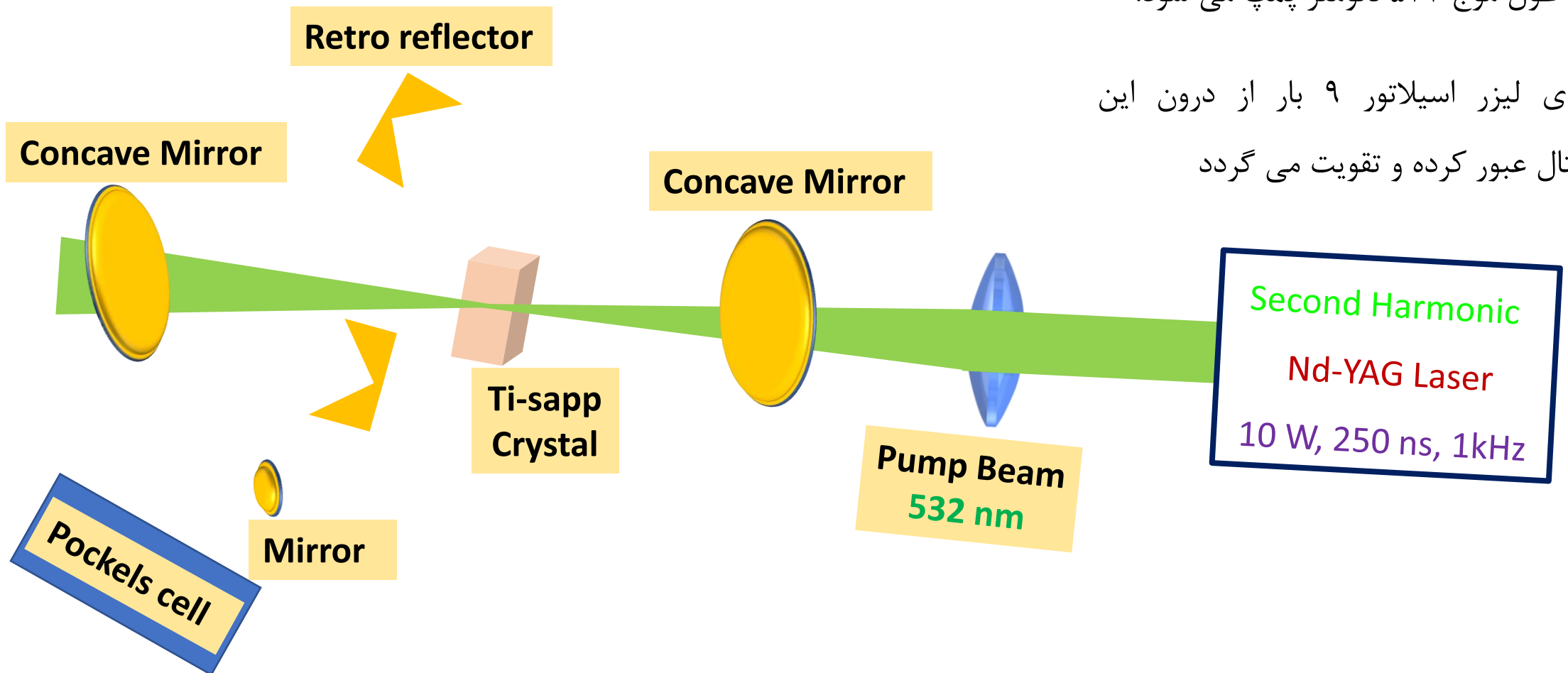




## Amplifying Section

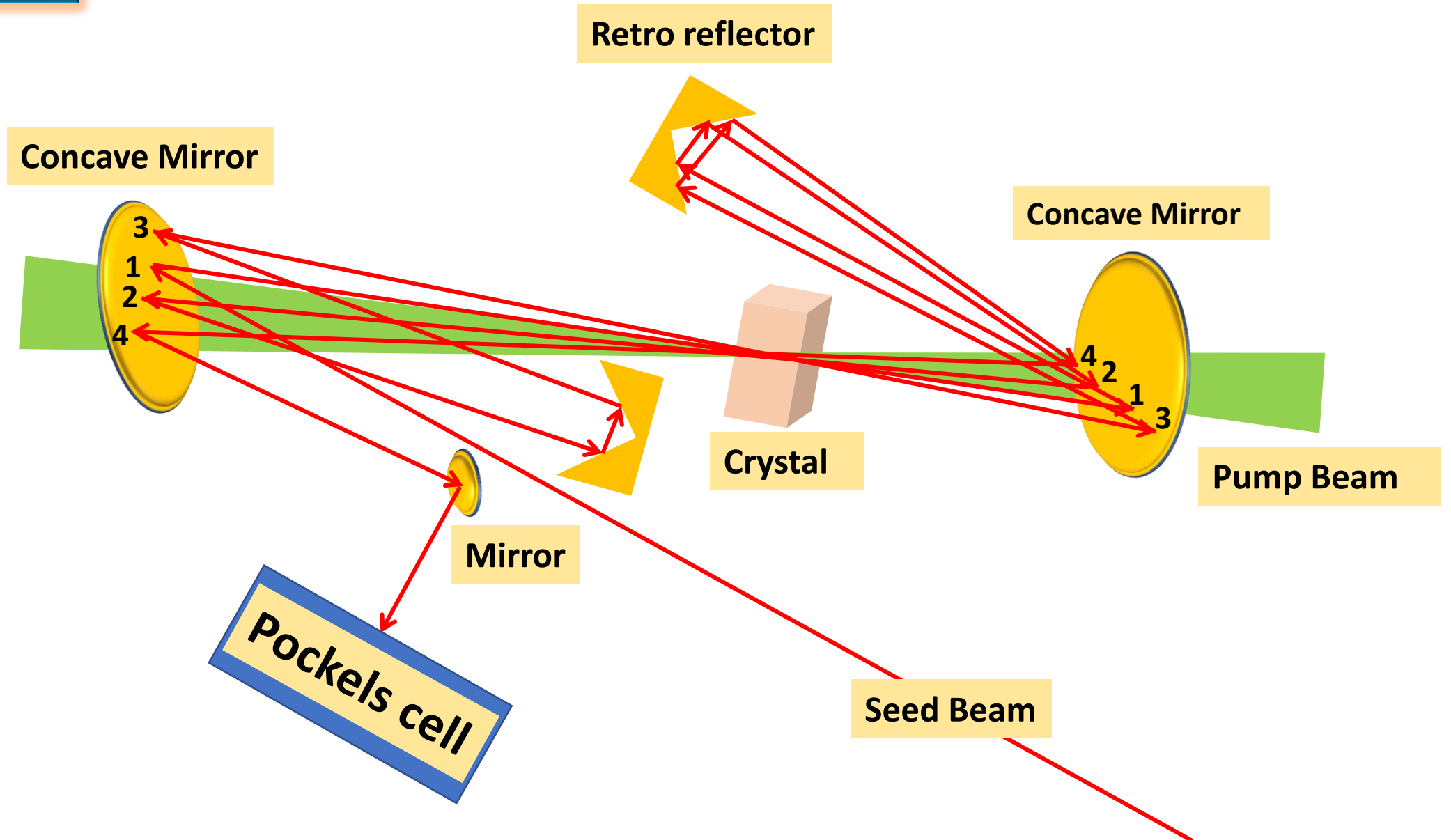
قلب قسمت امپلیفایر یک کریستال Ti-sapphire به ابعاد حدود  $5^{mm} \times 5^{mm} \times 10^{mm}$  است. این کریستال در یک محفظه خلا و بر روی یک خنک کننده پلتیر قرار دارد. کریستال توسط یک لیزر پالسی با تکرار پالس یک کیلو هرتز، طول پالس حدود ۲۵۰ نانوثانیه، انرژی پالس ۱۰ میلی ژول و طول موج ۵۳۲ نانومتر پمپ می شود.

پالسهای لیزر اسیلاتور ۹ بار از درون این کریستال عبور کرده و تقویت می گردد





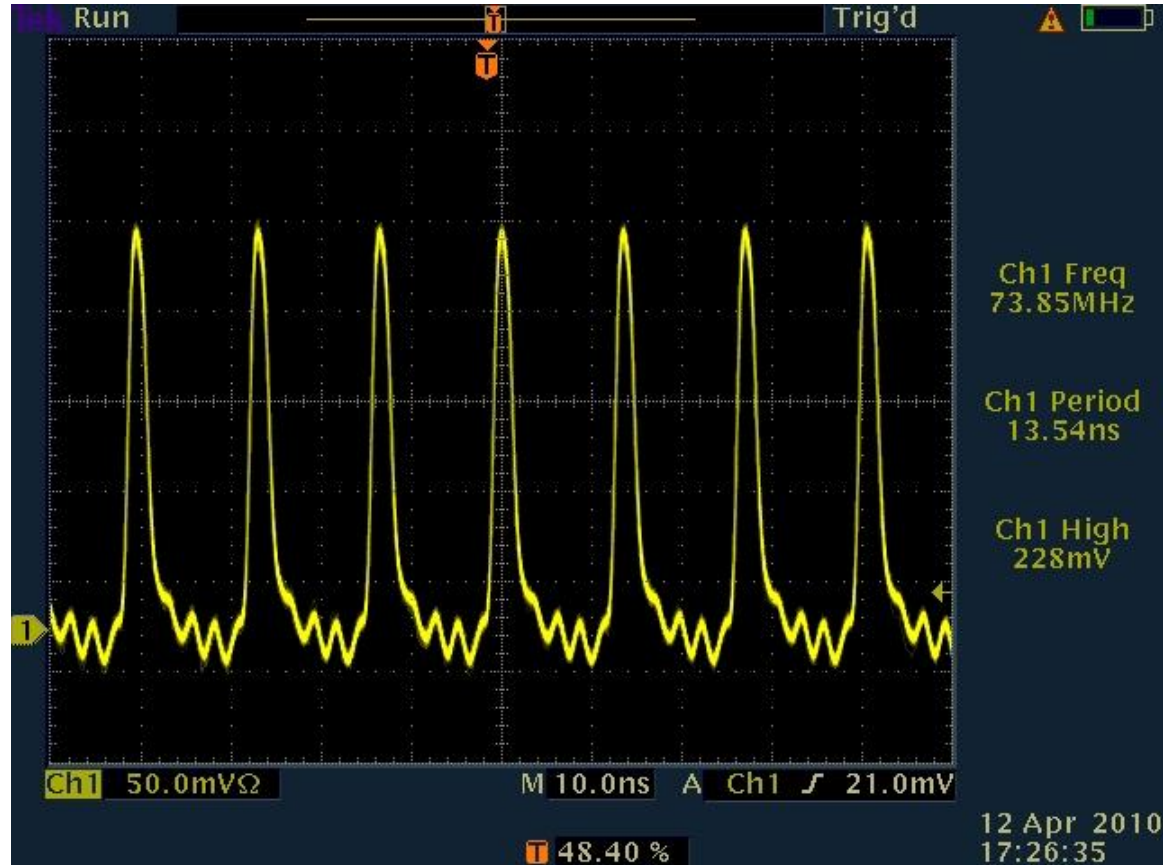
**1<sup>st</sup> 4-pass**



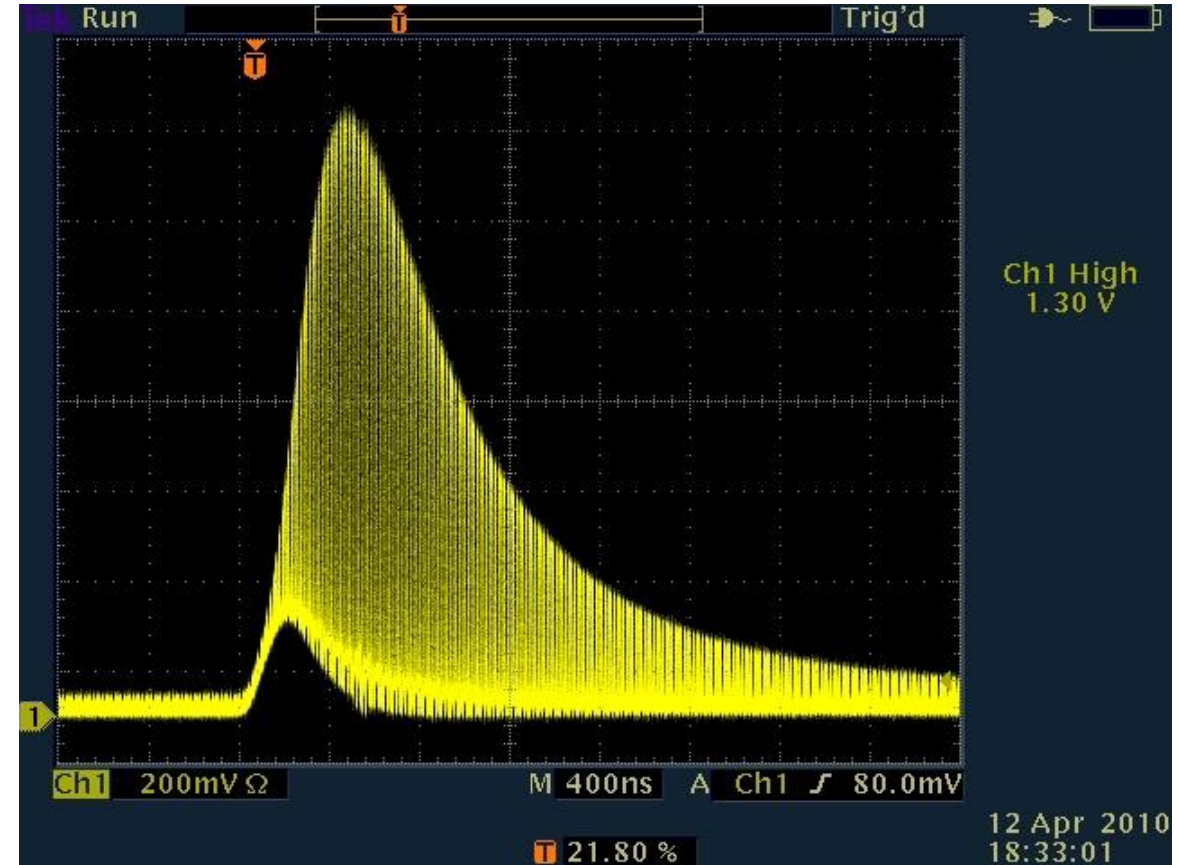
قطار موج تابش ورودی به امپلیفایر

تکرار پالس ۷۳.۸۵ مگا هرتز

زمان جدایی پالسها ۱۳.۵۴ نانوثانیه

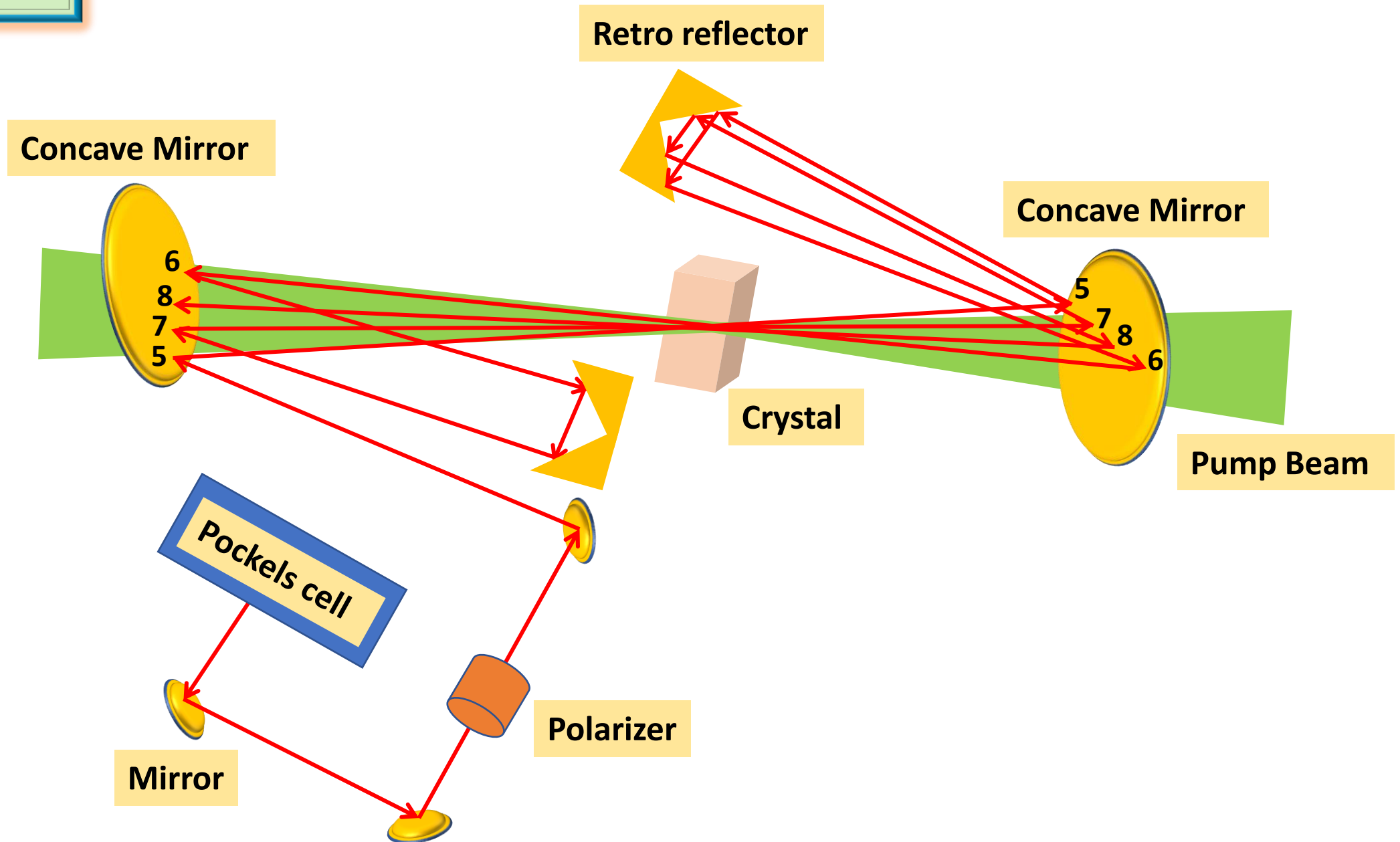


قطار موج پس از چهار بار عبور از درون کریستال

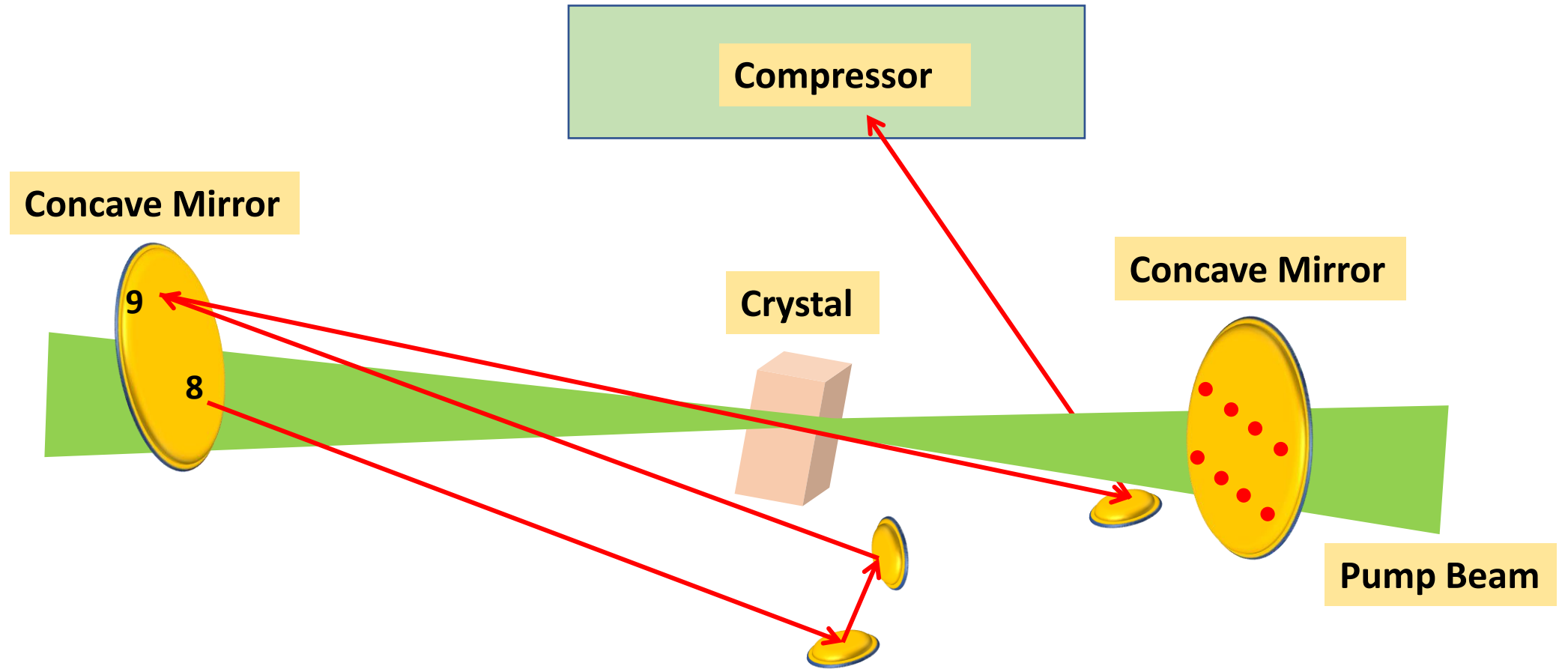


پوش این سیگنال شکل پالس لیزر پمپ ۲۵۰ نانوثانیه را نشان می دهد.

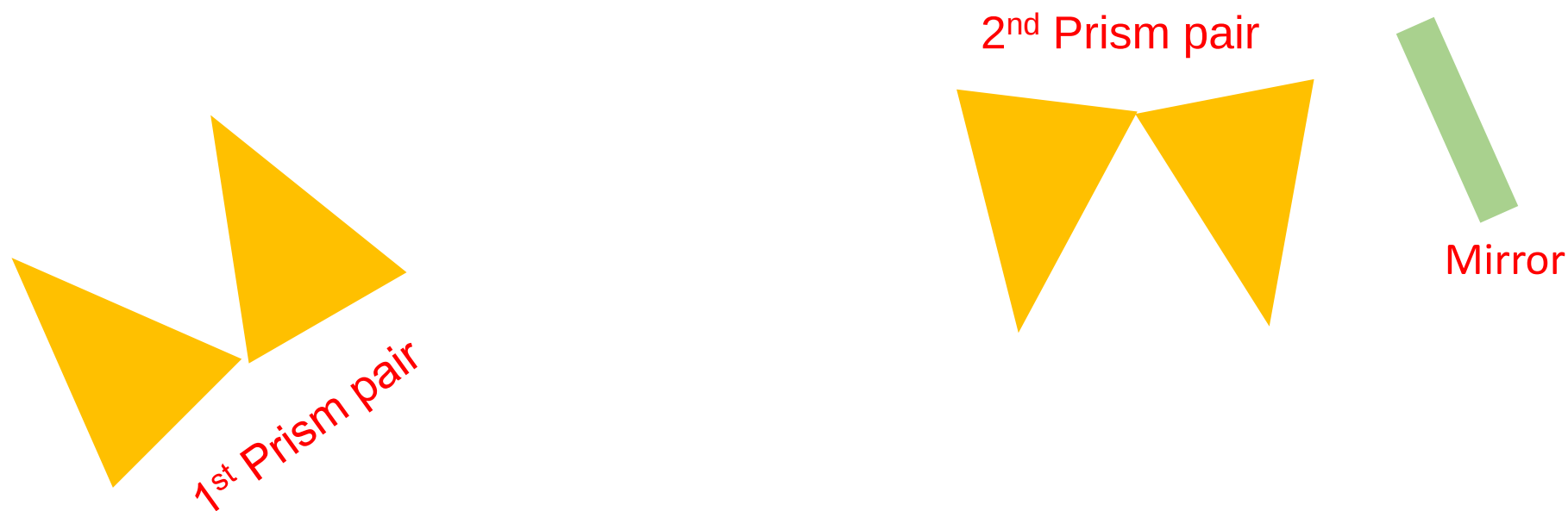
## 2nd 4-pass



**9<sup>th</sup> pass**

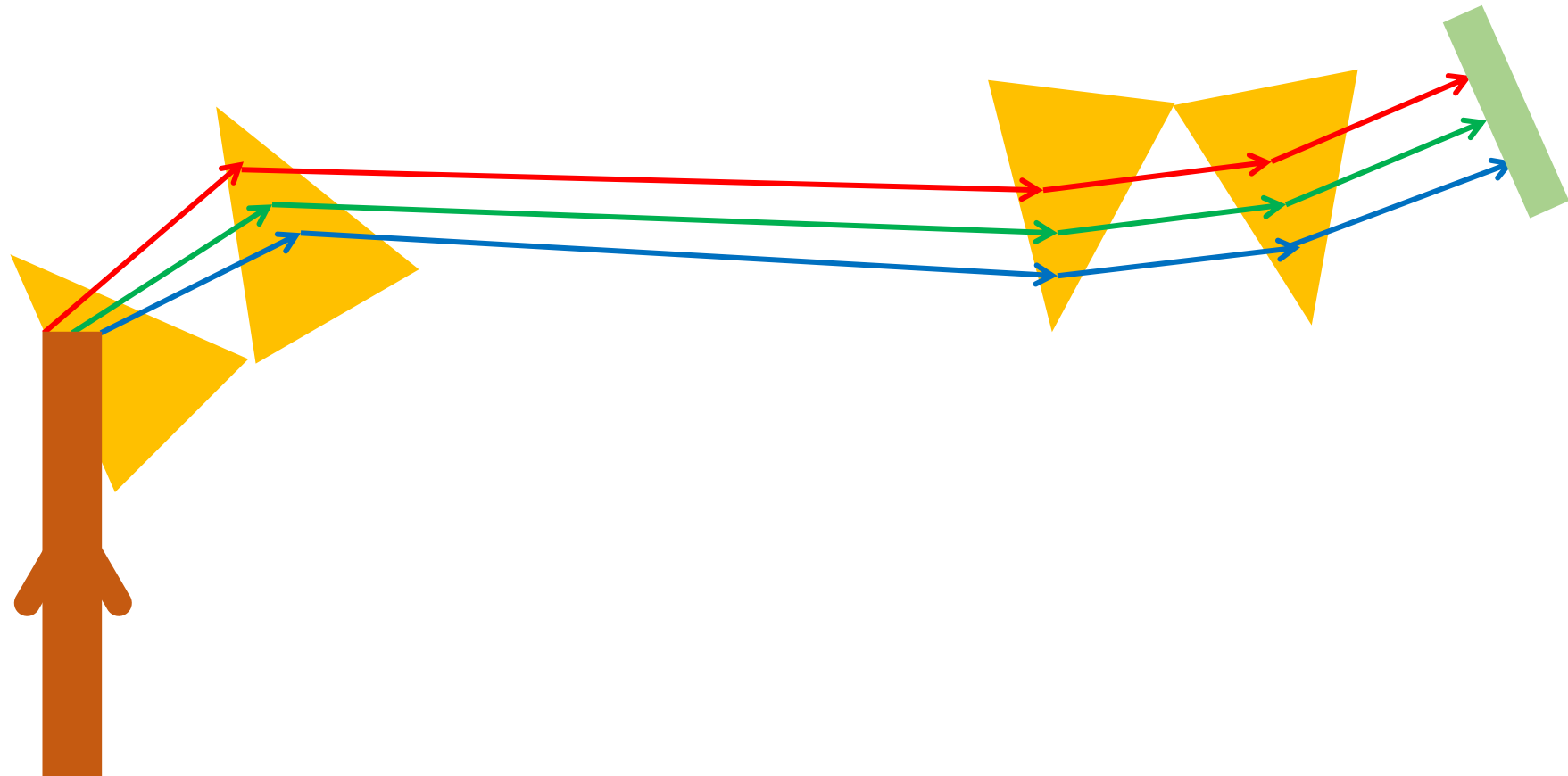


## Compressing Section



سیستم فشرده ساز از دو جفت منشور از شیشه  $SF_{11}$  تشکیل شده است. در این شیشه تغییرات ضریب شکست بر حسب طول موج زیاد است. چیدمان به گونه ای است که پس از پاشیده شدن باریکه لیزری در اولین منشور راه اپتیکی برای مولفه قرمز نسبت به مولفه آبی بیشتر است در نتیجه در رفت و برگشت زمان بیشتری صرف می کند و همزمان با مولفه آبی می شود.

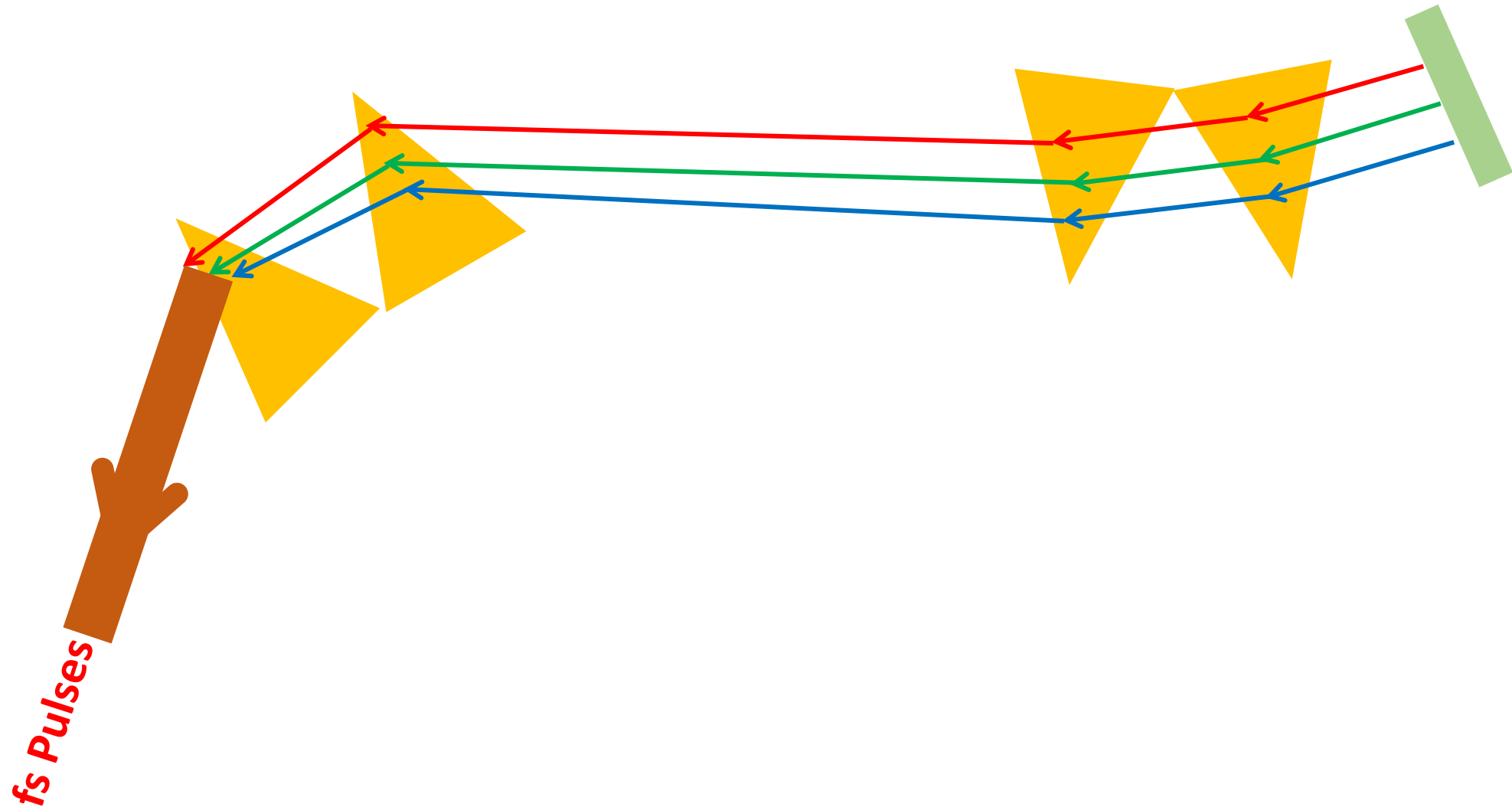
## Compressing the pulse using prism pair

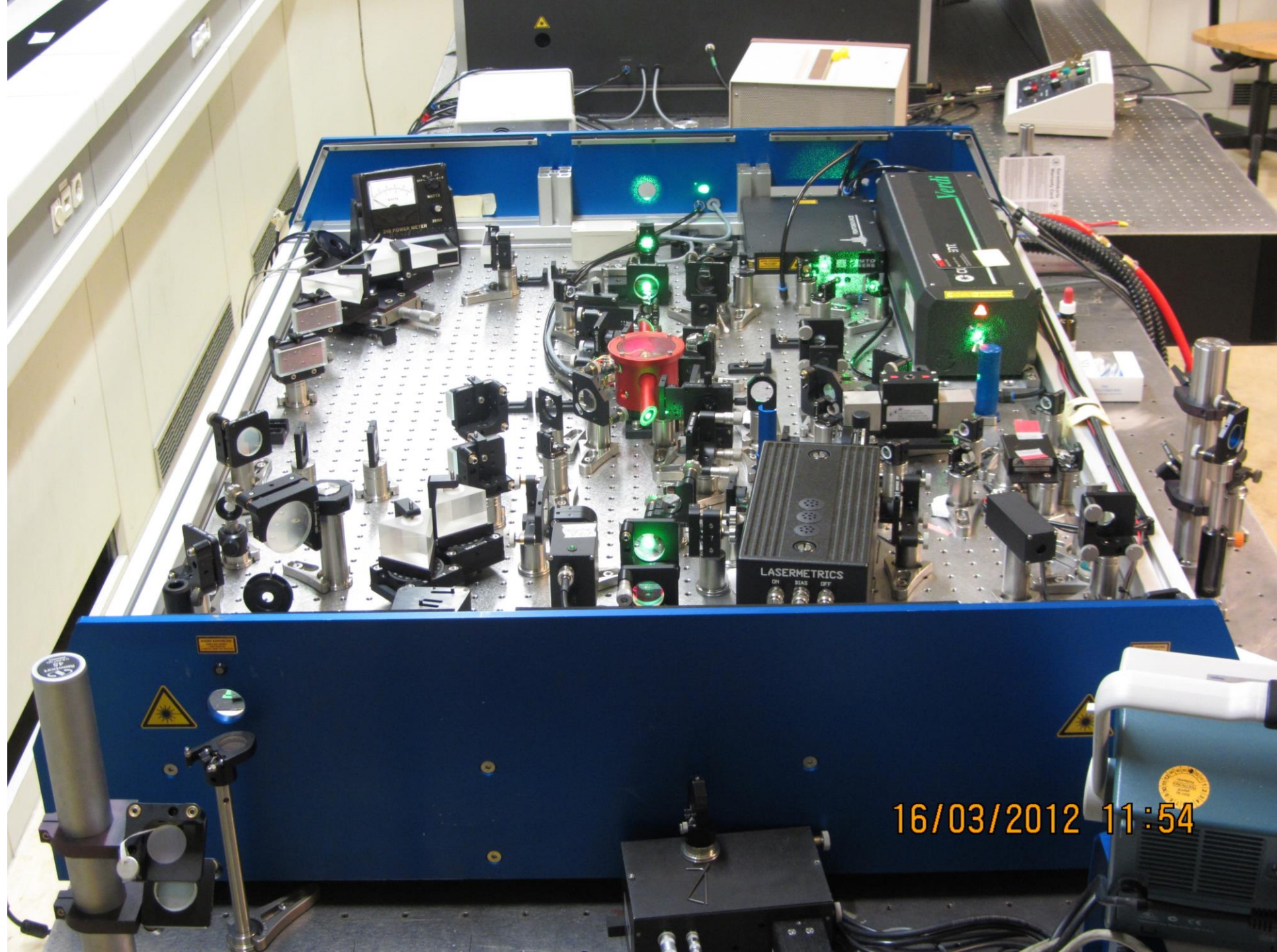


تابش پیکوثانیه

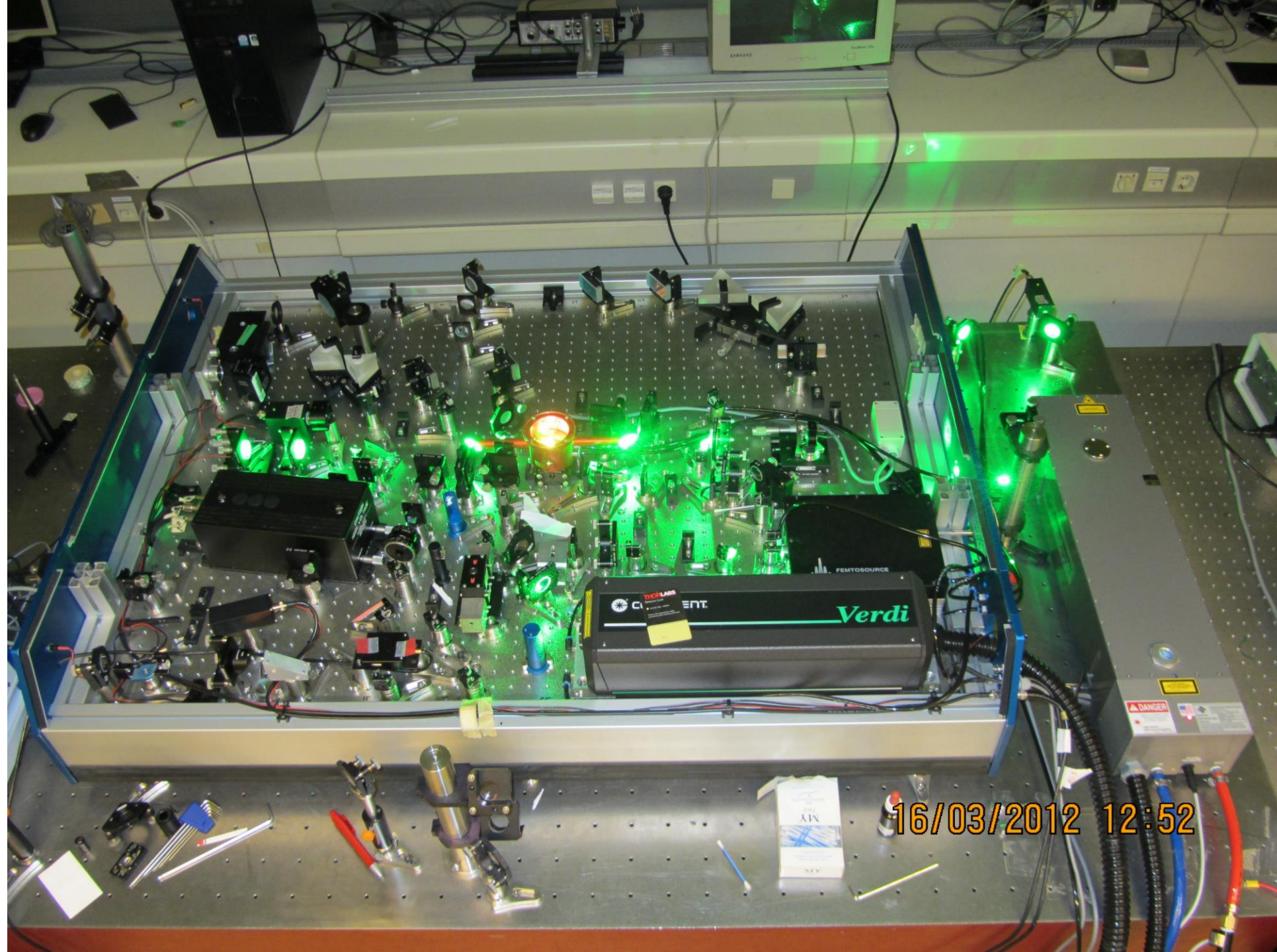


## Compressing the pulse using prism pair









16/03/2012 12:52





دانشکده فیزیک  
دانشگاه سمنان

معاونت پژوهشی دانشکده فیزیک برگزار می کند:

# فمتولیزر امپلیفایر Femtolaser Amplifier

سخنران: آقای دکتر علی اصغر عجمی

دانشکده فیزیک



تاریخ: دوشنبه ۱۴۰۰/۰۸/۰۳



ساعت: ۱۳:۰۰



<http://vc10.semnan.ac.ir/rephysics>

شرکت کنندگان می توانند به عنوان مهمان (guest) بدون نیاز به کلمه عبوری (password) فقط با وارد کردن نام خود وارد جلسه شوند.