

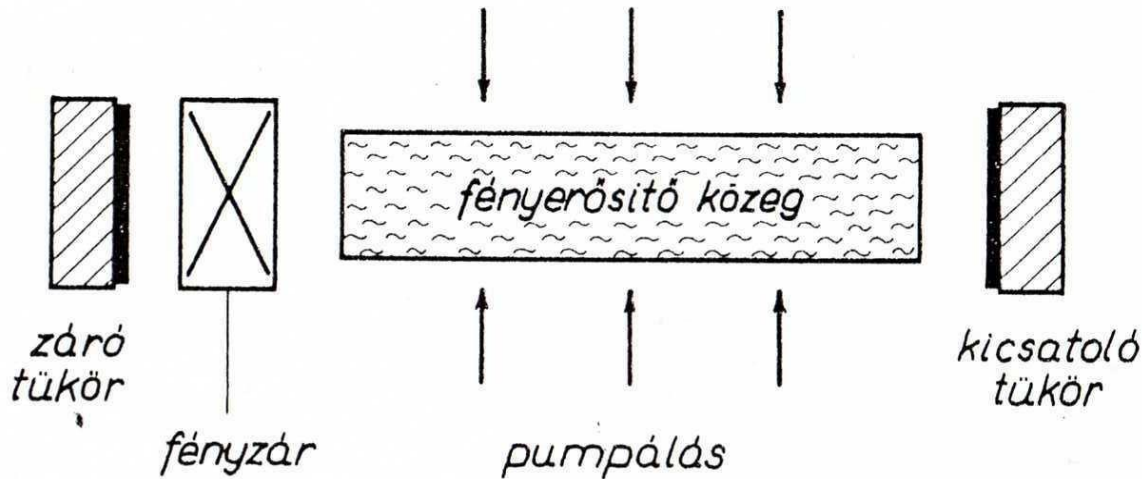
Műszaki lézerfizika

8. előadás: Rövid lézerimpulzusok
keltése

A lézerek két üzemmódjáról

- Az első szilárdtest lézerek csak impulzus üzemben tudtak működni. Sem a gerjesztés, sem a melegedés nem tette lehetővé a folytonos üzemet.
- Számos alkalmazás igényelte azonban a folytonos üzemet (CW), amit komoly fejlesztésekkel el is lehetett érni. A CW módban azonban a populációinverzió csak kismértékben lépi túl a lézerműködéshez szükséges küszöbértéket, mivel az indukált emisszió beindulása csökkenteni kezdi azt.
- Még később aztán kiderült, hogy a nagyobb lézerteljesítmény kedvezőbb lenne sok alkalmazásban. Ez azonban CW módban nem megvalósítható. És szükségtelen is, mivel impulzus üzemben sokkal nagyobb pillanatnyi teljesítmény érhető el.
- Ha a rezonátorban elhelyezünk egy kapcsolót, ami a lézerműködést megakadályozza, akkor a pumpálás hatására a populációinverzió a küszöbértéket jóval nagyobb mértékben meghaladhatja. Ha hirtelen kinyitjuk a kapcsolót, akkor az erősítés jóval nagyobb a veszteségnél, és a beinduló lézerműködés hatására a rezonátorban tárolt nagy mennyiségű energia egy rövid időtartamú, nagy intenzitású impulzus formájában lép ki a rezonátorból.
- Mivel ez a technika a rezonátor Q jóságai tényezőjének egy alacsony értékről magas értékre történő kapcsolására épül, ezért ezt a technikát röviden Q-kapcsolásnak nevezzük.

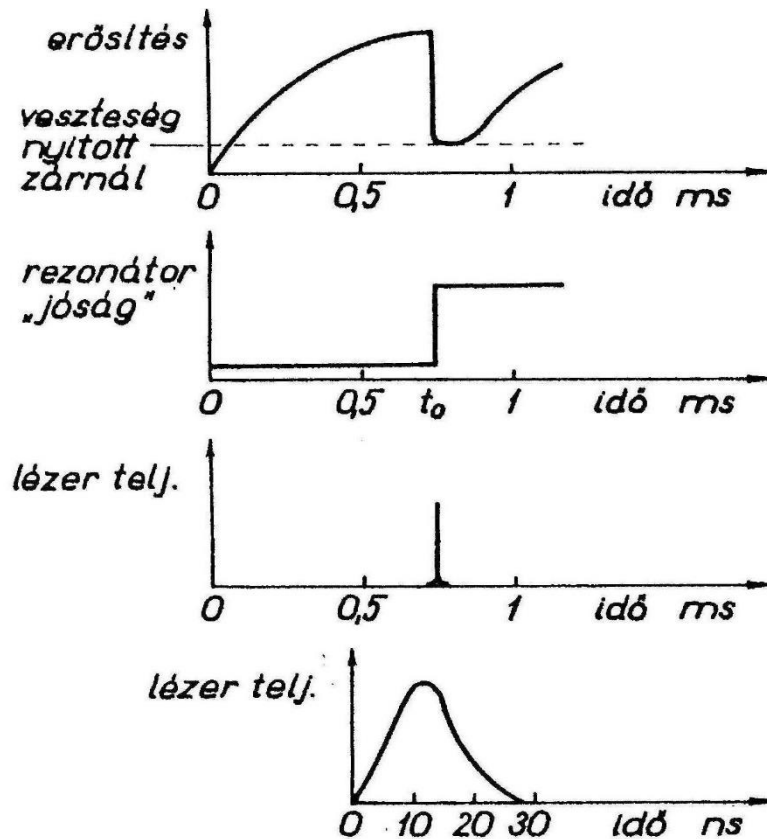
A Q-kapcsolás



Q: quality = minőség
A tükörrezonátor
jósági tényezője

A Q-kapcsolás elve: A pumpálás már folyik, a populáció inverzió már kiépült, de a fényzár csukva van. Ilyenkor a rezonátor visszacsatolása nem elegendő a lézer beindulásához. A zárat hirtelen kinyitva a visszacsatolás megnő, a felépülő lézersugárzásban egyszerre sok gerjesztett atom energiája sugárzódik ki.

A Q-kapcsolás/2



Óriásimpulzus kialakulása szilárdtest impulzuszérezekben

- a) Az inverzió, ill. erősítőképeség időfüggése
- b) A zár nyitása
- c) A lézerimpulzus megjelenése
- d) A lézerteljesítmény időbeli változása a c)-hez képest húszezerszeresen széthúzott időskálán

c,

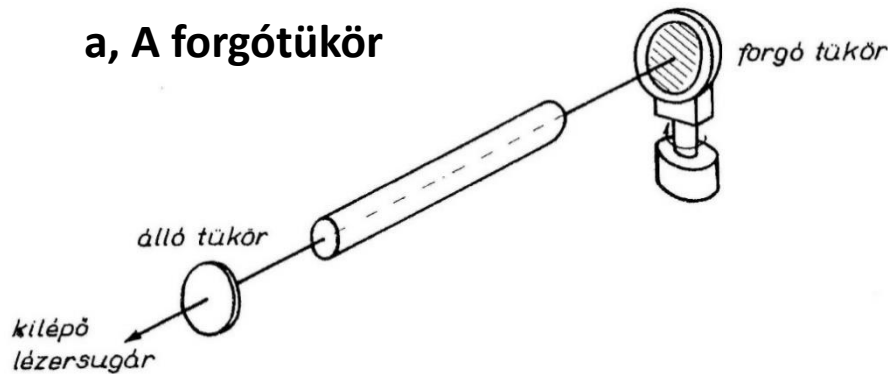
A Q kapcsolás energetikai veszteséget okoz.

d,

Q kapcsoló nélkül 1ms impulzus 1W teljesítmény = 1mJ impulzus
Q kapcsolóval 1ns impulzus 10^5 W teljesítmény = $10^{-9} \cdot 10^5 = 10^{-4}$ J = 0,1mJ

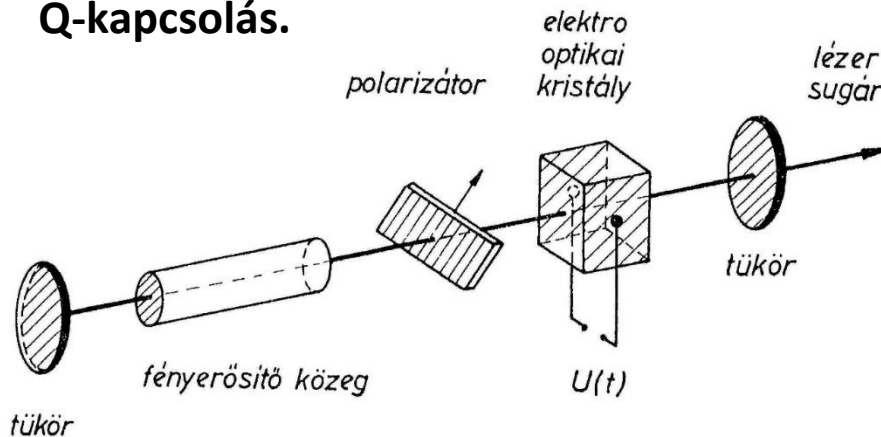
Aktív Q kapcsoló

a, A forgótükör



a) Folytonos lézert meg lehet szaggatni ezzel az eszközzel $Q \neq 0$, ha a tükör merőleges a rezonátor tengelyre 20-40 ezer fordulat/perc a tipikus fordulatszám (μs)

b, Elektrooptikai Q-kapcsolás.

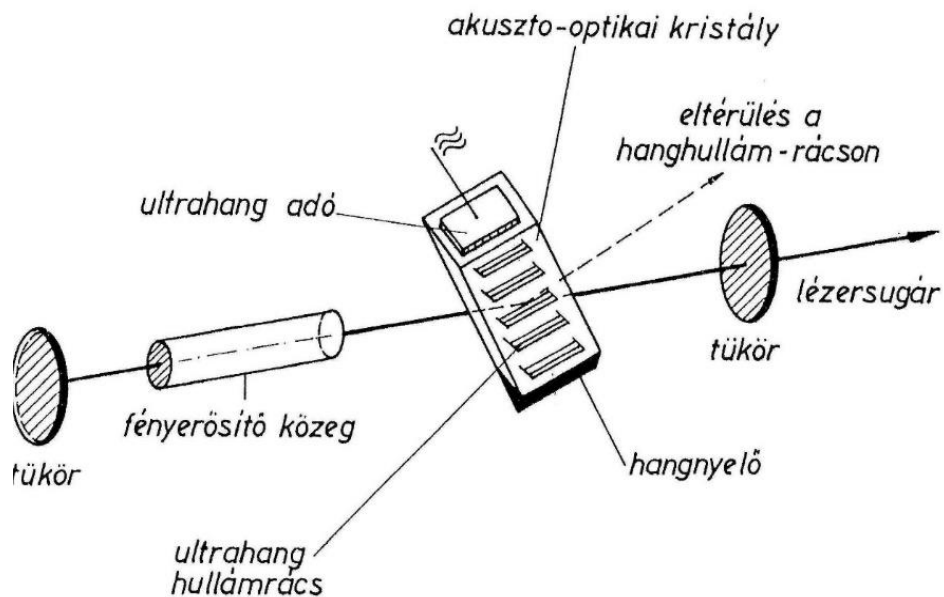


b, A KDP kristályon olyan feszültség van, hogy a rajta oda – vissza áthaladó, lineárisan polarizált fény polarizációs síkját éppen 90° -kal forgatja el (2 db $\lambda/4$ lemez),

- ezt a polarizátor nem ereszt tovább; ebben az állapotban a rendszer zár.
- Amikor a KDP-ről a feszültséget hirtelen lekapcsolják, a polarizációs sík elforgatása megszűnik, a zár kinyit.
- Pockels-cellának is nevezik
- Gyorsabb, mint a, de csak kis teljesítményt tud kapcsolni (ns)

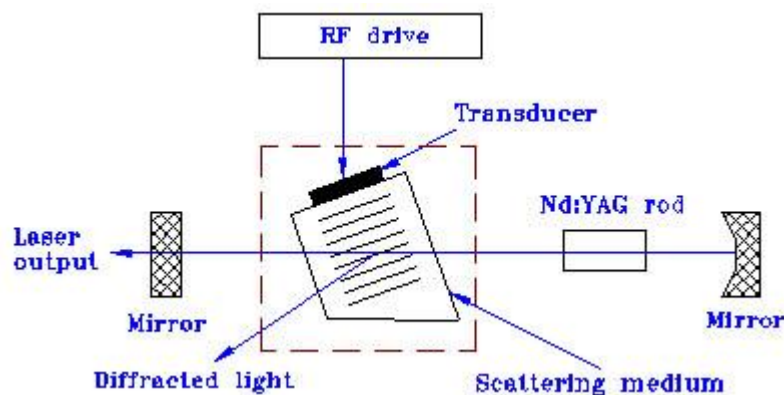
Aktív Q kapcsoló/2

c, Akusztóoptikai Q-kapcsoló



c, Az akusztóoptikai kristályban ultrahanghullámot (UH) keltenek, ez törésmutató rácsot hoz létre a kristályban, melyen a fény elhajlást szenved; ilyenkor a rezonátor vesztesége nagy.

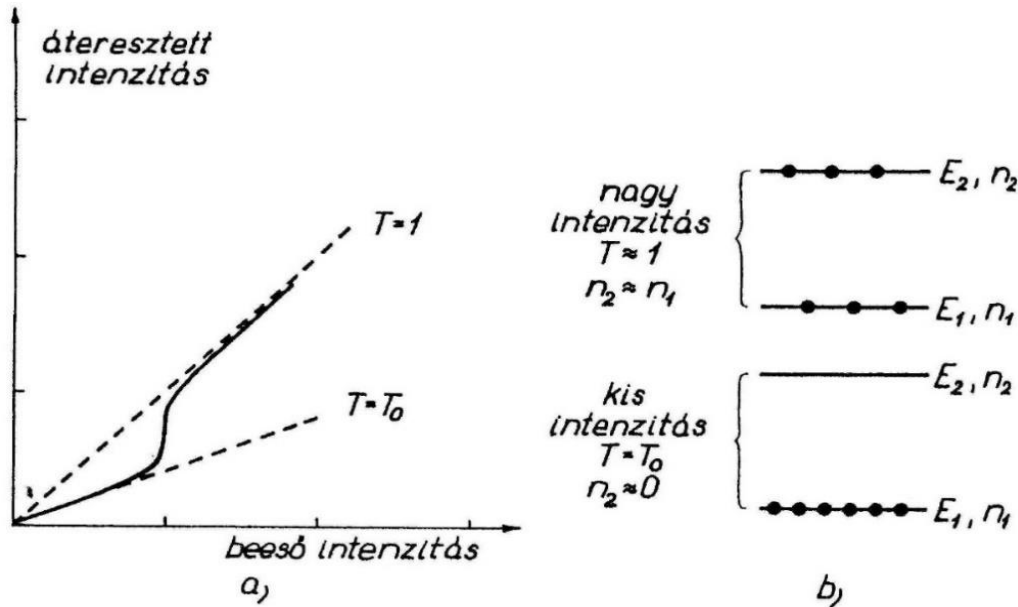
Amikor a UH-t hirtelen lekapcsolják, az eltérítés megszűnik, a zár kinyit.



Az AO Q-kapcsolót nevezik Bragg-cellának is, bár az inkább AO modulátor (tehát egy picit a frekvenciát is változtatja)

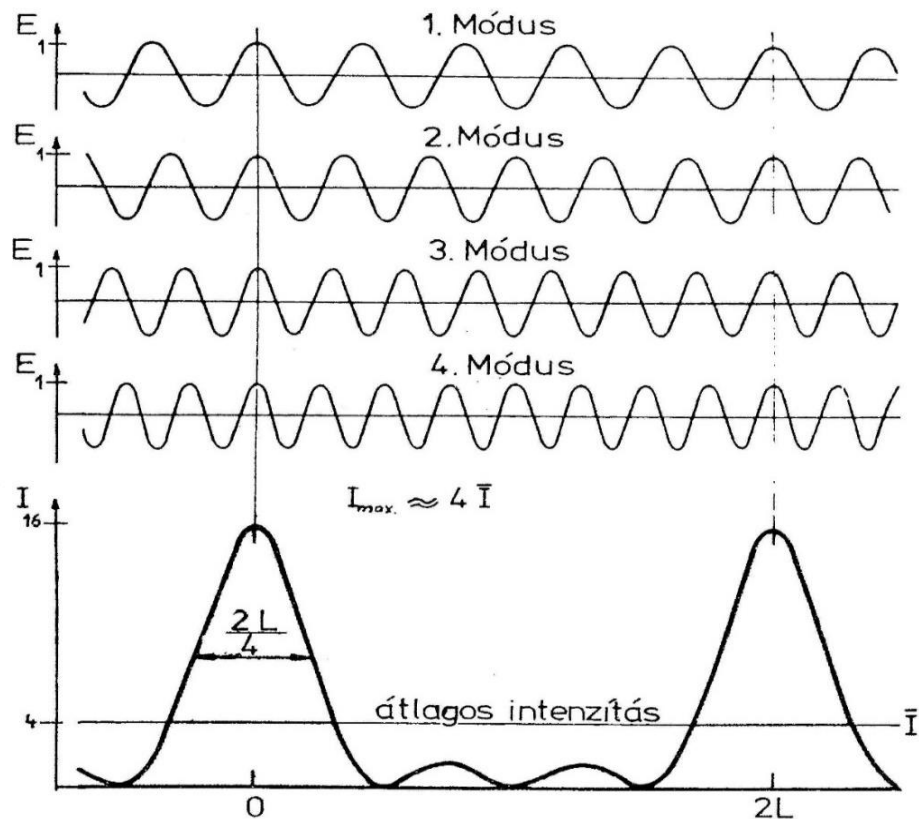
A Bragg-celláról később még lesz szó!

Passzív Q kapcsoló



- **Passzív Q – kapcsoló: telítődő abszorbens (festékoldat kivilágosodása nagy intenzitásnál)**
- Kis intenzitásnál a festékoldat fényáteresztése állandó értékű (T_0). Bizonyos intenzitásszint felett az oldat transzmissziója rohamosan nőni kezd és megközelíti a $T = 1$ -et.
- A kivilágosodás oka: kis intenzitásnál a gerjesztett állapotú molekulák száma (n_2) elenyésző az alapállapotúakhoz (n_1) képest, tehát dominál az abszorpció. Nagy intenzitásnál viszont $n_2 \approx n_1$, tehát az indukált emisszió egyensúlyba kerül az abszorpcióval.

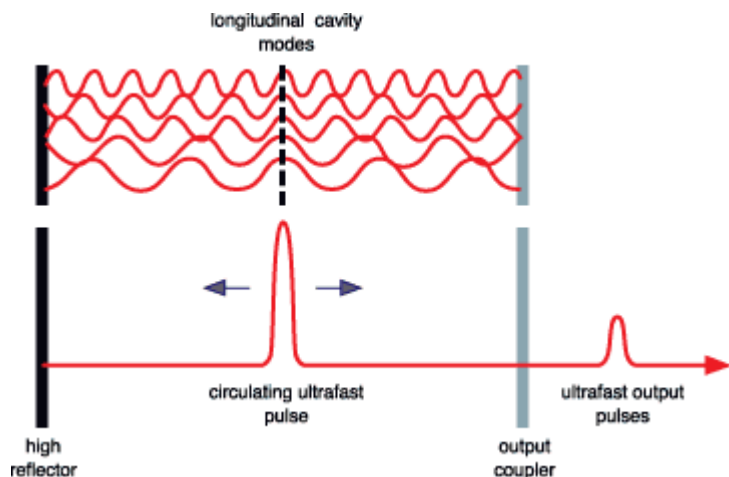
Módusszinkronizáció: A longitudinális módusok szinkronizálása



$n \cdot (\lambda/2) = L$ (rezonátor hossz)
Szomszédos longitudinális módusok, ha $n' = n+1$

Négy szinkronizált lézermódus eredő intenzitása egy adott pillanatban, a tér különböző pontjaiban (egy egyenes mentén). A kezdőpontban minden módusnál éppen hullámhegy van. Ez az állapot $2 \cdot L$ távolságban megismétlődik. A csúcshintenzitás a négy módus átlagintenzitásának négyszerese, az intenzitás-maximum térbeli szélessége $2 \cdot L/4$.

Módusszinkronizáció/2



Általában a módusok fázisai össze – vissza vannak. Sok módus esetén a maximumok nem esnek mind egybe. Hogy egybe essenek szinkronizálni kell őket.

Az n szinkronizált módust összeadva az intenzitás maximum szélessége $2 \cdot L/n$.

Pl.: $L=20$ cm $n=100$

$$\Delta x = 2 \cdot 20 / 100 = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta t = \Delta x / c = 4 \cdot 10^{-3} / 3 \cdot 10^8 = 4/3 \cdot 10^{-11} \text{ s} = 13 \text{ ps}$$

Minél több a módus, annál rövidebb az impulzus. Tehát széles erősítési görbe (titán-zafír lézer) és/vagy hosszú rezonátor (szállézer) kell!!!

Hogy lehet a módusokat szinkronizálni?

A lézert tápláló teljesítményt (vagy a Q-t) moduláljuk $2L/c$ periódus idővel (pontosan kell!). Ez aktív! Lényegében egyetlen impulzus „pattog” oda-vissza a lézerben.

Passzív módusszinkronizáció kivilágosodó festékekkel.

Ezt a kettőt együtt alkalmazzák!

A (szegedi) szuperlézer

- Az Extreme Light Infrastructure (ELI) egy tervezett európai uniós „kutatási nagyberendezés”, ami nagy energiájú lézerekkel foglalkozna. A létesítmény **exawatt-osztályú (10^{18} wattos) lézerével a relativisztikus hatások figyelembe vételével 10^{23} W/cm² intenzitás** is elérhető majd, ami a 2010-ben létező legnagyobb lézernél három nagyságrenddel nagyobb teljesítménysűrűséget jelent.
- Az Irányító Testület 2009. október 1-jén, Prágában úgy döntött, hogy Csehország, Magyarország és Románia közösen valósíthatja meg az ELI elosztott infrastruktúráját. Ez az első alkalom, hogy egy nagy, közös kutatóintézet új EU-tagországokban épülhet meg.
- A három tagországnak 2015 végére kell létrehozni a tudományos projekt három pillérét: az **attoszekundumos impulzusokkal** Magyarországon (**Szegeden**) foglalkoznak, a nagy teljesítményű másodlagos forrásból történő, másodpercenként akár tízszer „tüzelő” beamline Csehországban, **Prágában** épül majd, Romániában, **Bukarestben** pedig fotonukleáris kutatóközpont épülne, a nagy teljesítményű lézerek magfizikai alkalmazásainak vizsgálatára.

Fizika

A csúcsteljesítmény **10^{18} W** lesz.

Magyarország elektromos energia termelése max. kb. $5 \cdot 10^9$ W, a viláé is csak 10^{12} W nagyságrendű.

Hogy is van ez???

Ez a teljesítmény csak kb. 100 as-ig (10^{-16} s) fog fennállni, és mondjuk másodpercenként 100 impulzus lesz, az átlagteljesítmény mindössze 10 kW lesz.

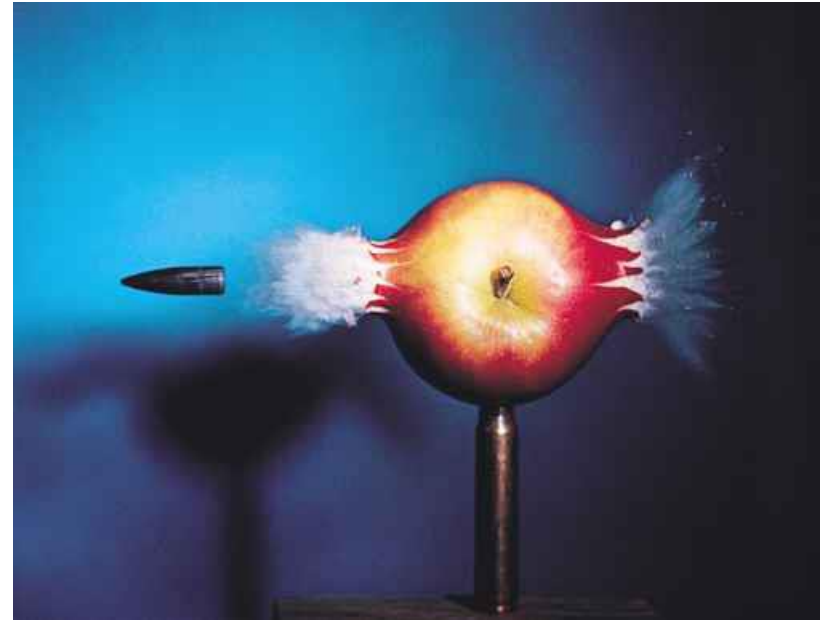
A vizsgált jelenségek szempontjából csak a csúcsteljesítmény számít!

Ha a csúcsteljesítmény (10^{18} W) egy másodpercig fennállna, az valóban elegendő lenne egész Szeged megolvasztására.

Fizika

Nehéz 100 as (10^{-16} s)
elképzelése is!!!

A híres alma átlövéses kísérlet
expozíciós ideje 10^{-6} s lehet



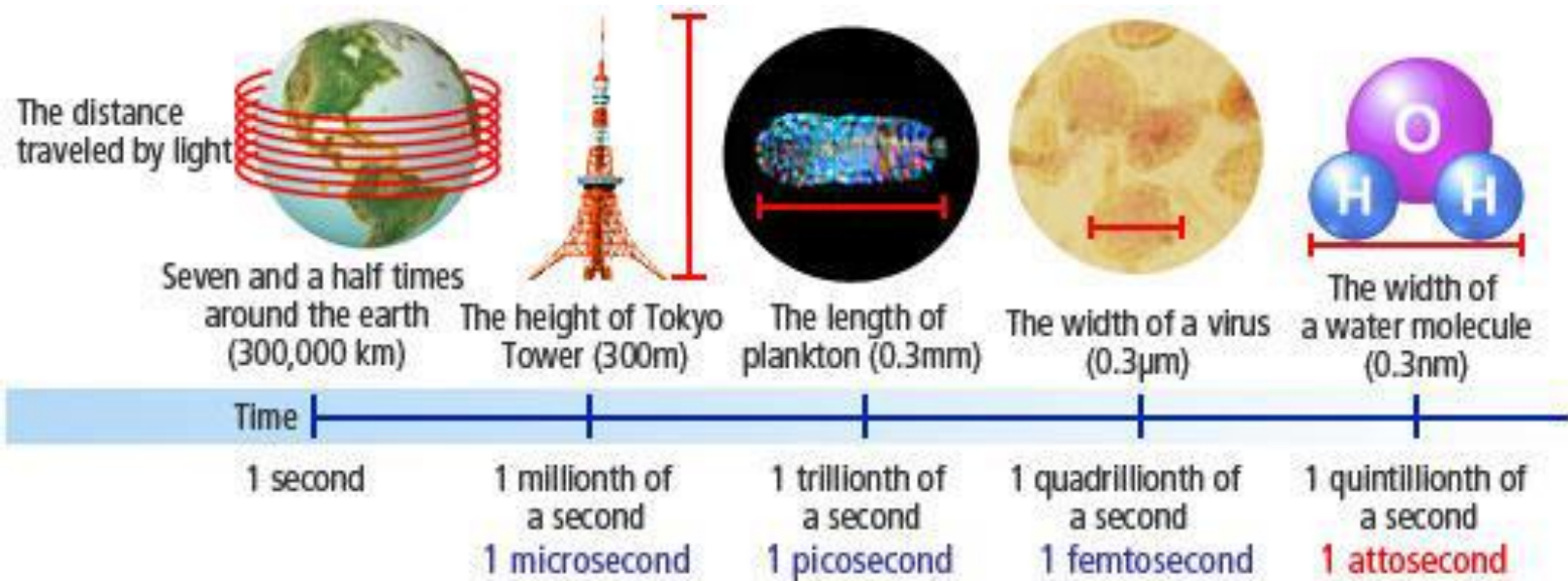
Ennél **10 milliárdszor rövidebb** időről van szó. Ez alatt a fény csak néhány atomnyi távolságra jut el (a hajszál vastagságának ezredrészére).

Másképpen: a 100 as úgy viszonyul az 1 μ s-hoz, mint az 1 s az emberi élet hosszához.

Ilyen expozíciós idő kell az atomi elektron „mozgásának” (pl. egy kémiai kötés kialakulási folyamatának) a „lefényképezésére”.

Nehezebb megmérni, mint létrehozni (Krausz Ferenc).

Mekkora utat tesz meg a fény a másodperc törtrészei alatt?



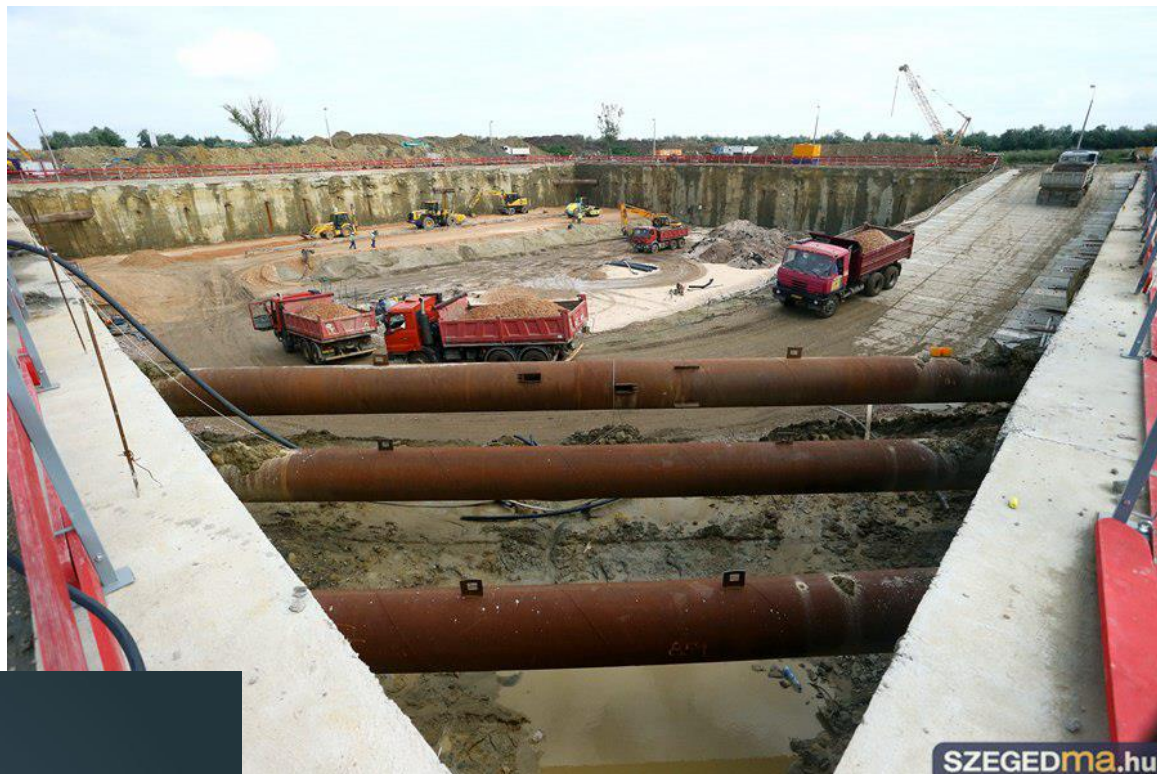
A szegedi szuperlézer épületei

ELI ALPS

Attoseconds Light Pulse Source



2014: földmunkák, alapozás



FÖLDMUNKA

Az „A” épület és a záportározó alól összesen
133.000m³ talaj kitermelése történt meg.



12.091 db
DÖMPER

≈133.000m³



AZ ÉPÜLET

A épület 6209m²
a lézeres technológia helyiségcsoportjai
(lézercsarnokok és kísérleti területek)

D épület 2926m²
a komplexum kiszolgálását,
karbantartását és
fenntartását biztosító
multifunkcionális csarnok

C épület 7391m²
a tudásközpontként is szolgáló,
irodai és kutató funkciókat
tartalmazó fogadó épület
(recepció, konferenciaterem,
könyvtár, szeminárium termek,
menedzsment irodák, étterem)

B épület 7936m²
a kiegészítő tudományos-műszaki területek helyiségcsoportjai
(laborok, előkészítő műhelyek, kutatók irodái, az „A” épületet
kiszolgáló gépészeti helyiségek)

ÖSSZES BETON

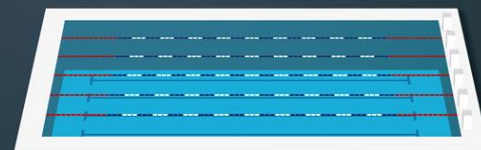
Építkezés során felhasznált összes beton
18 db olimpiai úszómedencét töltené meg.
Ez nagyjából **45.656 m³**-t jelent.

TÖBB
MINT **18 db**



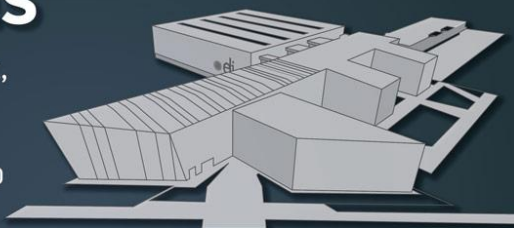
5707 db
BETONKEVERŐ

**OLIMPIAI
ÚSZÓMEDENCE
TÖLTHETŐ MEG
ENNYI BETONNAL**

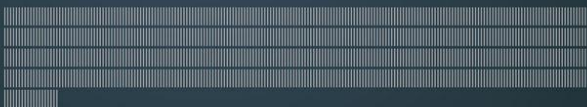


CÖLÖPÖZÉS

Az épületek stabilitását,
a talajmechanikai
tulajdonságoknak
megfelelően **819 db** cölöp
került lefűrésésre.



819db
CÖLÖP



AZ ÖSSZES CÖLÖP HOSSZA
14.400 méter



8848m

241db

1 méternél nagyobb
átmérőjű cölöp

578db

1 méternél kisebb
átmérőjű cölöp



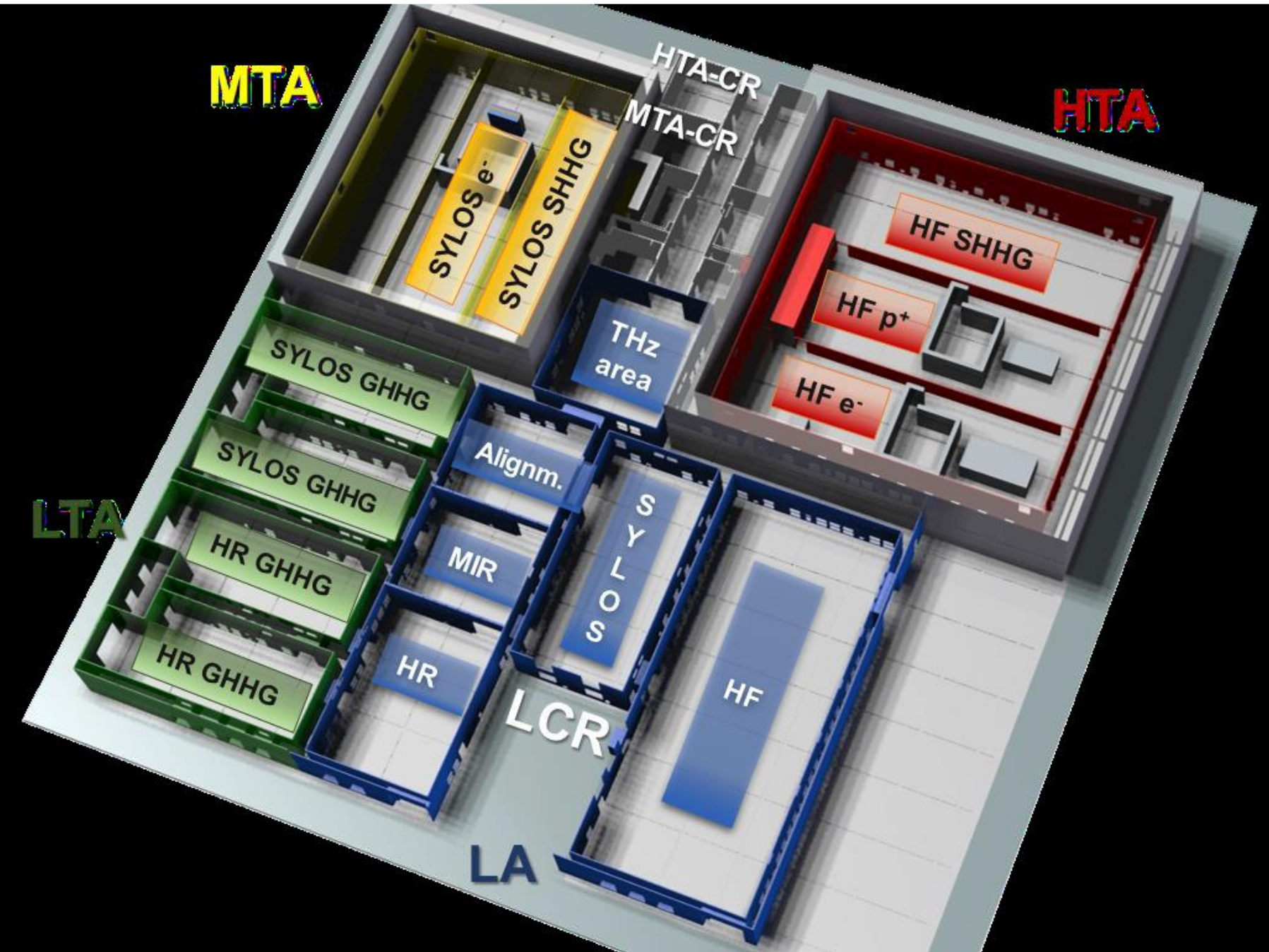




MTA

HTA

LTA



SYLOS e⁻
SYLOS SHHG

HTA-CR
MTA-CR

HF SHHG

HF p⁺

HF e⁻

THz
area

SYLOS GHHG

SYLOS GHHG

HR GHHG

HR GHHG

Alignm.

MIR

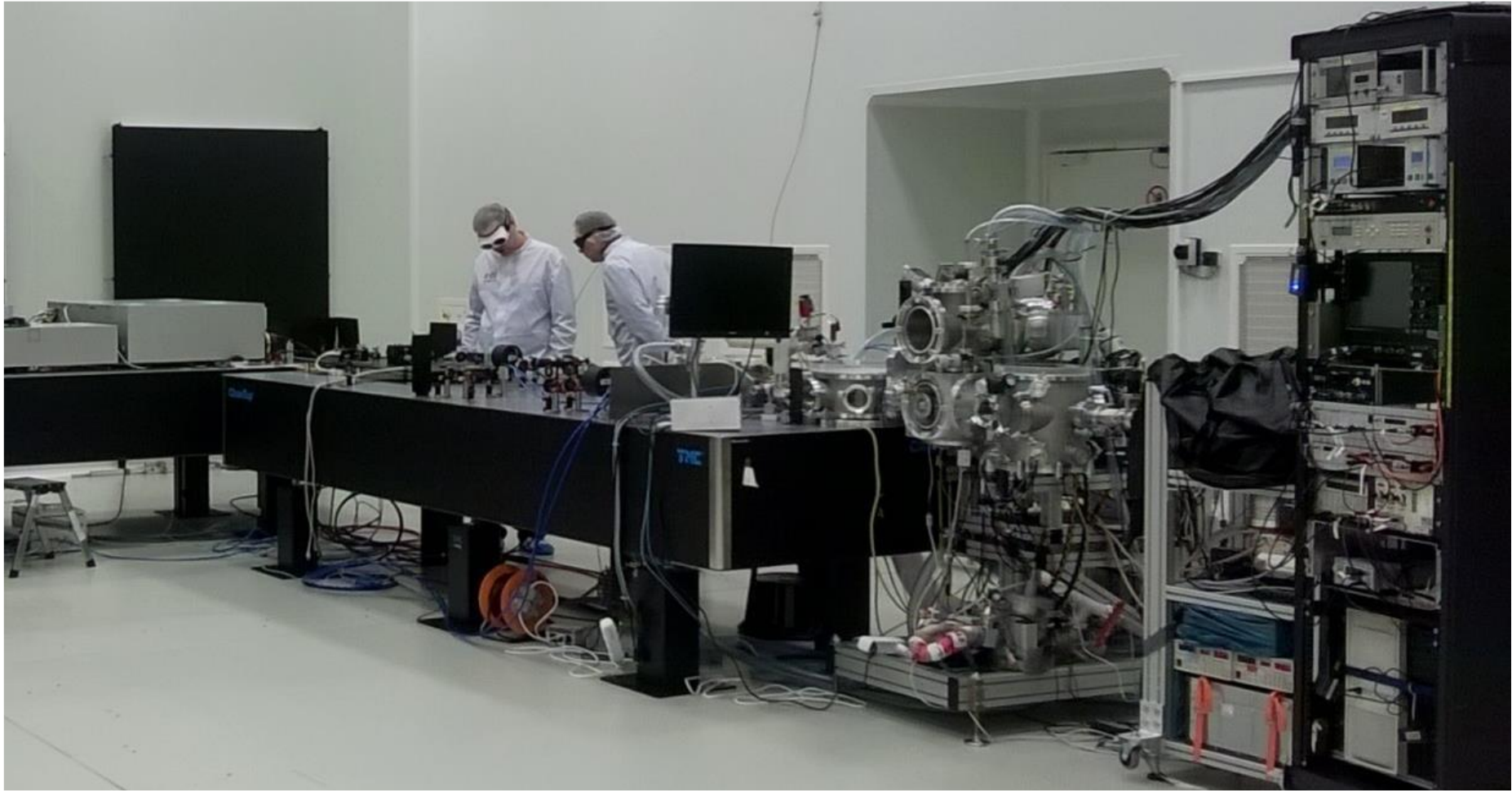
HR

S
Y
L
O
S

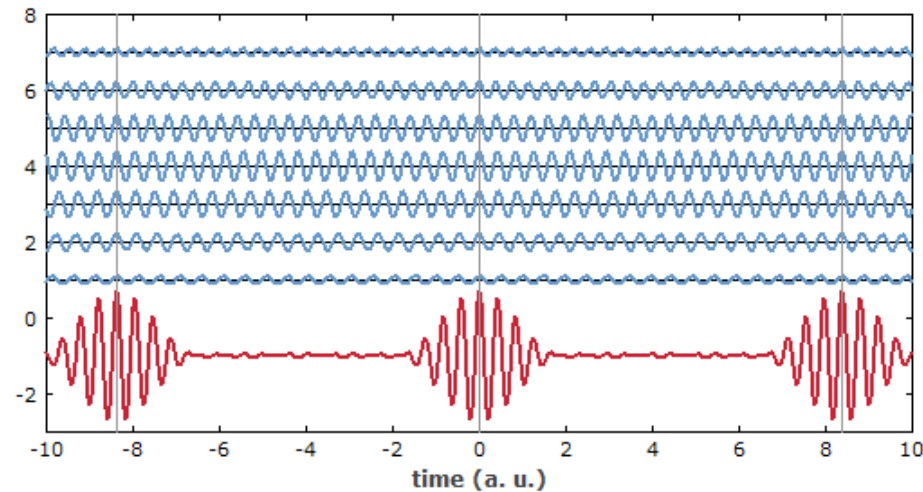
HF

LCR

LA

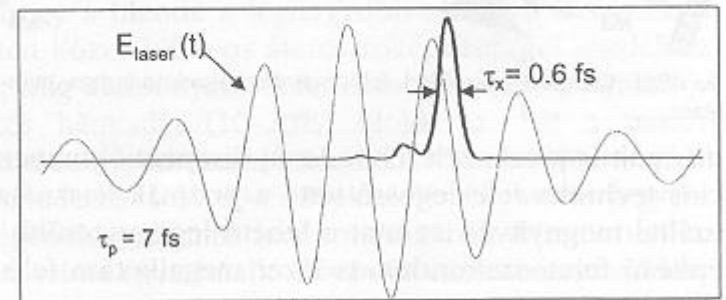
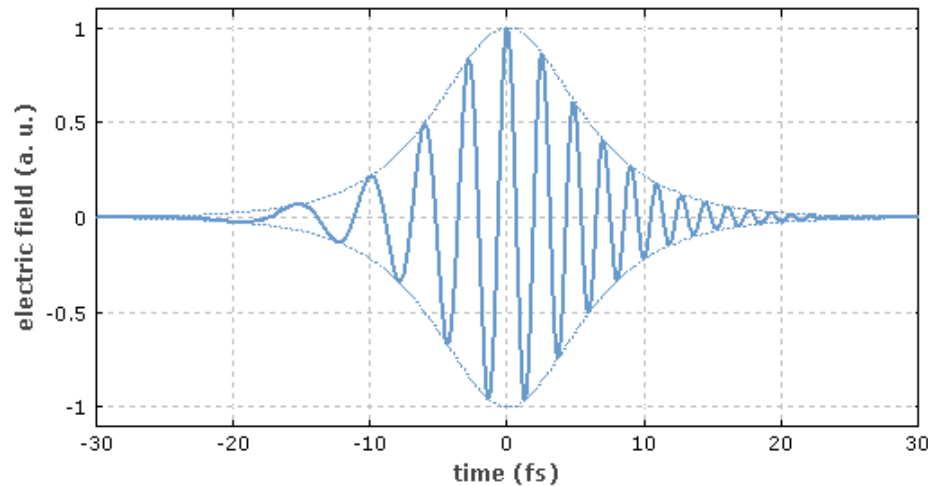
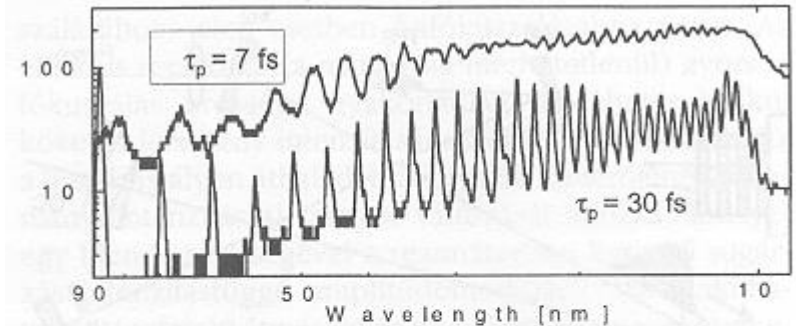


A szegedi szuperlézer



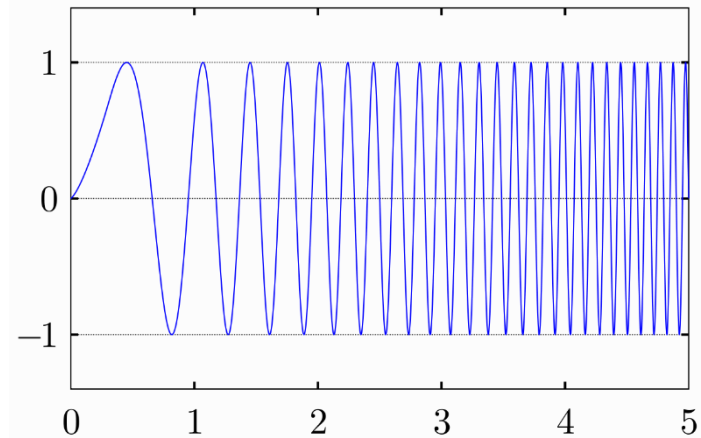
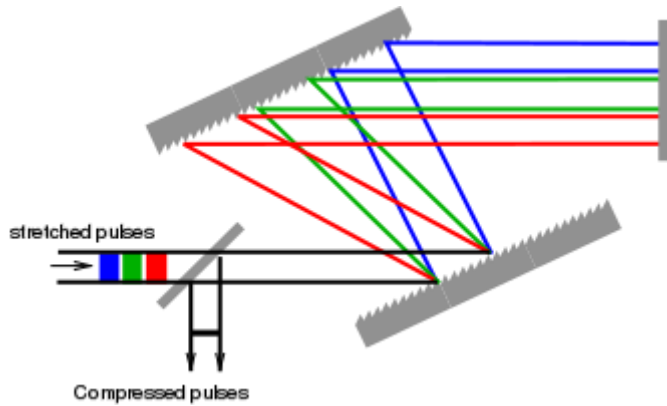
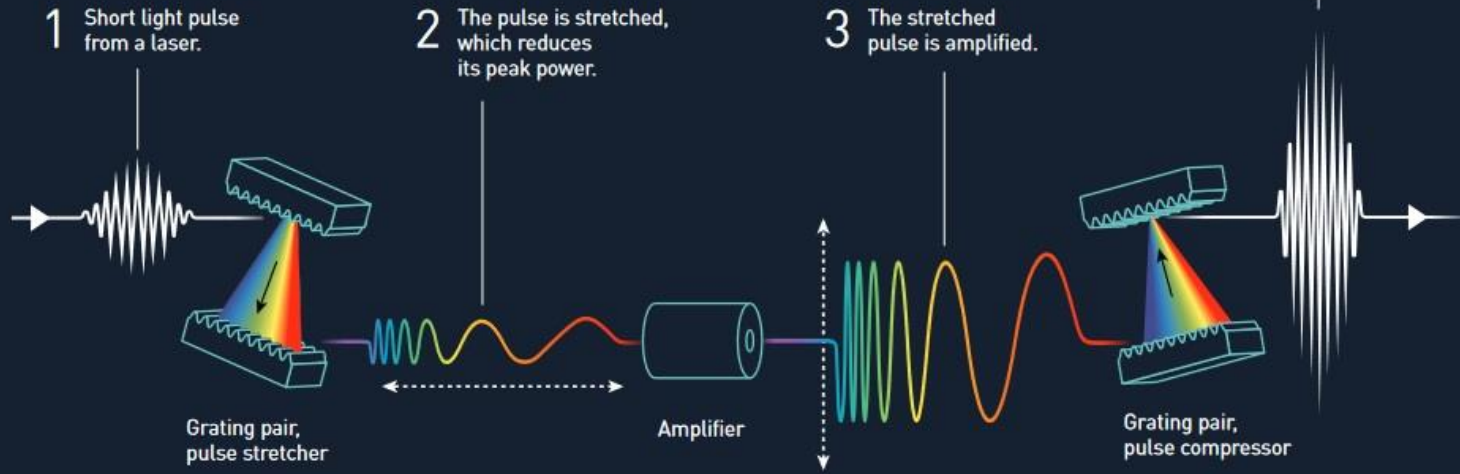
Kulcsszavak a működési elvhez:

- Módus szinkronizáció
- Csörpölés
- Magas felharmonikus keltés



CPA - chirped pulse amplification

4 The pulse is compressed and its intensity increases dramatically.



THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2018



Arthur
Ashkin

Gérard
Mourou

Donna
Strickland

“for groundbreaking inventions
in the field of laser physics”



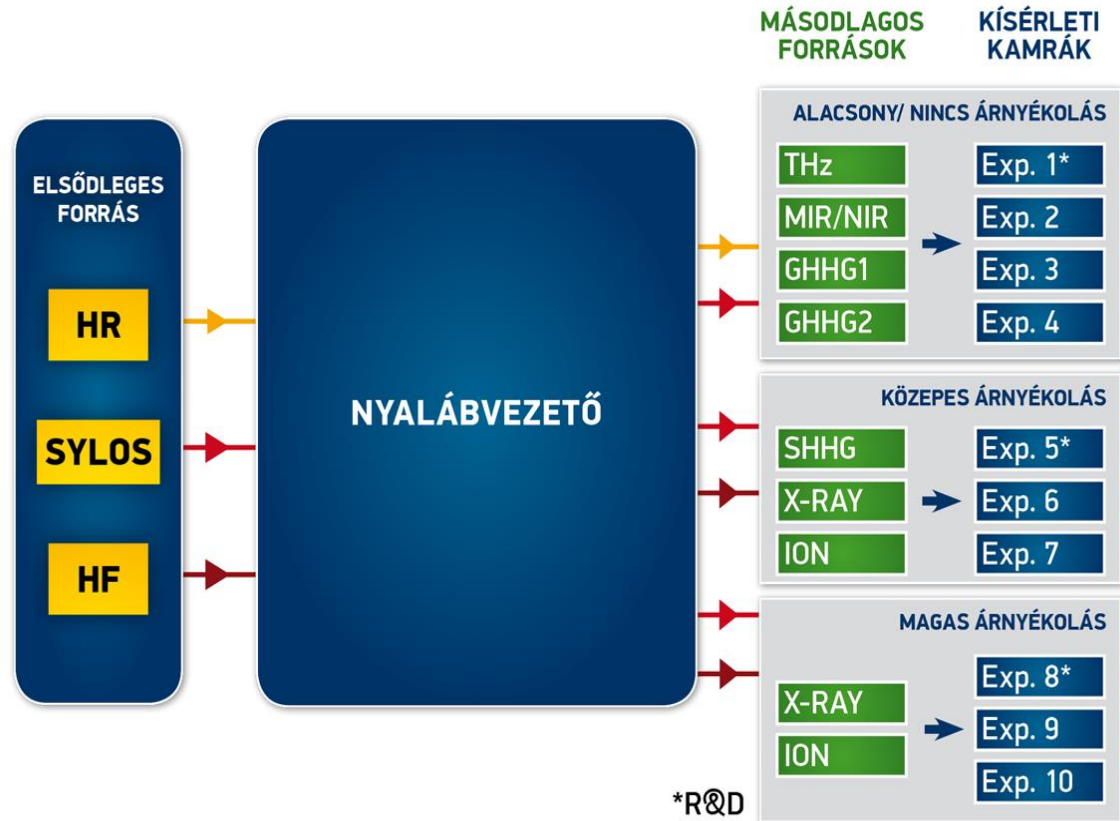
A Svéd Királyi Tudományos Akadémia bizottságának indoklása szerint Ashkin az optikai csipeszek megalkotásáért és az eszközök biológiai rendszerekben való alkalmazásáért, Mourou és Strickland pedig a nagy intenzitású, ultrarövid lézermimpulzusok létrehozásának kidolgozásáért részesül a legrangosabb tudományos elismerésben.

Donna Strickland a 3. nő, aki Nobel-díjat kapott fizikából.

A szegedi szuperlézer

Mindhárom fő lézerforrás egyedülálló paraméterekkel – extrém sávszélességgel, az előállított tér ciklus alatti fáziskontrolljával, nagy ismétlési frekvenciával – rendelkezik.

Ehhez járul még a csúcstechnológiát képviselő, dióda-alapú szilárdtest lézerrel pumpált, optikai parametrikus csörpölt impulzuserősítés (OPCPA) nagymértékű használata. A SYLOS és a HR lézerek keresztpolarizált hullámmal való nemlineáris szűrést és az üreges optikai szálban történő impulzus-kompressziót alkalmazó két erősítő-fokozatot tartalmaznak.



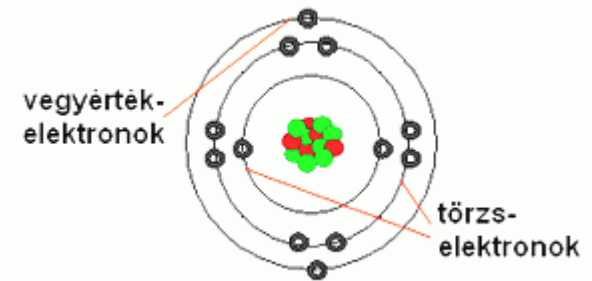
Az ELI-ALPS főbb kutatási és alkalmazási területei

Vegyérték-elektron vizsgálatok

Az ELI-ALPS által biztosított extrém-ultraibolya és röntgen források segítségével a kémiai reakciók végbemeneteléért felelős vegyértékelektronok tanulmányozása révén új kutatási lehetőségek nyílnak majd meg az atomokon és molekulákon belüli folyamatok nagy időfelbontású vizsgálata területén.

Atomtörzsi-elektron vizsgálatok

Jelenleg a belső elektronhéjak részletesebb vizsgálata csak nagy fotonenergiájú sugárzást kibocsátó szinkrotron forrásoknál kivitelezhető, de itt is csak limitált időbeli feloldással és koherens jelleg nélkül. Az ELI-ALPS fényforrásainak egyedülálló kombinációjával lehetőség nyílik majd a törzselektronok dinamikájának attoszekundumos léptékű követésére.

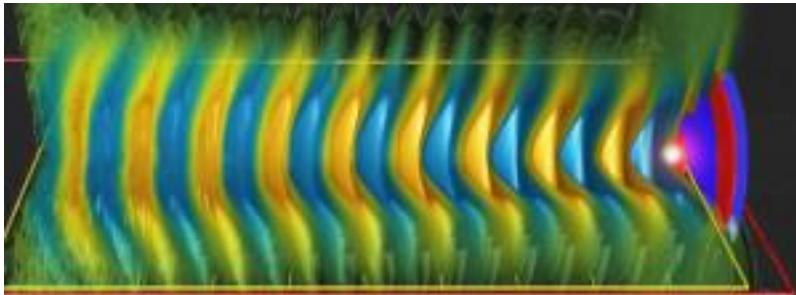


4D képalkotás

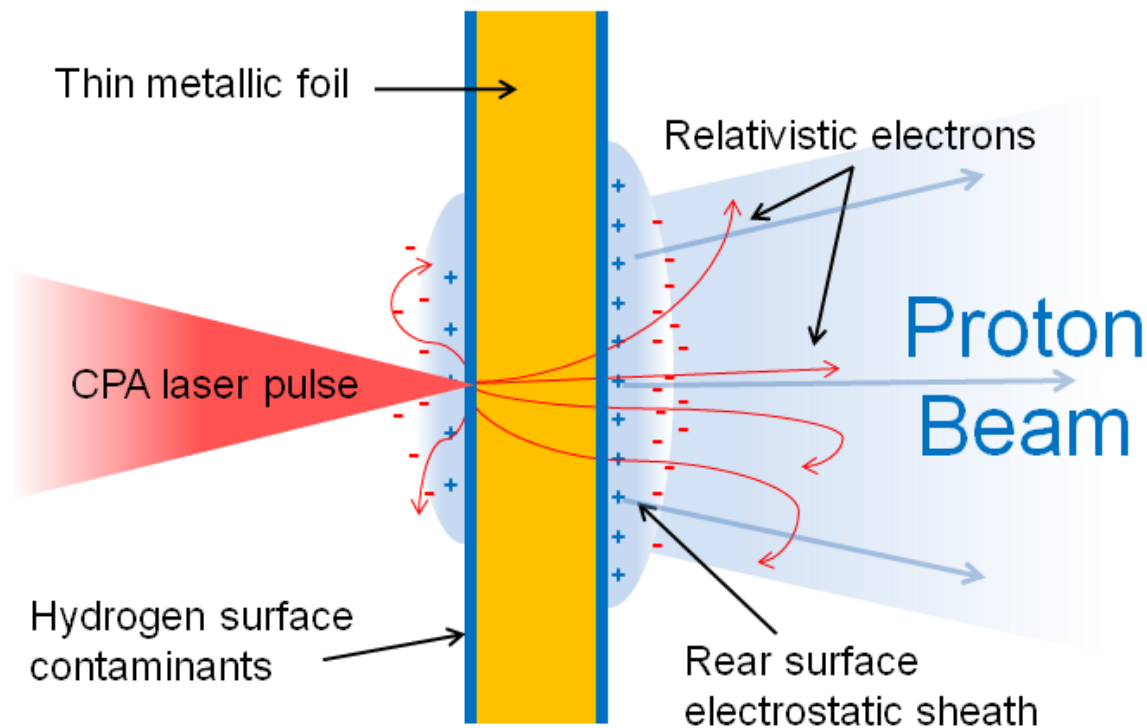
Az atomok, molekulák, kristályok és nanostruktúrák egyaránt atommagokból és elektronokból épülnek fel. Ezen részecskék térbeli (3D) elrendeződése határozza meg az anyag szerkezetét és alapvető tulajdonságait. Ha a rendszert gerjesztik, akkor a válaszreakció jellege és lefolyása időben (1D) és térben (3D) leképezhető lesz.

Relativisztikus kölcsönhatások

A nagyintenzitású lézertimpulzusok (TW, PW) anyaggal való kölcsönhatása jellemzően atomi léptékű (femtosekundumos, attosekundumos) időskálán megy végbe. Ezen folyamatok vizsgálatához nagyintenzitású lézertimpulzusokra és ezekhez szinkronizált attosekundumos próbaimpulzusokra van szükség. A szegedi ELI-ALPS létesítmény lehetővé teszi például a lézeres részecskegyorsítás vagy a nemlineáris kvantum-elektrodinamika tanulmányozását is.



Az elektron „szörföl” a plazmában lézertel létrehozott hullámokon

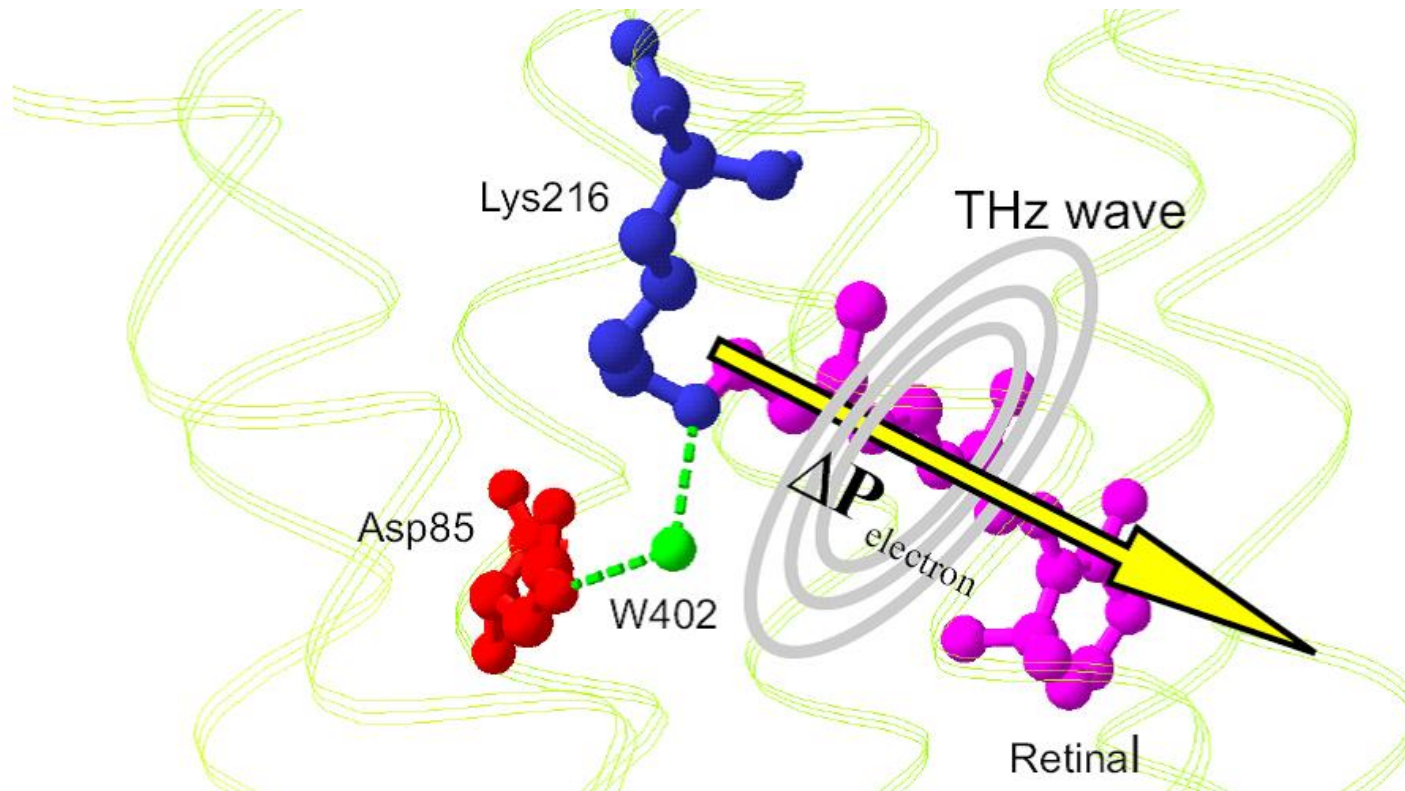


Osvay Károly

Lézeres neutronforrás – egy lehetséges út a hatékony nukleáris transzmutátor felé

Biológiai, orvosi és ipari alkalmazások

Az ELI-ALPS nagy fényességű, nagy ismétlési frekvenciájú, extrém rövid lézeralapú röntgen impulzusok létrehozására lesz képes. A létesítmény jellegéből adódóan új kutatási területek nyílnak majd meg, és új megközelítési formák válnak majd megvalósíthatóvá. A lehetséges alkalmazási területek között szerepel többek között az orvosbiológia, a kémia, az éghajlat, az energetika, anyagtudományi fejlesztések, a félvezetők, az optoelektronika és még számos terület.



Ellenőrző kérdések

Tételezzük fel, hogy egy $L=1,5\text{m}$ -es lézer 100 db szomszédos, egyenként 1mW állandó intenzitású longitudinális módusát összeszinkronizáljuk! Milyen lesz az így előálló lézerfény?

- a) 10 ns-onként $0,1\text{ ns}$ -os lézerimpulzusok 10W csúcsintenzitással
- b) egy 100 mW állandó intenzitású lézerfény
- c) 10 ns -os lézerimpulzusok 100mW csúcsintenzitással
- d) 10 ns -onként $0,1\text{ ns}$ -os lézerimpulzusok 100mW csúcsintenzitással

Párosítsuk össze a rövid lézerimpulzusok keltésével kapcsolatos állításokat, eszközöket, módszereket!

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1) Módusszinkronizáció | a) fény hatására telítődő abszorbens |
| 2) Bragg-cella | b) széles erősítési görbéjű lézerek (pl. a titán-zafír lézer) |
| 3) Passzív Q-kapcsoló | c) akusztó-optikai Q-kapcsoló |
| 4) Magas felharmonikus keltés | d) igen rövid (attoszekundumos) impulzusok keltése |

Megoldás: 1b, 2c, 3a, 4d