

Az ELI(-ALPS) felépítése és lézeres paraméterei avagy egy zseblámpától a szuperlézerig

Osvay Károly
ELI-Hu Nonprofit Kft.
Szegedi Tudományegyetem

Science (2005, július)

“100 kérdés, ami a tudomány határait feszegeti...”

- 1) A miénk az egyetlen világegyetem?
- 2) Mi hajtotta a kozmikus inflációt?
- 3) Hol és hogyan alakultak ki az első csillagok és galaxisok?
- 4) Honnan jönnek az ultranagy energiájú kozmikus sugarak?
- 5) Mi táplálja a kvazárokat?
- 6) Mi a fekete lyukak természete?
- 7) Miért van több anyag mint antianyag?
- 8) Bomlik a proton?
- 9) Mi a gravitáció természete?
- 10) Miért különbözik az idő a többi dimenziótól?
- 11) Vannak a kvarkoknál kisebb építőkövek?
- 12) A neutrínók önmaguk antirészecskéi lennének?
- 13) Van egy egyesített elmélet, ami leírja az összes csatolt elektronrendszert?
- 14) **Mekkora a legnagyobb teljesítményű lézer, amit a kutatók fel tudnak építeni? Az elméleti szakemberek azt állítják, hogy egy elég nagy teljesítményű lézer elektromágneses tere elektron-pozitron párokká tépné szét a fotonokat, kioltva ezzel a fénynyalábot. De senki sem tudja, hogy elérhető-e ez a térférség.**
- 15) Tudnak a kutatók tökéletes optikai lencsét gyártani?
- 16) Lehetséges szobahőmérsékleten működő mágneses félvezetőket előállítani?
- ...

Mi az a lézer?

Laser=Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

... vagy legalábbis, mi különbözteti meg a zseblámpától?



Courtesy to A. Börzsönyi

A lézerfény tulajdonságai

Nagyon kis széttartású nyaláb

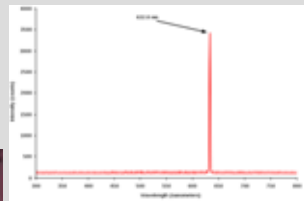


Courtesy to A. Börzsönyi

A lézerfény tulajdonságai

Nagyon kis széttartású nyaláb

Egyszínű (?)



Courtesy to A. Börzsönyi

A lézerfény tulajdonságai

Nagyon kis széttartású nyaláb

Egyszínű (?)

Térbeli és időbeli koherencia



A lézerfény tulajdonságai

Nagyon kis széttartású nyaláb

Egyszínű (?)

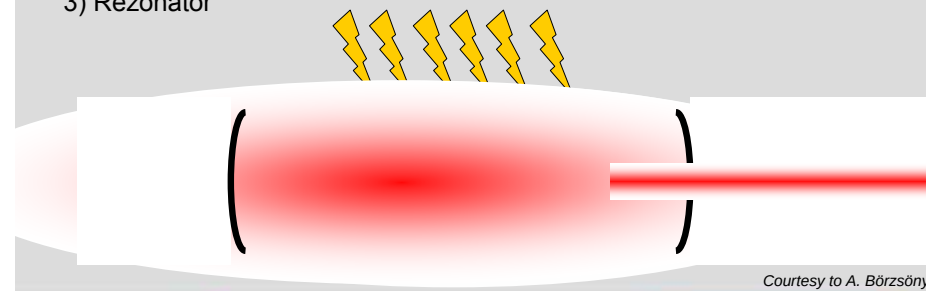
Térbeli és időbeli koherencia

Nagy teljesítménysűrűség



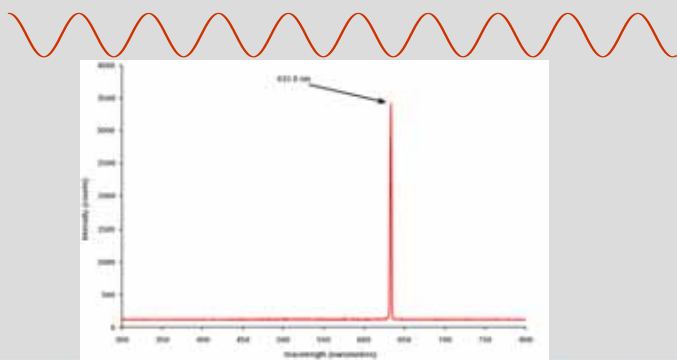
Hogyan építsünk lézert?

- 1) Aktív közeg
- 2) Gerjesztés (pl. „zseblámpa”, vagy )
- 3) Rezonátor



Courtesy to A. Börzsönyi

Kapcsolat időbeli kép és spektrum között: Fourier-transzformáció



Impulzus lézer

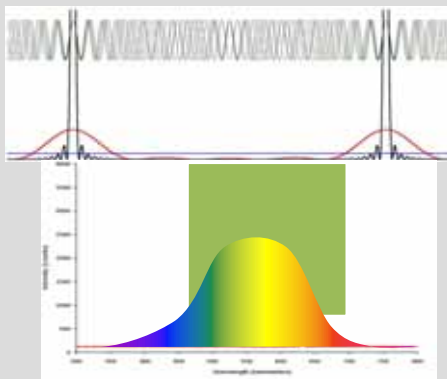
- 1) Aktív közeg
- 2) Gerjesztés
- 3) Rezonátor

+ „Szaggató”: elektro-optika
nemlineáris optika



Courtesy to A. Börzsönyi

Kapcsolat időbeli kép és spektrum között: Fourier-transzformáció



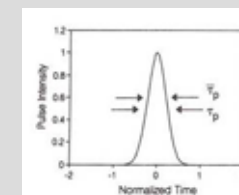
Lézerimpulzusok leírása

Lézernyaláb:

- átmérő
- fókuszpont területe (A)

Lézer impulzus:

- energia (E)
- időtartam (FWHM) (τ)
- ismétlési frekvencia (R)



Csúcsteljesítmény: $P = E/\tau$

Átlagos teljesítmény: $P_{\text{atl}} = E \cdot R$

Fókuszált intenzitás: $I = P/A$

„Femtosekundumos” lézer

Nagyon kis széttartású nyaláb ✓

Egyszínű ✗

Térbeli és időbeli koherencia ✗

Nagy teljesítménysűrűség ✓ ✓ ✓



Attofizika



Ultrarövid (fs) lézerimpulzusok – időtartam szemléltetése

Hosszúság:

1 fs $\Rightarrow$ 0.3 μ m (1 s $\Rightarrow$ 300000km)

Atomi skála:

H atom, n=1 $\Rightarrow$ T $\approx$ 0.15 fs

Molekuláris skála:

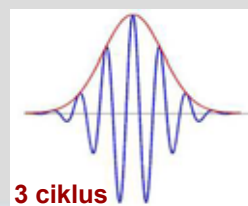
(AB)* $\rightarrow$ A + B $\Rightarrow$ T $\approx$ 100 fs

Optikai skála:

5 fs impulzus
800 nm (1.5 eV)



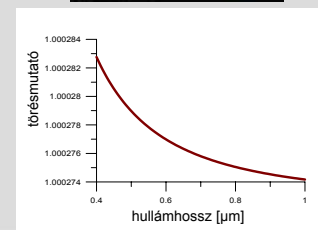
2.7 fs



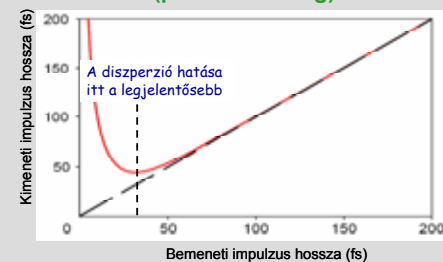
3 ciklus

Fs impulzusok és a diszperzió

A törésmutató a hullámhossz függvénye

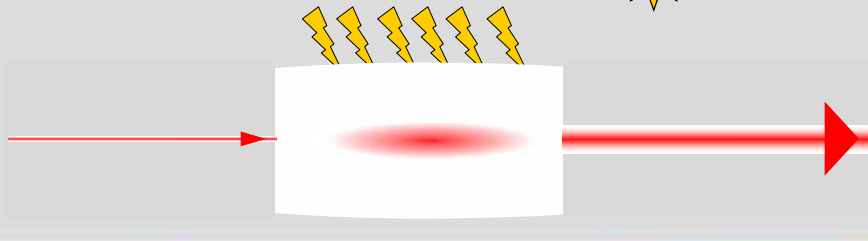


Az impulzus időben (nagyon) megnyúlik
(pl. 10 mm üveg)



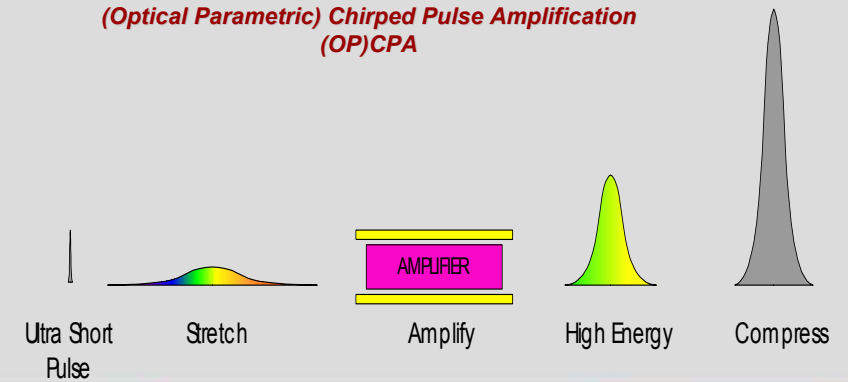
Hogyan erősítsük meg a fényt?

- 1) Aktív közeg
- 2) Gerjesztés (pl. „zseblámpa”, vagy )



Ultrarövid lézerimpulzusok erősítése

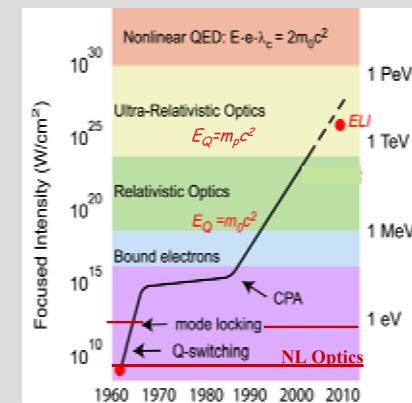
(Optical Parametric) Chirped Pulse Amplification
(OP)CPA



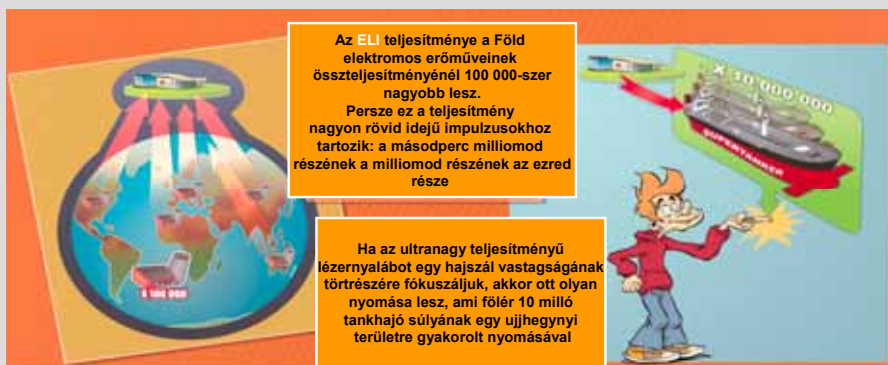
ELI: Extreme Light Infrastructure

(Extrém (nagy intenzitású) Fényintézet)

A fókuszált intenzitás – és az elérhető fizikai tartományok



Az ELI csúcsteljesítményű impulzusának „civil” léptékei



ELI, a 200PW kutatási infrastruktúra európai kutatási dimenziói

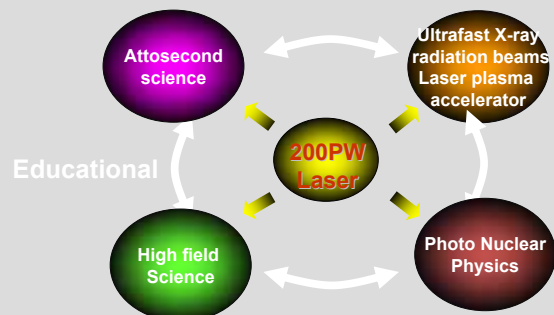
Fő célkitűzése - mission

Egy olyan berendezés, amin alap és alkalmazott kutatás végezhető **a legnagyobb intenzitás és legrövidebb impulzushossz mellett**, extrém intenzitású lézernyalábokkal valamint az általuk gerjesztett részecske és elektromágneses sugárnyalábokkal.

Alkalmazások

Az ELI kapcsán kifejlesztett technológiákkal a későbbiekben a lézer illetve egyéb foton források mérete csökkenthető, melyeket aztán környezeti, orvosi, anyagtudományi, elektronikai (ipari) területeken alkalmazhatunk...

Az ELI fő tudományos részei

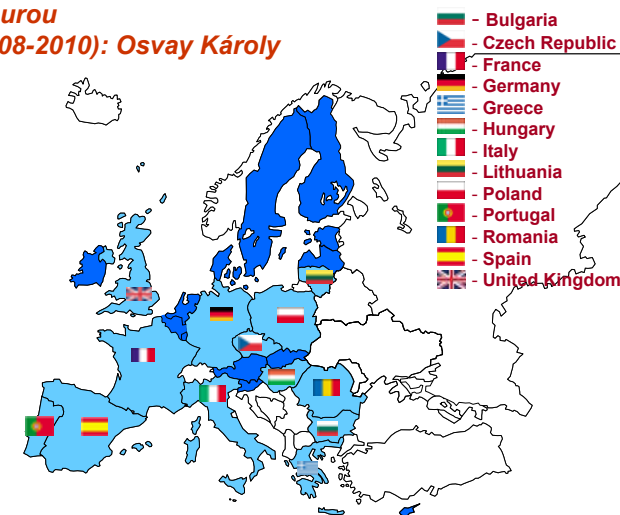


Előkészítési fázis (ELI-PP): 2007-2010

Kordinátor: Gerard Mourou

Projekt menedzser (2008-2010): Osvay Károly

Projekt főösszeg: 6M€



Attoszekundumos Intézet

Attoszekundumos fizika
XUV/röntgen nyalábokkal

... és orvos-biológiai, anyagtudományi, kémiai alkalmazások

Szeged
HU

„Beamlines” Intézet

Nagy fényességű röntgen és részecske források

Részecske gyorsítás, plazma fizika, exotikus fizika

Prague
CZ

Nukleáris Fizikai Intézet

Laser-indukált nukleáris fizika

Fotonukleáris tudományok és alkalmazásai

Magurele
RO

Extreme-intensity development

Exawatt-osztályú lézer technológia

High-intensity laser technologies for frontier physical research

Technológia & helyszín: döntés 2012 után

... de mekkora is lehet AZ?

The Vulcan Petawatt (500J, 500fs) at RAL



- Nd Glass Laser
- 8 Beam CPA Laser
- 3 Target Areas
- 3 kJ Energy
- 1 PW Power

**VULCAN
1 PW**



Central Laser Facility, Rutherford Appleton Laboratory

Nagy energiájú, PW osztályú Nd:Üveg lézerek

500J type system

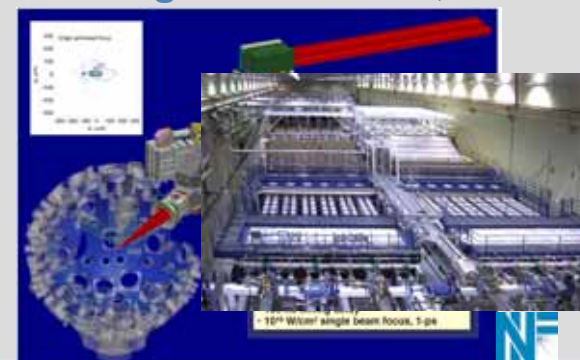
- On NOVA (LLNL, US) 1997, first PW
- Gekko, ILE Japan,
- RAL and AWE, UK
- GSI, Darmstadt
- Titan, LLNL, US
-



Multi KJ class laser

- OMEGA EP, LLE, Rochester, US
- Firex, Japan,
- ARC on NIF, LLNL, US
- PETAL on LIL, CEA, Bordeaux
- ...

National Ignition Facility (NIF), USA (Laser Megajoule – LMJ, France)



ELI-ALPS: Attoszekundumos Fényimpulzus forrás (Attosecond Light Pulse Source)

Budapest
165 km (motorway)



International scientific team so far (will be extended further)

K. Awazu, P. Baum, J. Biegert, L. Cederbaum, J.-P. Chambaret, D. Charalambidis, A. Czitrovsky, G. Djotyan, M. Drescher, R. Ernstorfer, G. Faigel, I. Földes, E. Goulielmakis, J. Hajdu, J. Hebling, K. Hideghéthy, J. Honrubia, U. Kleineberg, M. Kling, F. Krausz, P. Lambropoulos, R. Levine, R. López-Martens, F. Martin, J. Meyer-ter-Vehn, M. Nisoli, F. Pfeiffer, L. Poletto, F. Quere, F. Remacle, A. Rudenko, G. Sansone, M. Stockman, G. Szabó, S. Szatmári, T. Tajima, M. Tolley, C. Tóth, G. Tsakiris, P. Tzallas, S. Varró, L. Veisz, M. Vrakking, T. Wittmann, M. Wolf

Az ELI-ALPS missziója

- 1) X-UV és röntgen fs és attos impulzusok előállítása, és azok használata ultragyors időbontott folyamatok vizsgálatához atomokban, molekulákban, plazmákban és szilárdtestekben
„Attoszekundumos nyalábok” és K+F Szolgálat
- 2) Közreműködni a 200PW lézeres tudományos-technológiai kihívások megoldásához
„Nagy intenzitású” (HF) nyaláb



Strategy for finding the laser specs

Initial conditions: Will to implement the RI by end 2015;
Shortage of time;
Serve the users / atto community

Step 1:

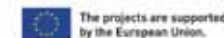
State of the art: leading edge **operating** systems
current **reliable** developments

Four + 2 major parameters:

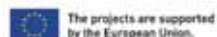
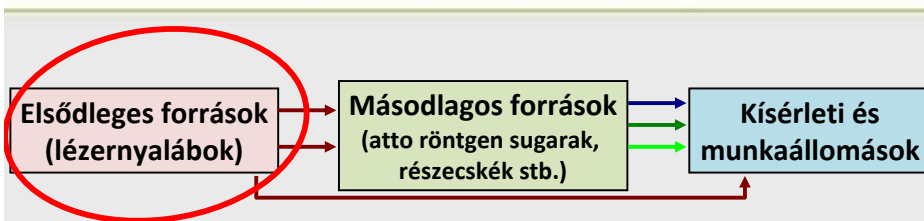
Repetition rate +1: CEP stability
Wavelength +1: existing diagnostics
Pulse energy
Pulse duration

Step 2:

Find possibly not more than 2 parameters which are easiest or most feasible to peak up by 2013 (via custom R &D).



A létesítmény áttekintő sémája



Specifications – main systems

Conservative, but still cutting edge lasers by 2015

Goals by 2020

ALPS High Repetition Rate (HR) beamline
100kHz, >1mJ (4mJ), <6fs, VIS-NIR, CEP

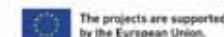
>5mJ, <3fs

ALPS Single Cycle (SYLOS) beamline
1kHz, >100mJ, <8fs, VIS-NIR, CEP

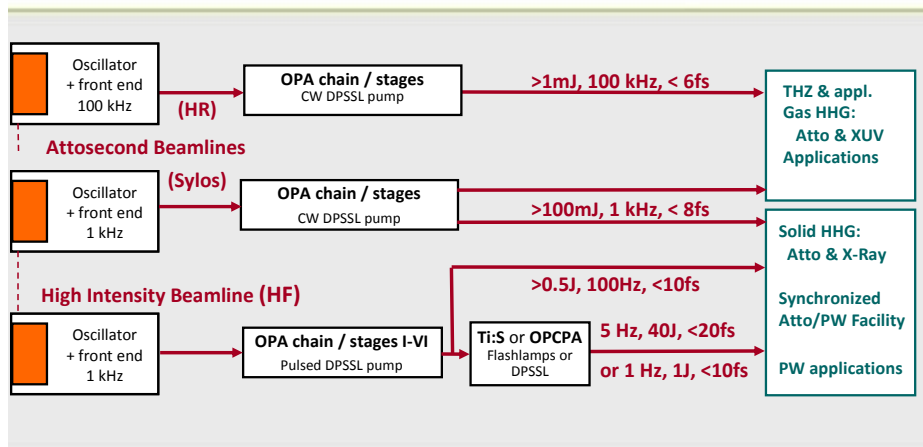
1J, <5fs

ALPS High Field (HF) beamline
Ti:S duty end: 5(-10)Hz, >40J, <20fs, NIR, (CEP)
or OPCPA: (1-)5Hz, 10J, <8fs, CEP

>10J, <5fs

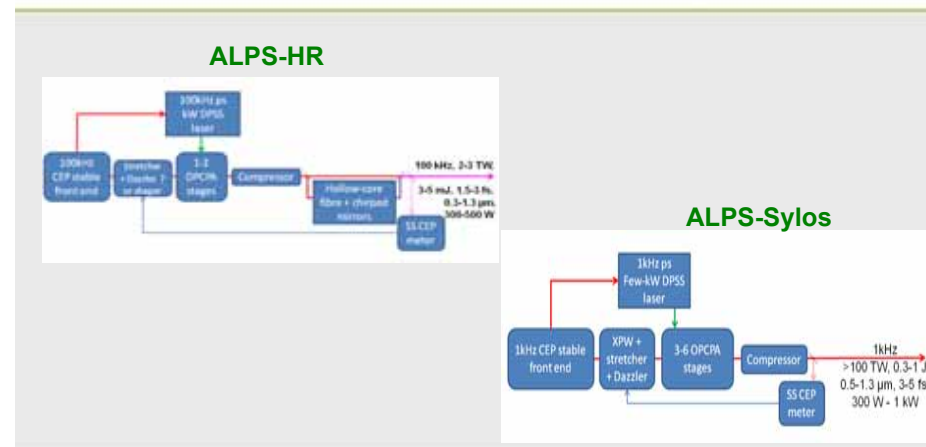


Block diagram of main laser systems



The projects are supported by the European Union.

Initial schemes



The projects are supported by the European Union.

Auxillary systems



ALPS Mid-Infrared Source (MIRS)

10-100kHz, $>100\mu\text{J}$, few cycle, @ 2-3μm

ALPS VIS-UV Sources (UVIS)

10Hz, 100mJ, 248nm / 475nm

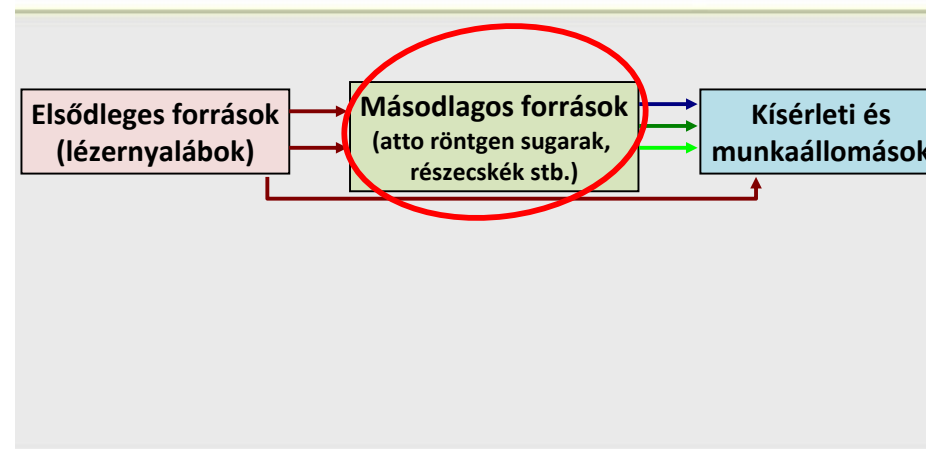
Further NLO stages as secondary sources

User needs – ultrafast spectroscopy, etc.



The projects are supported by the European Union.

A létesítmény áttekintő sémája



The projects are supported by the European Union.

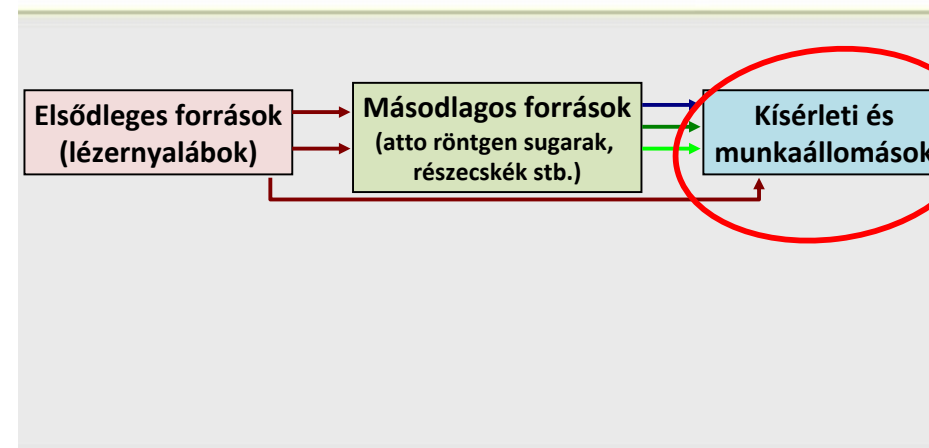
ELI-ALPS foton források



ELI-ALPS forrás	Spektrális tartomány	Impulzus-energia	Ismétlési frekvencia (kHz)	Impulzus időtartam (fs)
THz	0.1 - 1 mm	0.1-10 mJ	1...100	egy ciklusú
Közép-/távoli IR	10 - 100 μ m	10 - 100 μ J	100	< 20-50
Közeli/közép IR	1 - 10 μ m	> 100 μ J	100	< 10-30
Közeli IR (driver)	0.5 - 1.3 μ m	1 mJ -	1 or 100	5-9
PW nyaláb	0.7 - 0.9 μ m	>> 1 J	0.001	10-20
UV	100 - 300 nm	10 μ J	100	< 5
XUV	12 - 120 nm	1 - 100 μ J	1 vagy 100	< 0,1
Lágy röntgen	1.2 - 12 nm	1 nJ - 1 μ J	1 vagy 100	< 0,05
Kemény röntgen	1 keV - 100 keV	1 - 100 nJ	1	<< 0,05



A létesítmény áttekintő sémája



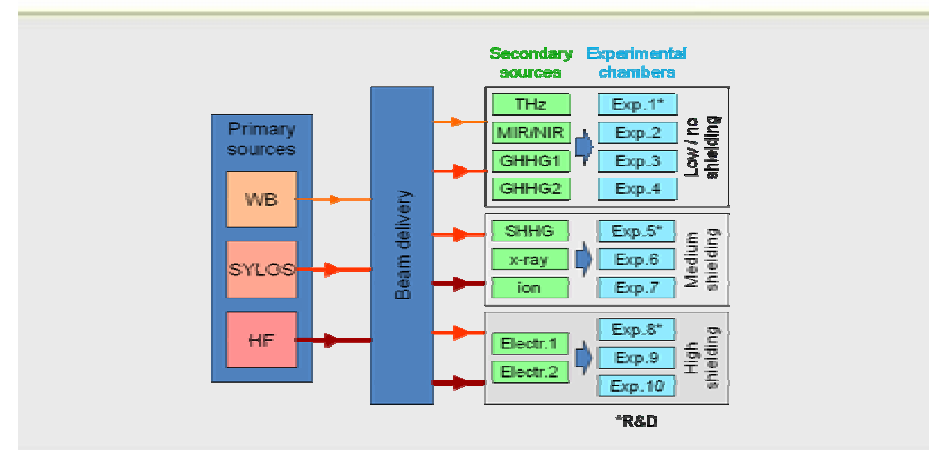
ELI-ALPS tudományos területek



#	Elnevezés	Szinergiák	Másodlagos források	Meghajtó lézerrendszer
1	Lézer K+F	2-8		HR, SYLOS, HF
2	Másodlagos források K+F	1, 3-8	GHHG, SHHG, THz, Thomson, elektron, ion	HR, SYLOS, HF
3	Atomtörzs elektronok tudománya	1, 2, 4, 5	GHHG, SHHG	HR, SYLOS
4	Vegyértékelektronok tudománya	1, 2, 3, 4	GHHG, SHHG	HR, SYLOS
5	Atomi felbontású 4D leképezés	1, 2, 3, 5	SHHG	SYLOS
6	Nagy intenzitású attotudomány	1, 2, 7, 8	SHHG, Thomson, ion	SYLOS, HF
7	Biomed & ipari alkalmazások	1, 2, 5, 6, 8	SHHG, Thomson, ion	HR, SYLOS, HF
8	THz-es tudomány	1, 2, 6, 7	THz, ion, elektron	SYLOS, HF



ELI-ALPS Facility



Megvalósítás stratégiája

Alapkonceptió és specifikációk – ELI-Hu Kft.

A helyszíni K+F minimalizálása

K+F szerződések kötése

(Tudományos intézetek, egyetemek)

IPARI szerződések

HR probléma!!! és megoldása

(Fiatalok kiküldése a K+F helyekre, majd repatriálása az eszközökkel együtt)

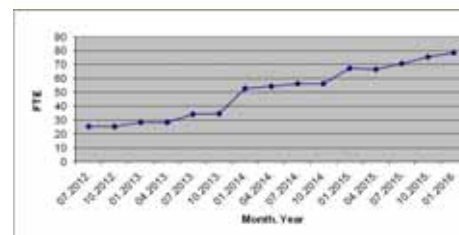
Összehasonlításképp: jelenleg 1600 specialista világszerte, ~10PW

2020-ig várható növekmény ~1000 specialista, ~100PW (~10G€)

tervezett egyedi rendszerek
építésére



Evolution of scientist needs



Trend of employment of subordinate (junior)
scientists in the ELI-ALPS project (2012-2016, in
FTE)

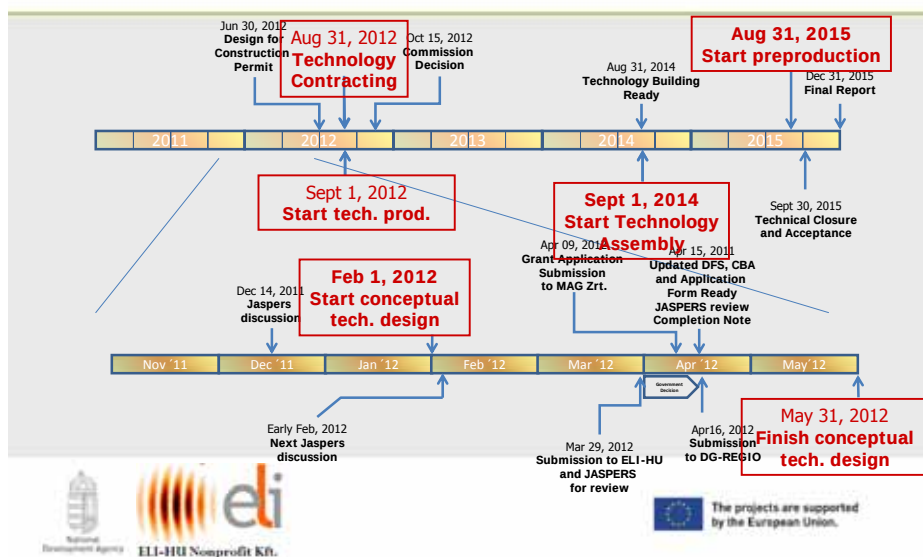
Up to 80 FTE

Trend of employment of senior scientists in
the ELI-ALPS project
(2012-2016, in FTE)



The projects are supported
by the European Union.

Timeline of implementation - lasers and technologies



ELI lézer kutatóközpont megvalósítását előkészítő projekt I. fázisa

GOP-1.5.1-2010-0001

TEWATI Lézerlaboratórium - Szeged

Vezető: OSVAY Károly
www.tewati.hu



2 TW 10 Hz lézerrendszer
Hibrid: OPCPA + Ti:S
Hazai tervezés és megvalósítás

Paraméterek

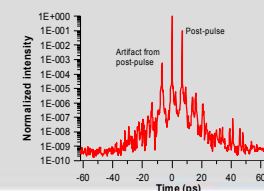
800 nm: 6 nJ, 12 fs, 70 MHz
35 mJ, 20 fs, 10 Hz
530 nm: 0.2 mJ, 25 fs, 10 Hz
532 nm: 360 mJ, 3 ns, 10 Hz
400 nm: 2 mJ, 25 fs, 10 Hz
266 nm: 140 mJ, 3 ns, 10 Hz

Fejlesztés 2011:

800 nm: 4 mJ, 25 fs, 1kHz
400 nm: 0.6 mJ, 30 fs, 1kHz
266 nm: 50 μJ, 25 fs, 1kHz



Időbeli kontraszt





<http://www.arwu.org/County2009Main.jsp?param=Hungary>

Field Institution Name	Record Count	% of 2009	Bar Chart	Save Analysis Data to File
ELTE SZTE	3917	17.8342 %		
ELTE SZTE	3482	15.8883 %		
ELTE SZTE	3287	14.9123 %		
ELTE SZTE	2799	12.6106 %		
ELTE SZTE	2216	10.0000 %		
ELTE SZTE	2169	9.8309 %		
ELTE SZTE	2115	9.6836 %		
ELTE SZTE	1280	5.8733 %		
ELTE SZTE	1240	5.6774 %		
ELTE SZTE	880	3.9375 %		
ELTE SZTE	637	2.9139 %		
ELTE SZTE	363	1.7636 %		
ELTE SZTE	307	1.4006 %		
ELTE SZTE	282	1.2819 %		
ELTE SZTE	141	0.6419 %		
ELTE SZTE	207	0.9479 %		
ELTE SZTE	200	0.9187 %		
ELTE SZTE	191	0.8745 %		
ELTE SZTE	184	0.8509 %		
ELTE SZTE	155	0.7097 %		

ELTE+SZTE+SE+BMGE+DE+PTE+MTA=90%
ELTE+SZTE+MTA49%

Köszönöm a figyelmet!

www.eli-hu.hu