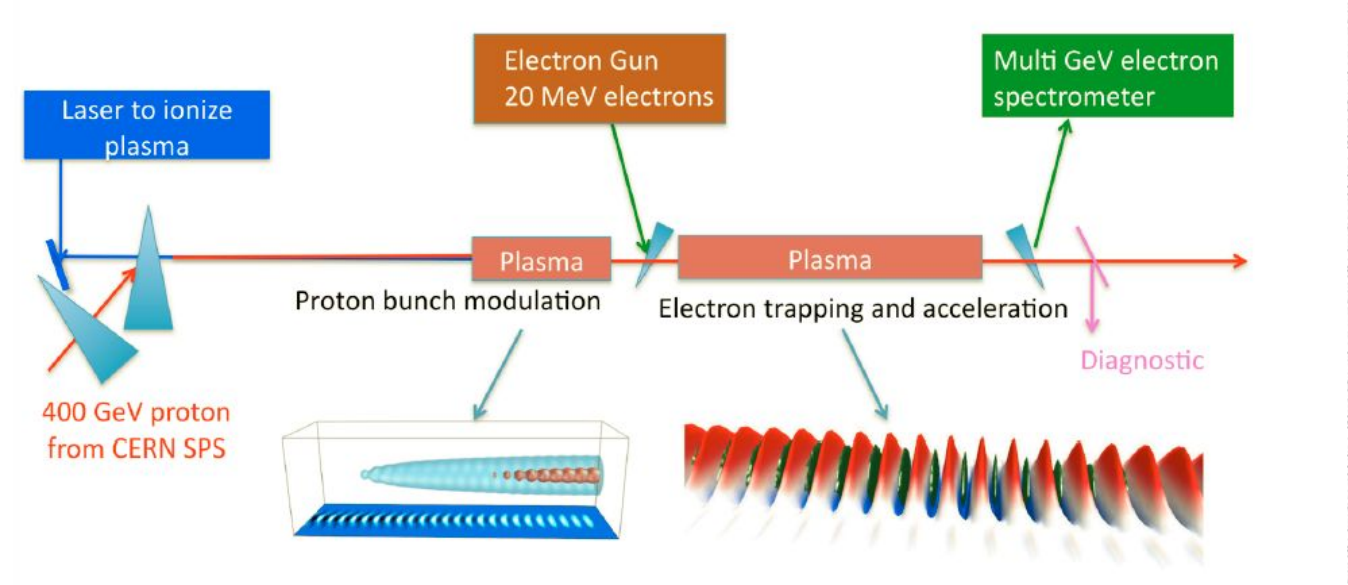
КІЛЬВАТЕРНЕ ПРИСКОРЕННЯ ЧАСТИНОК В ПЛАЗМІ

(PLASMA WAKEFIELD ACCELERATION)



План лекції

1. Обмеження стандартних методів прискорення заряджених частинок
2. Основи кільватерного методу лазерного прискорення
3. Використання потужних лазерів та пучків заряджених частинок (електронів, протонів) для формування «бульбашкових» зон у плазмі.
4. Останні досягнення в області плазмового прискорення і найбільші проекти дослідження методів і інструментів для кільватерного прискорення в плазмі

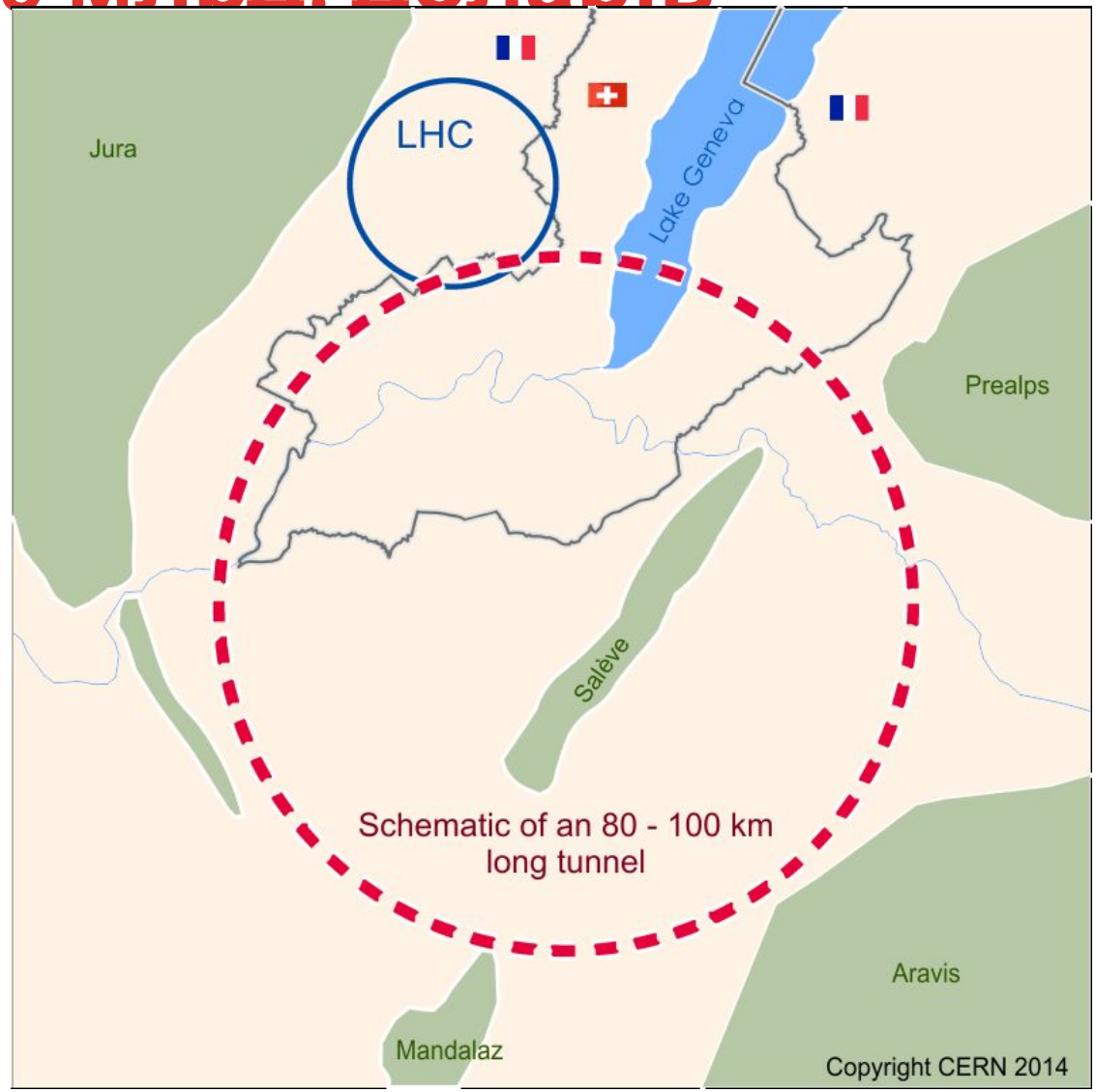
Вимоги часу

- **Енергії до 100 ТеВ для адронів – «нова фізика»**
- **Колайдери електронів-позитронів – точні і однозначні визначення фундаментальних модельних параметрів**

LHC - > 6 млрд. доларів

FCC:
Future Circular Collider

100 ТеВ (pp)
340 ГеВ (e-e-)
80-100 км тунель
15-20 Т маг. поле



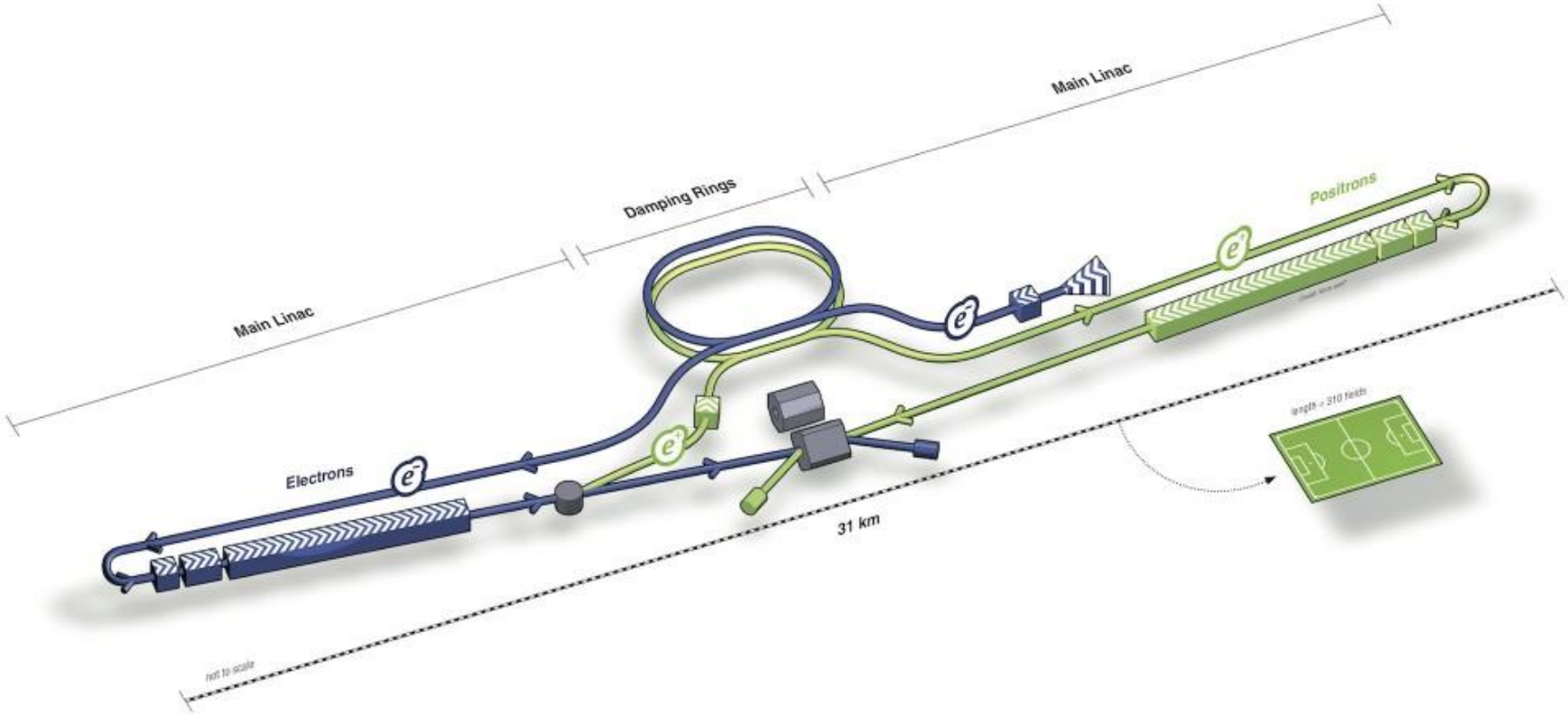
FCC - > ?? млрд доларів □ ∞

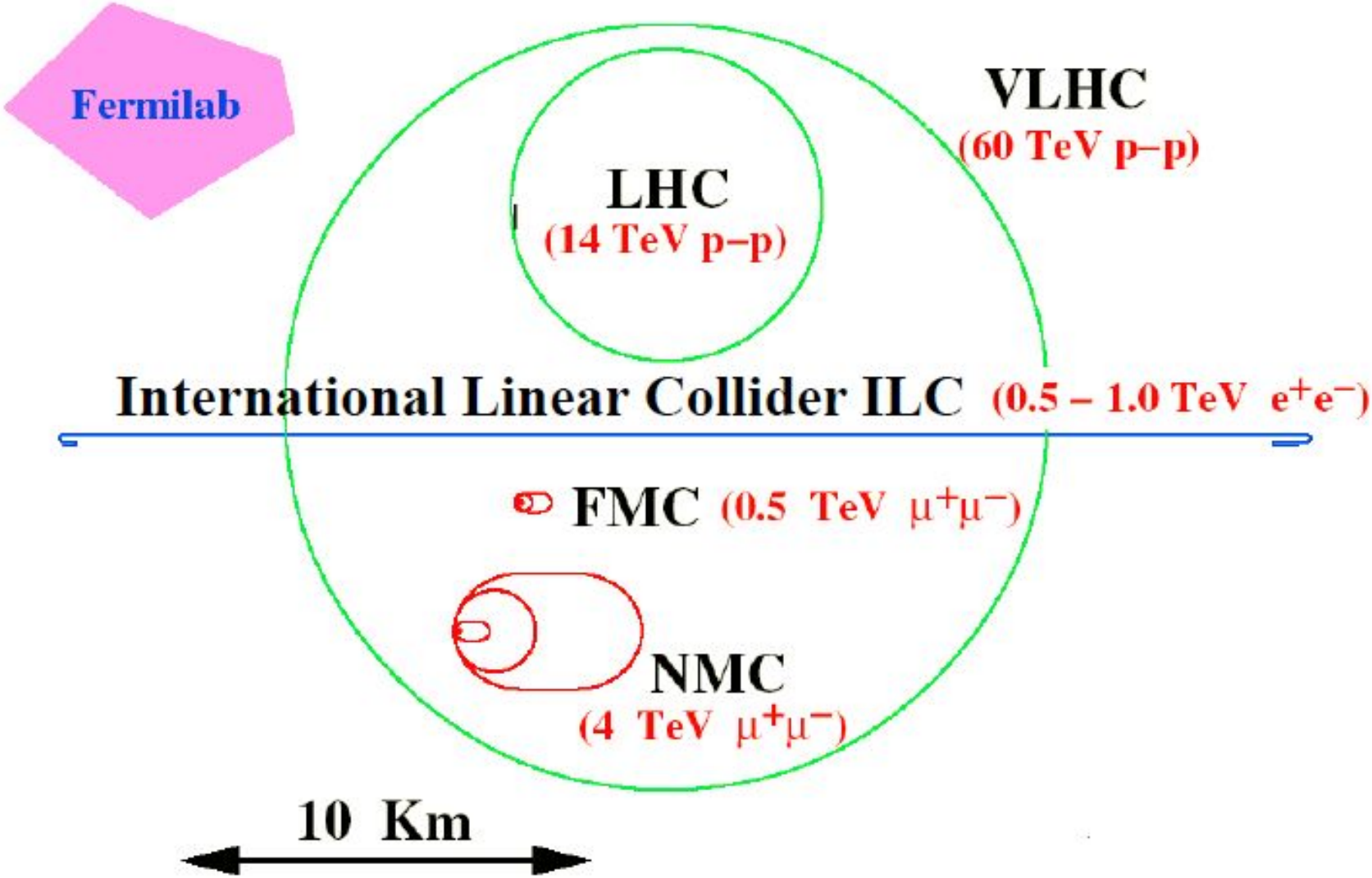
ILC - CLIC

Обмеження:

- 100 МВ/м
- Синхротронне випромінювання

Оцінена вартість – від 8 до 20 млрд. доларів



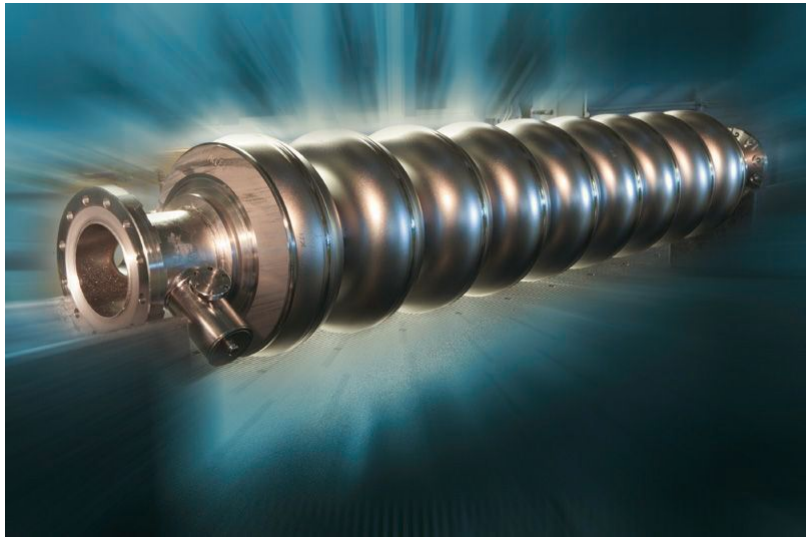

Fermilab
VLHC
(60 TeV p–p)
LHC
(14 TeV p–p)
International Linear Collider ILC (0.5 – 1.0 TeV e+e−)
FMC (0.5 TeV μ+μ−)
NMC
(4 TeV μ+μ−)
10 Km

Обмеження в циклічному адронному колайдері

$$p = e\,R\,B_y$$

Обмеження в циклічному лептонному (e-e^+) колайдері

$$U_{loss} \propto \frac{E^4}{R}$$



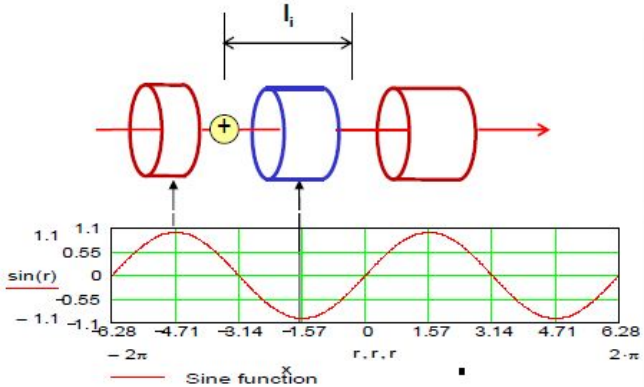
Обмеження:

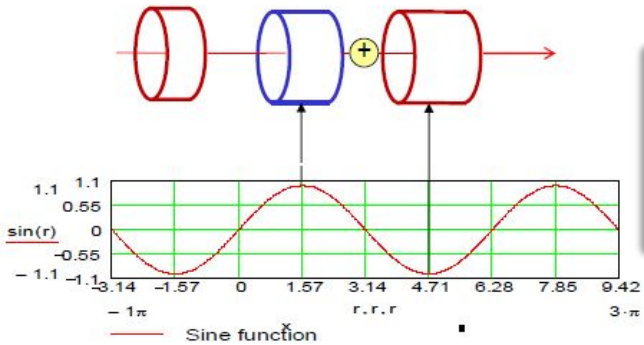
- 100 МВ/м
- Синхротронне випромінювання

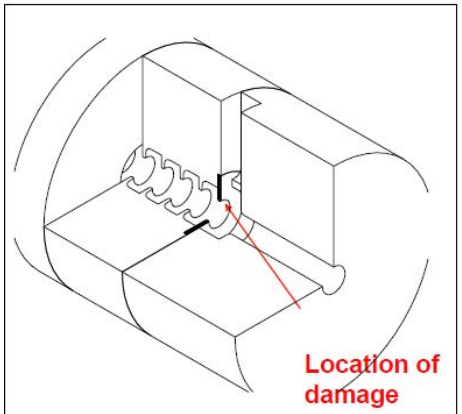
Відмовляючись від циклічних прискорювачів – уникаємо проблеми потужних магнітів для повороту і втрат на синхротронне випромінювання

Але обмеження по градієнту поля вимагають довжин прискорюючих структур в 30 - 50 км

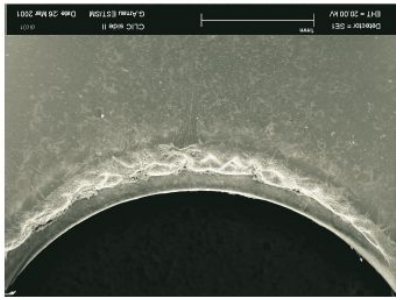
Project	Gradient	Type	Year
SLC	**20 MV/m**	Room-temperature	1988 – 1997
ILC	**35 MV/m**	Super-conducting	design
XFEL	**24 MV/m**	Super-conducting	In construction
CLIC	**100 MV/m**	Room-temperature	design

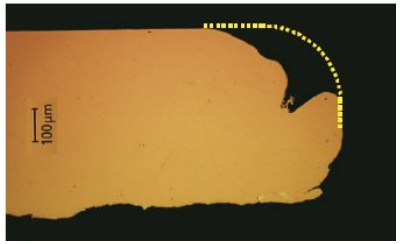


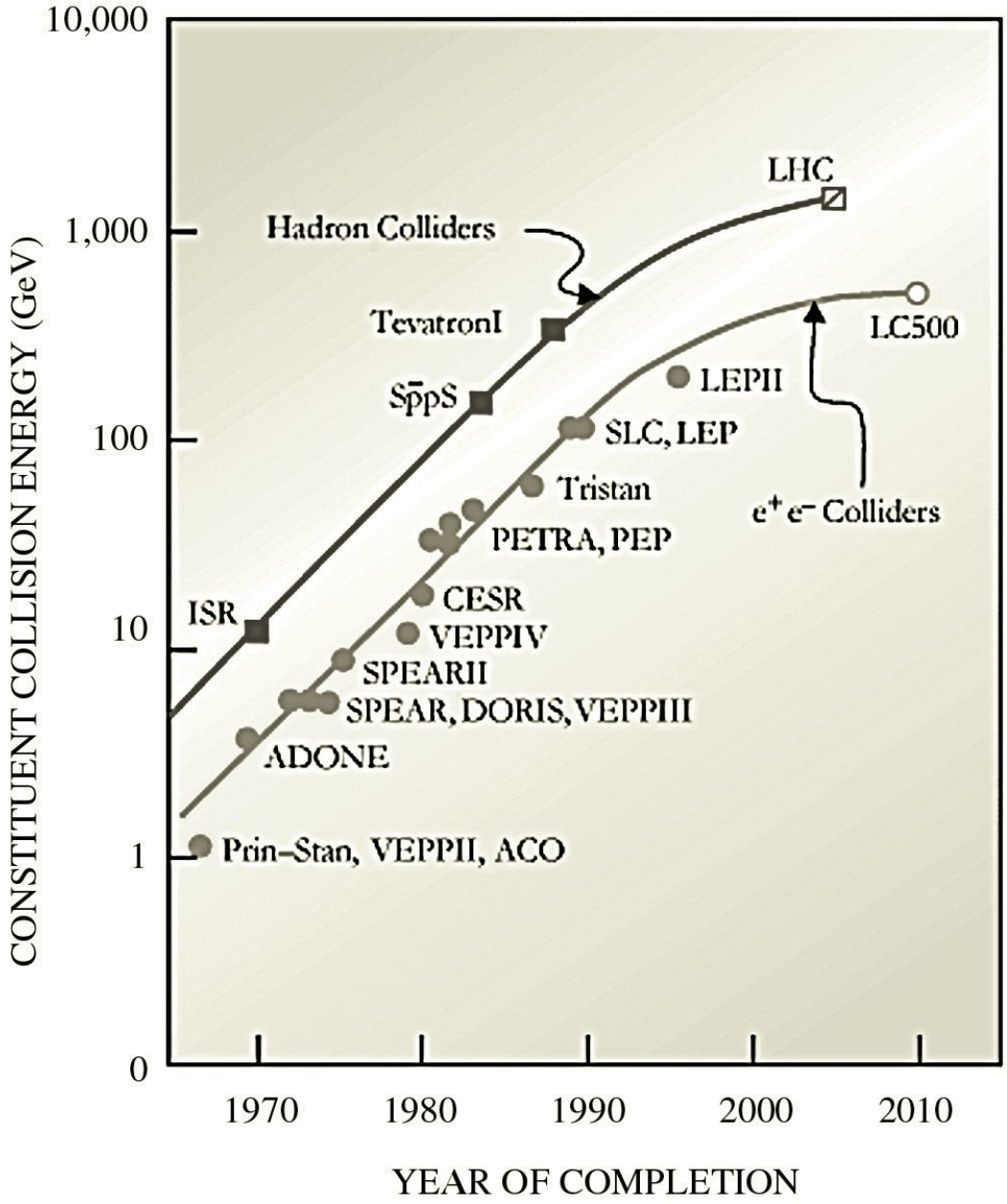




Single feed power coupler
30 GHz, 16 ns, 66 MV/m
local accelerating gradient







Діаграма Лівінгстона

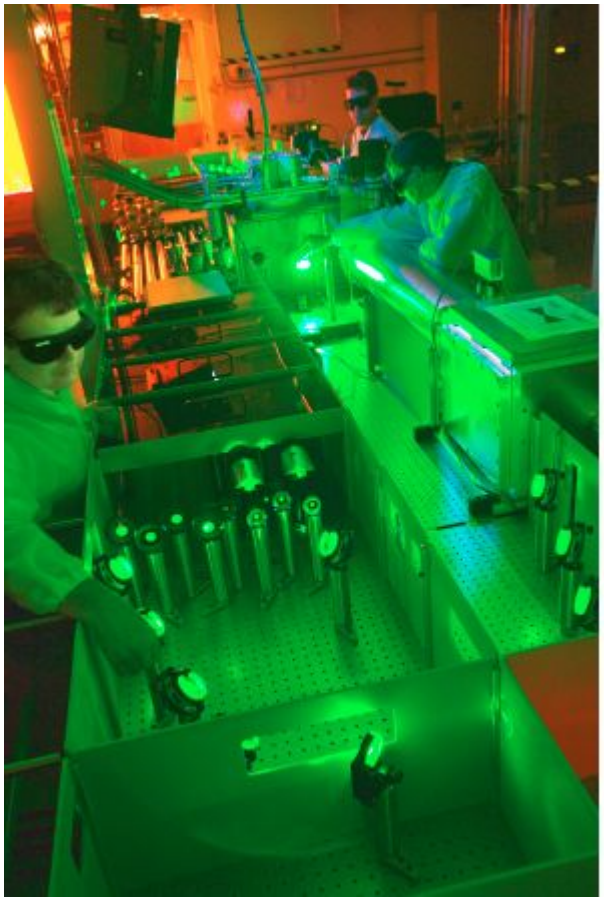
Експоненційний ріст припиняється

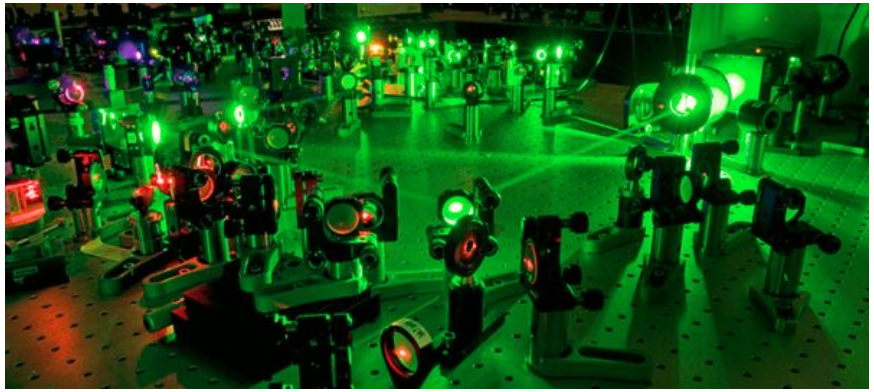
Де вихід з глухого кута???!!!

Як мінімум один тунель, здається, закінчується світлом

Plasma acceleration

Плазмові методи прискорення





Прогрес в розвитку потужних лазерів – мультитераватні і петаватні лазери

Напруженості поля - гігавольти і теравольти на м

Але це напруженості в поперечному напрямку, а потрібно – в повздовжньому напрямку

Transverse to Longitudinal

- Ідея: використати плазму для конвертування поперечного електричного поля лазерного випромінювання в поздовжнє поле в плазмі

VOLUME 43, NUMBER 4 PHYSICAL REVIEW LETTERS 23 JULY 1979

Laser Electron Accelerator

T. Tajima and J. M. Dawson
Department of Physics, University of California, Los Angeles, California 90024
(Received 9 March 1979)

An intense electromagnetic pulse can create a weak of plasma oscillations through the action of the nonlinear ponderomotive force. Electrons trapped in the wake can be accelerated to high energy. Existing glass lasers of power density 10^{18}W/cm^2 shone on plasmas of densities 10^{18} cm^{-3} can yield gigaelectronvolts of electron energy per centimeter of acceleration distance. This acceleration mechanism is demonstrated through computer simulation. Applications to accelerators and pulsers are examined.

Collective plasma accelerators have recently received considerable theoretical and experimental investigation. Earlier Fermi[1] and McMillan[2] considered cosmic-ray particle acceleration by moving magnetic fields[1] or electromagnetic waves.[2] In terms of the realizable laboratory technology for collective accelerators,

the wavelength of the plasma waves in the wake:

$$L_z = \lambda_w/2 = \pi c/\omega_p . \quad (2)$$

An alternative way of exciting the plasmon is to inject two laser beams with slightly different frequencies (with frequency difference $\Delta\omega \sim \omega_p$) so that the beat distance of the packet becomes

Concepts For Plasma-Based Accelerators

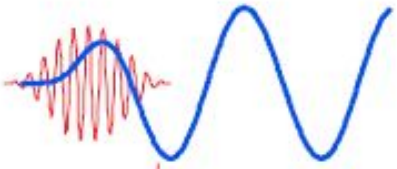
Pioneered by J.M. Dawson

- Plasma Wake Field Accelerator(PWFA)

  A high energy electron/proton bunch

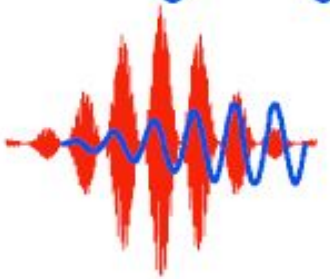
- Laser Wake Field Accelerator(LWFA)

  A single short-pulse of photons



- Plasma Beat Wave Accelerator(PBWA)

  Two-frequencies, i.e., a train of laser pulses



- Self Modulated Laser Wake Field Accelerator (SMLWFA)

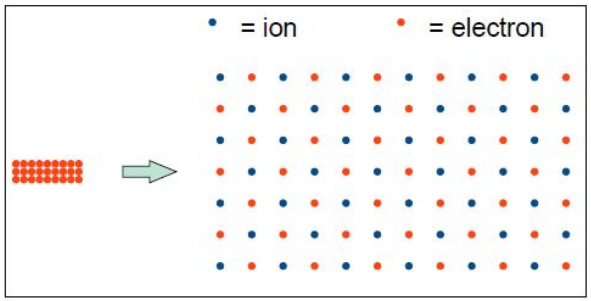
  Raman forward scattering Instability

evolves to

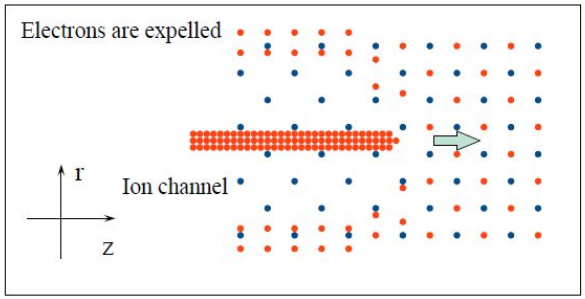
Принцип дії кільватерного поля

1.

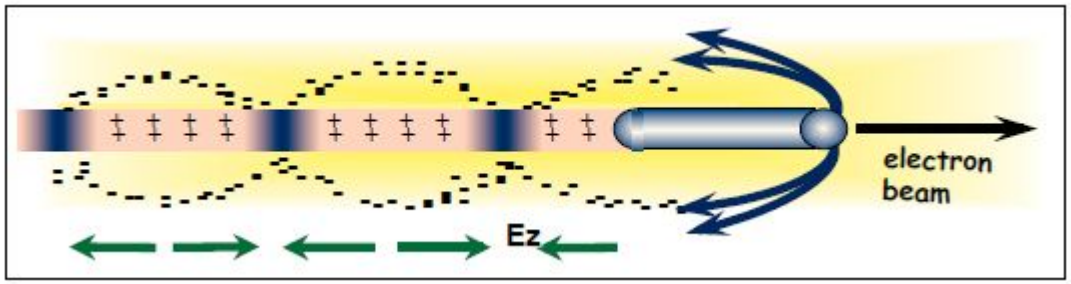
2.



3.



4.



Звичайний лінійний прискорювач

Плазменний прискорювач

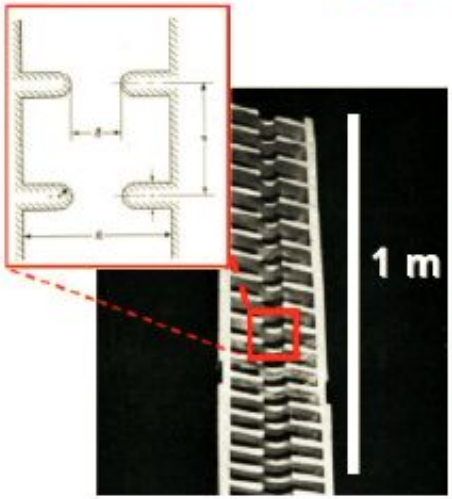
Copper Structure with irises

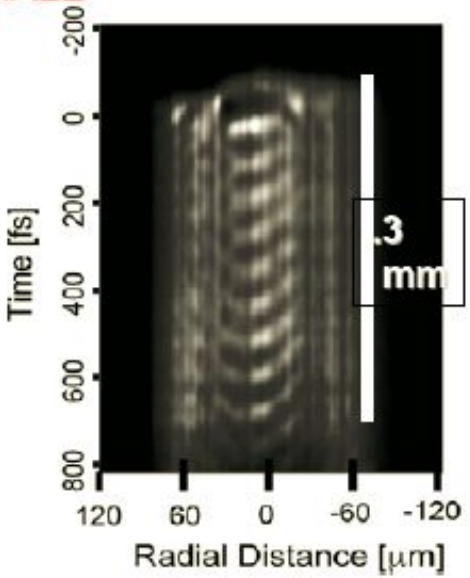
Powered by microwaves

Energy Gain 20 MV/m
Structure Diameter 10cm

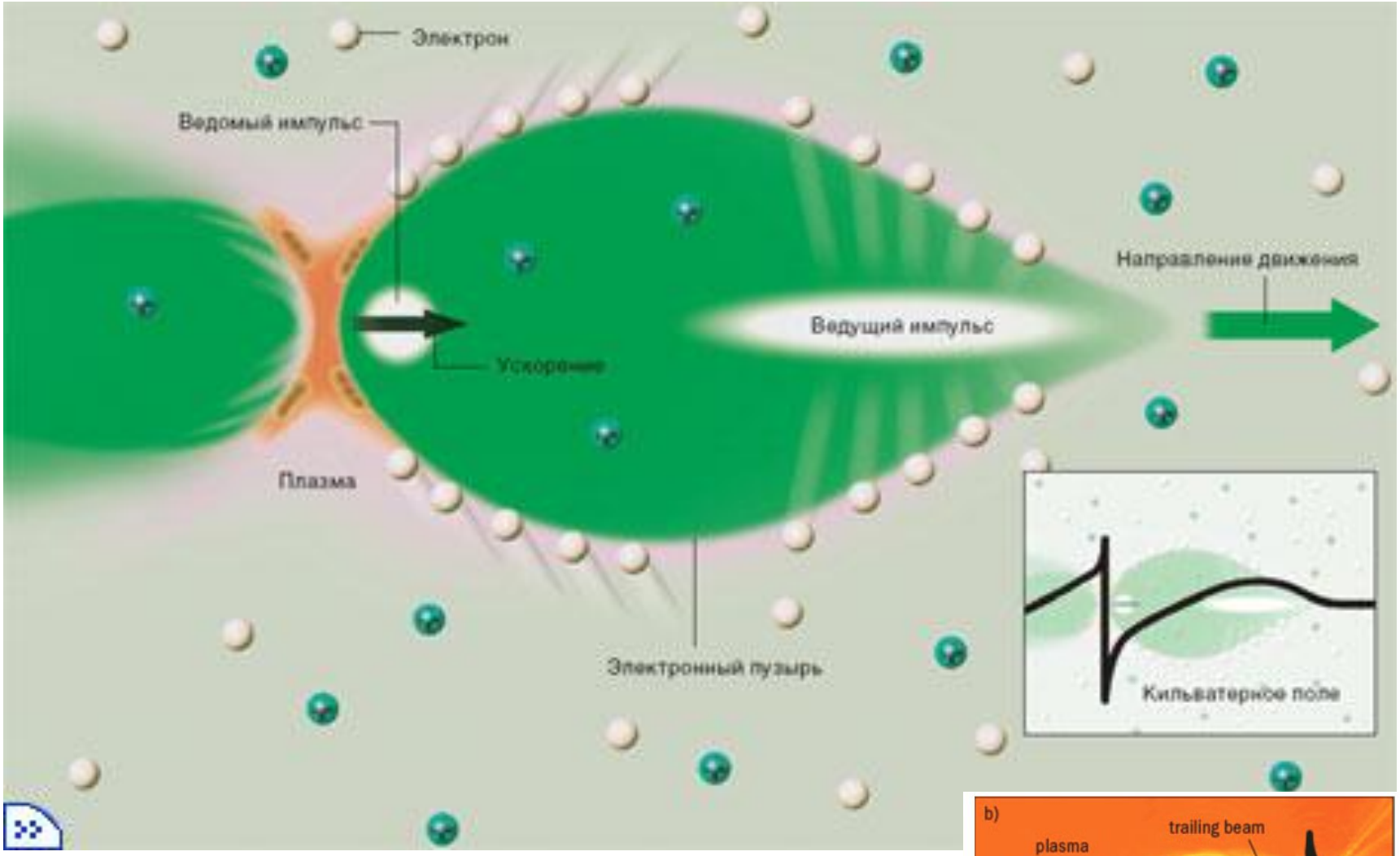
Ionized Gas
Lifetime, few picoseconds
Powered by a Laser or electron beam pulse
Energy Gain 20 GV/m
Diameter 0.1-l mm

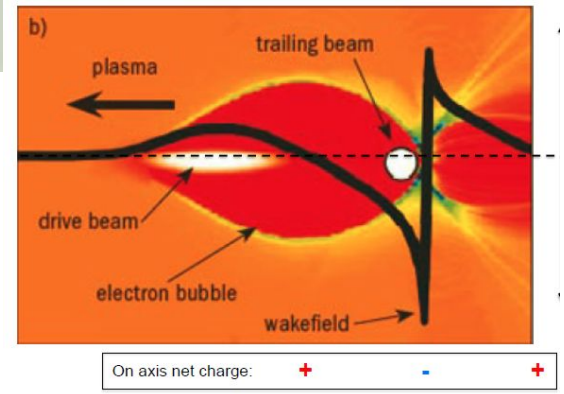
BIG PHYSICS BECOMES SMALL





Поперечні поля в кільватерному методі треба контролювати





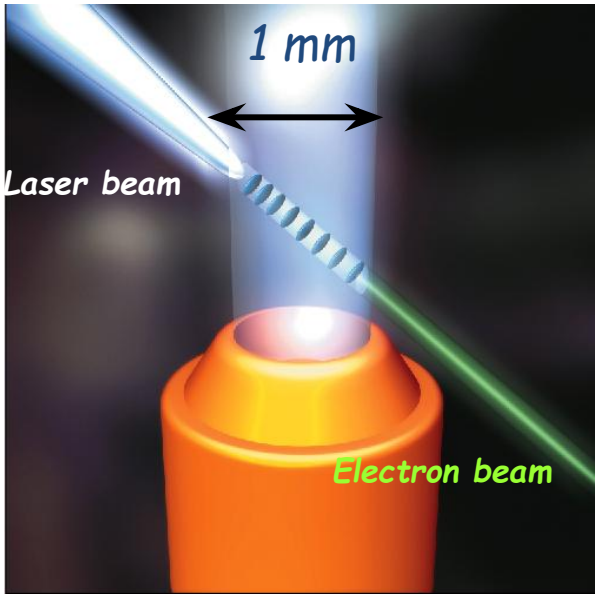
Лазерне і плазмове кільватерні поля

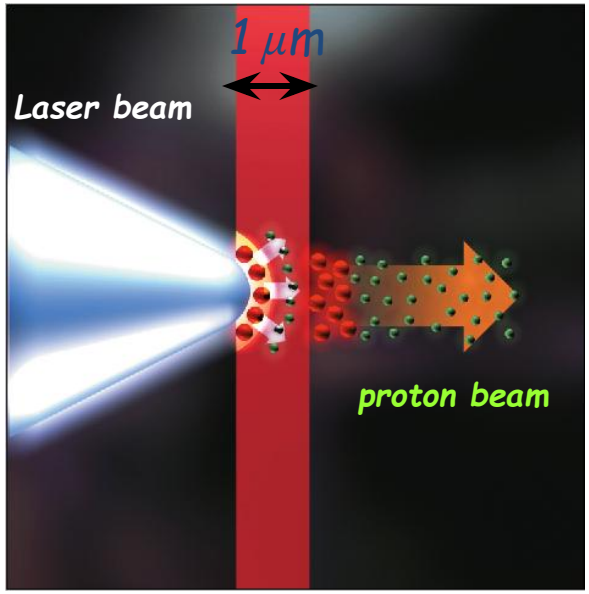
Експерименти у Французькому політехнічному інституті

State of Art of Laser-Plasma Accelerators

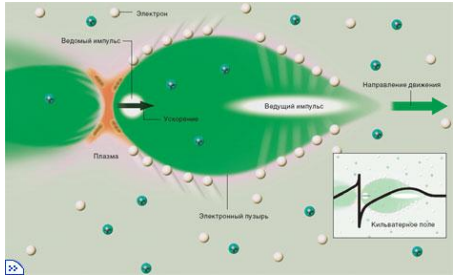
Victor Malka

LOA, ENSTA – CNRS - École Polytechnique,
91761 Palaiseau cedex, France





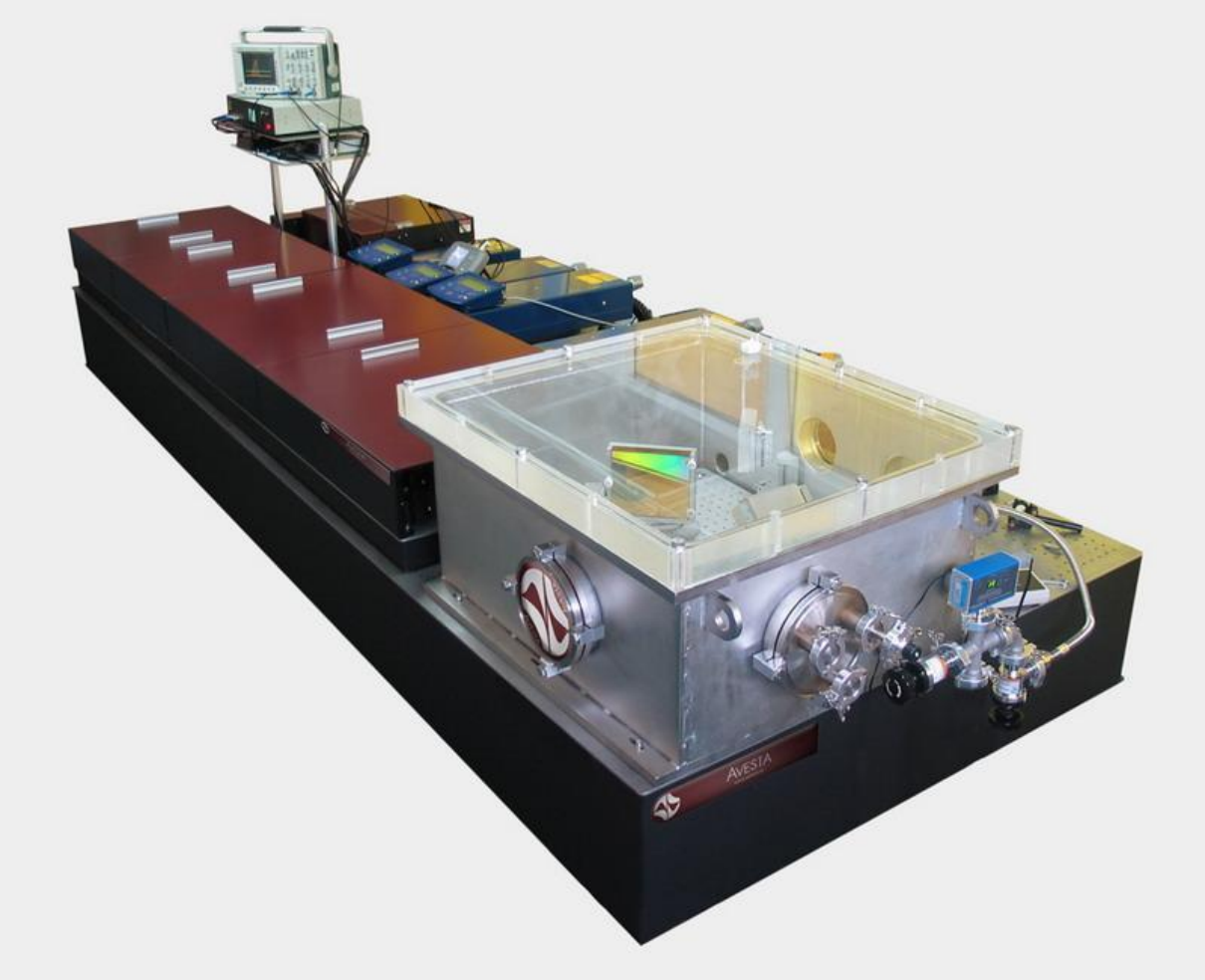
Режим фокусування і «автофазування»



Потужність лазерів від 10 ТВт (настольні системи) і більше

Імпульси електронів **довжиною до 10 фс !!!!!!!!**

Розкид по енергії менше 10%, малий розкид по куту



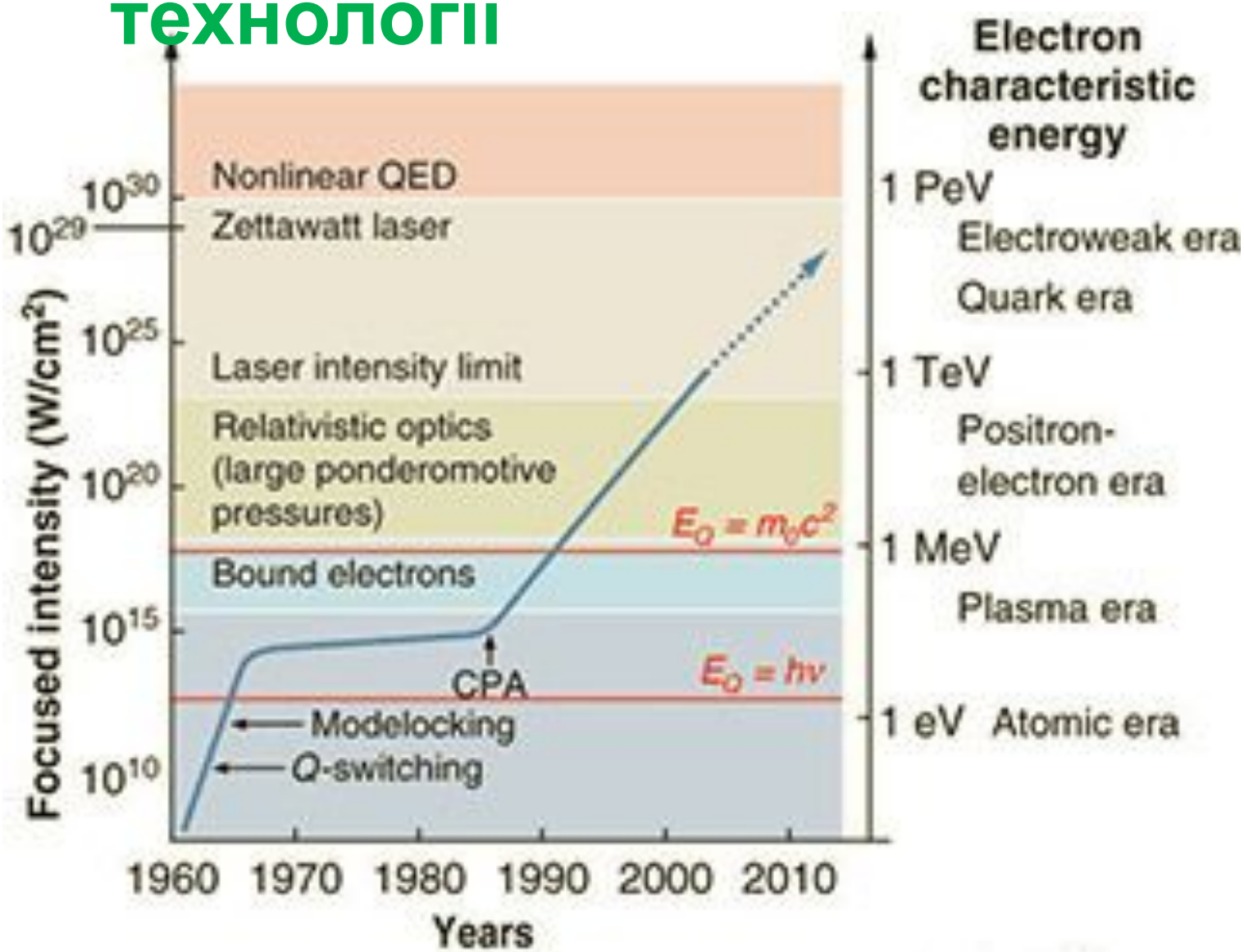
Титан-сапфировая тераваттная система AVET

Располагается на одном оптическом столе *
Коммерческий продукт *
Длительность импульса менее 45 фс *
Высокое качество пучка *
Высокая стабильность *

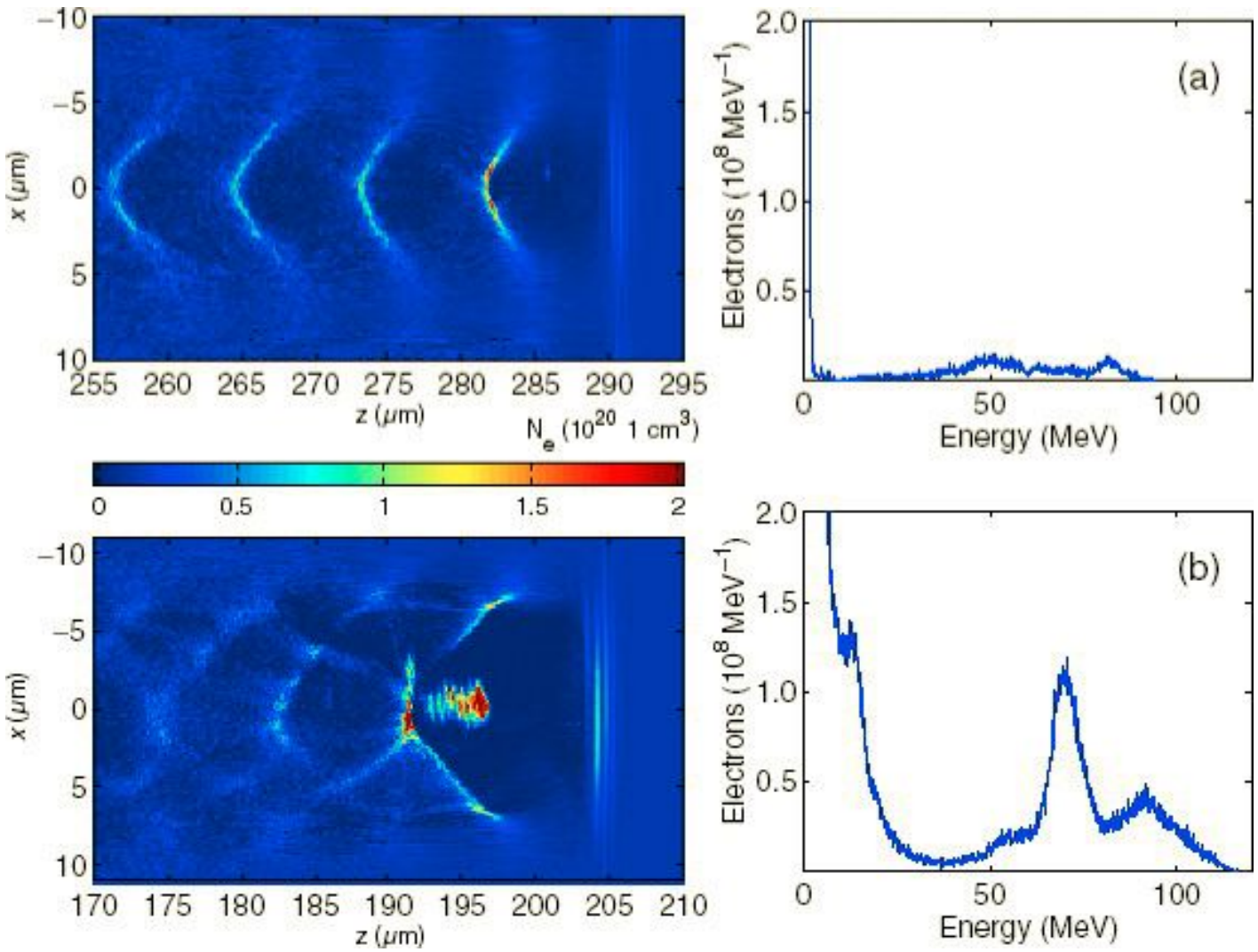
Применение:
- Лазерное ускорение частиц
- Исследования по термоядерному синтезу
- Генерация рентгеновского излучения и аттосекундных импульсов
- Задающий блок для систем петаваттного уровня
- Изучение плазмы
- Исследования атмосферы и контроль электрических разрядов

Потужність лазерів від 10 Твт (настольні системи) і більше
Імпульси електронів **довжиною до 10 фс !!!!!!!!**

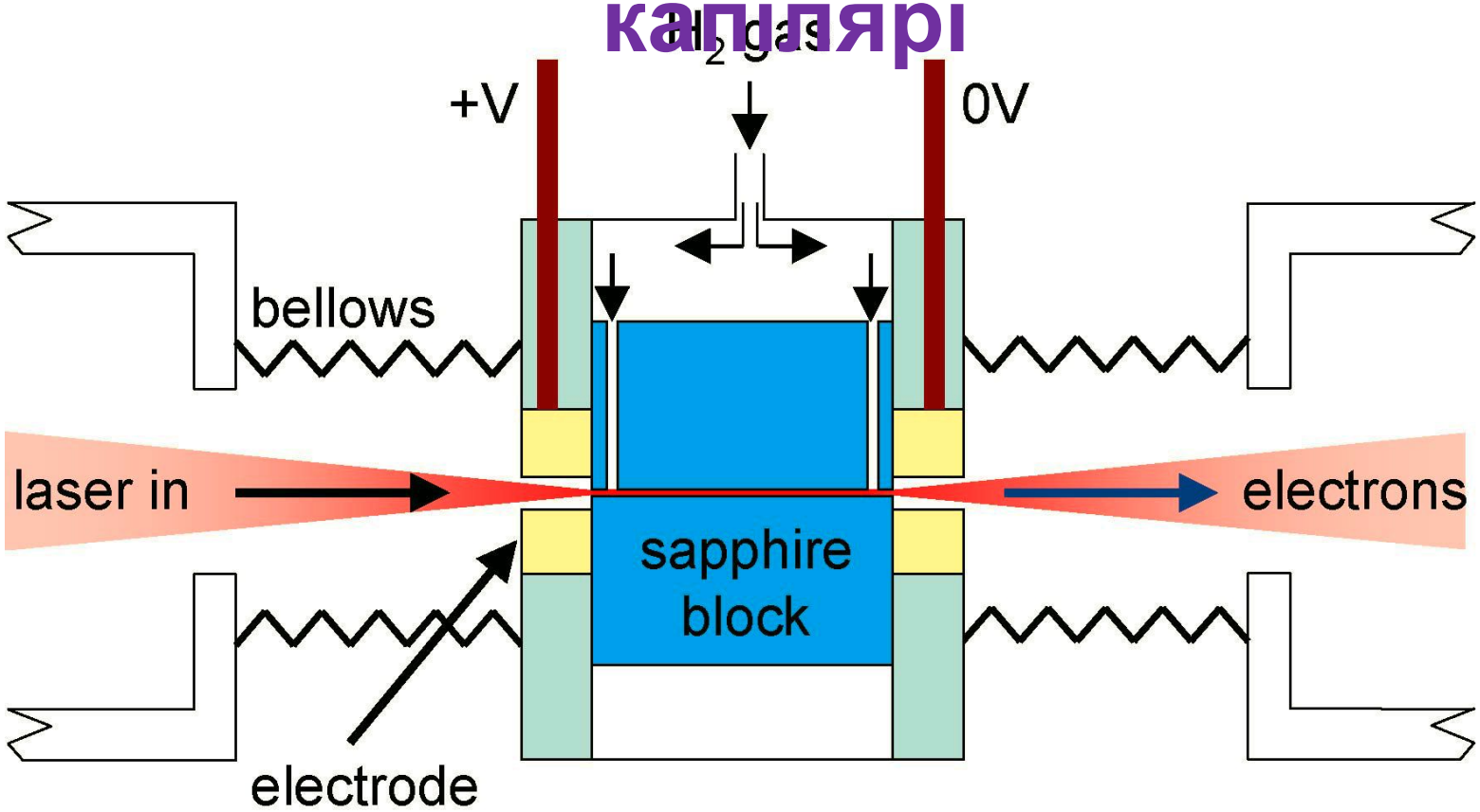
Прогрес в лазерній технології



Ефект достатньої потужності лазера для утворення нелінійного режиму з кавітаційними бульбашками

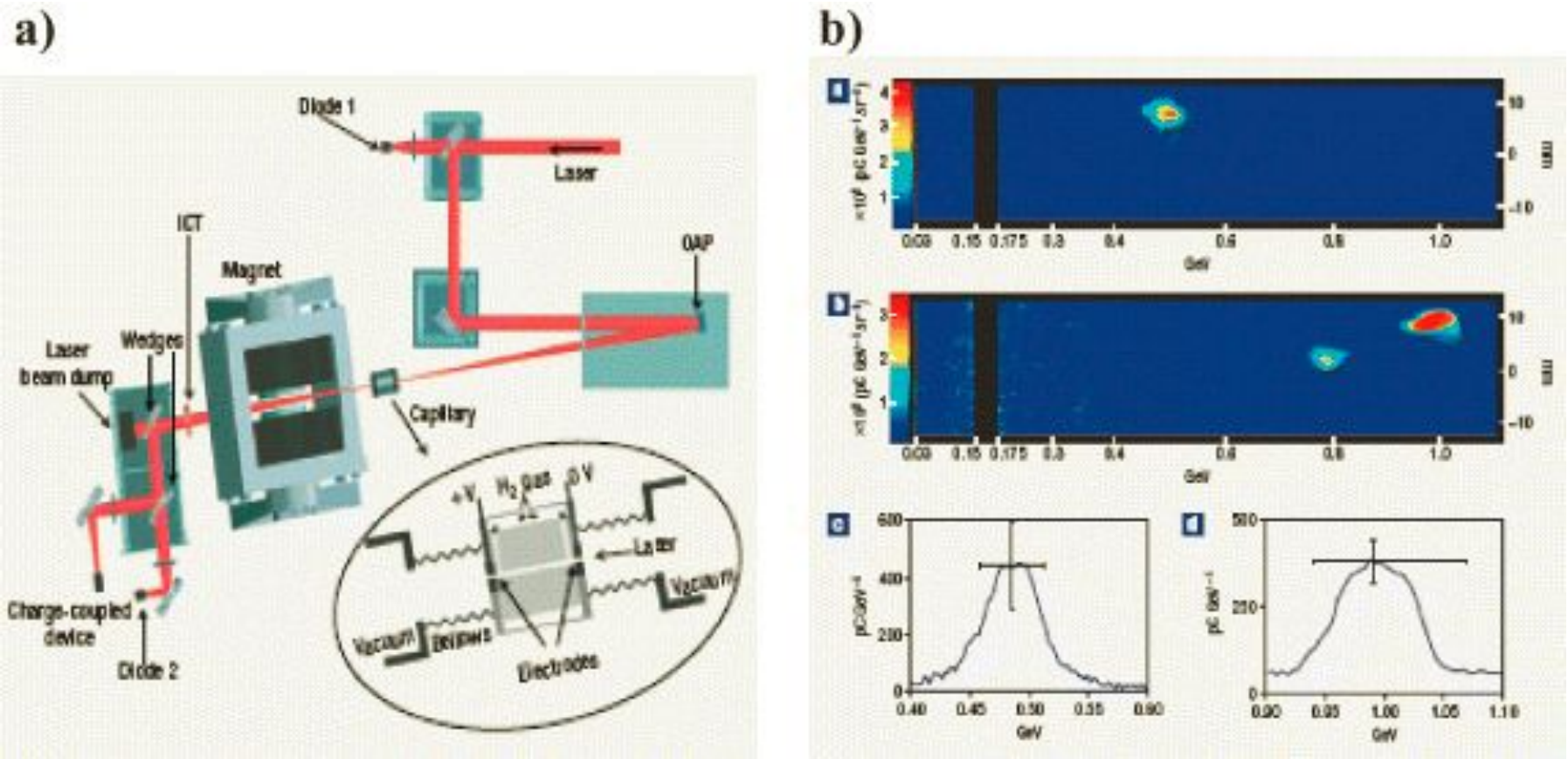


Прискорення в капілярі

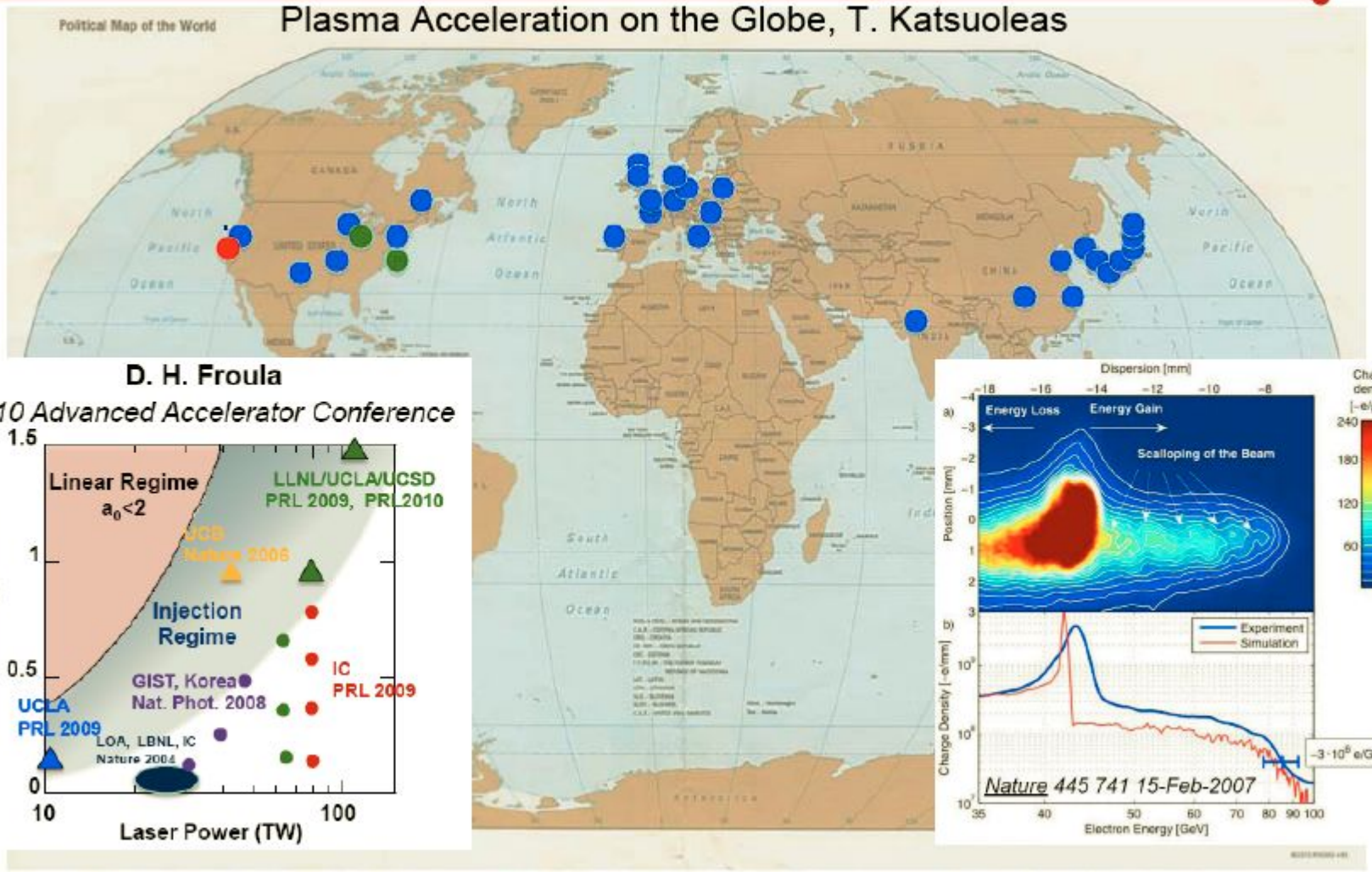


Частково вирішує проблему зменшення густини плазми при одночасному забезпеченні значної довжини прискорення

В 2006 році досягнуто енергії 1 Гев з використанням прискорення в капілярі

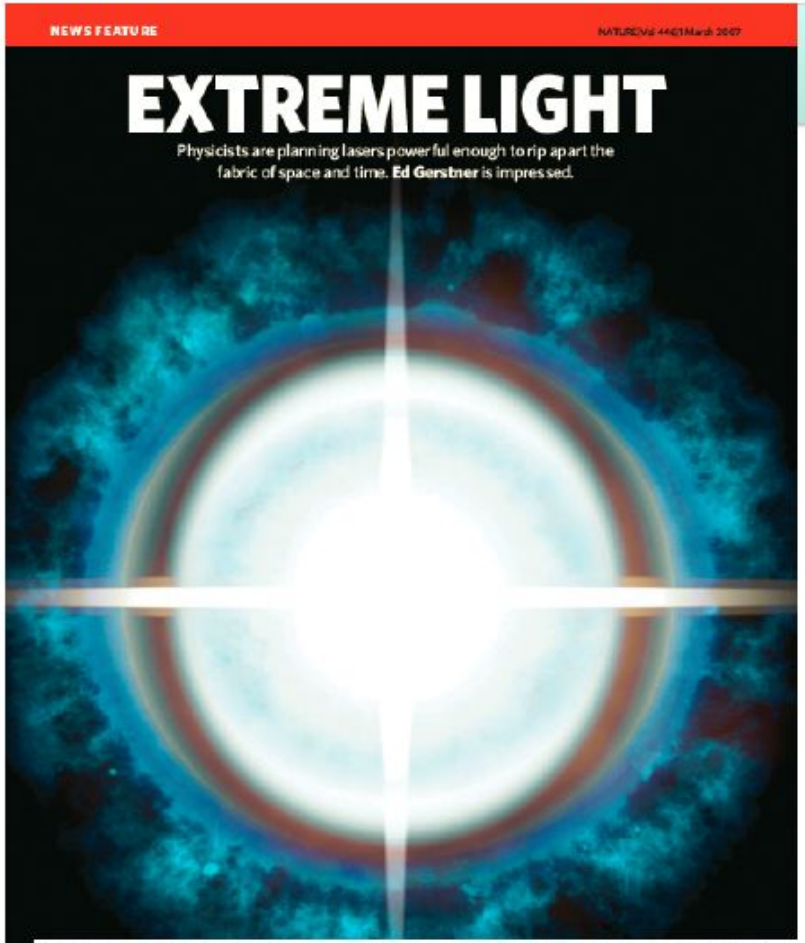


World-Wide Interest in Plasma Acc.



Найбільші проекти (вибране)

http://www.eli-laser.eu/



Europe: ELI

European Project for development of extreme light

Beam acceleration is one work package

Budget for 4 European sites:

1 billion €

… hundreds of GeV …

Projection from the actual experimental and theoretical data achieved with 100 TW laser to ELI indicates that hundreds of GeV electron bunch could be generated. Indeed, the central

BELLA

28 млн. доларів

http://www.lbl.gov/community/bella/

To use laser light to accelerate an electron beam to 10 GeV (10 billion electron volts) or more in the comparatively short distance of approximately one meter

BERKELEY LAB
Bringing Science Solutions to the World

A-Z INDEX | DIRECTORY

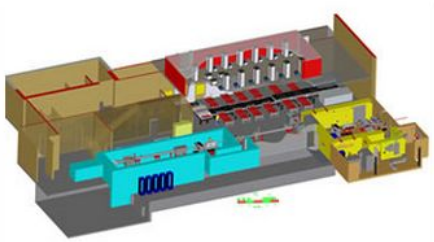
About the Lab | Leadership/Organization | Calendar | News Center | Today At Berkeley Lab

BELLA: The Berkeley Lab Laser Accelerator

Community | Richmond Bay Campus | Planning | Tours | Community Programs | Friends of Berkeley Lab

Project Description

BELLA, the Berkeley Laboratory Laser Accelerator will create an experimental facility for further advancing the development of laser-driven plasma acceleration.



BELLA's unique attribute is the ability to use laser light to accelerate an electron beam to 10 GeV (10 billion electron volts) or more in the comparatively short distance of approximately one meter.

This technology holds great promise for dramatically reducing the size, cost, energy usage, and environmental impact of future accelerators, particularly high-energy electron-positron colliders. BELLA's development could pave the way for future accelerators to be hundreds of

IN PROCESS

- Computational Research and Theory (CRT) Facility
- Solar Energy Research Center (SERC)
- Seismic Life Safety Modernization and

https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.lbl.gov%2Fcommunity%2Fbella%

FACET

20 млн. доларів

https://portal.slac.stanford.edu/sites/ard_public/facet/Pages/default.aspx

FACET provides high energy density electron and positron beams with peak currents of approximately 20 kA that are focused down to below 30x30 micron transverse spot size at an energy of 20 GeV.

SLAC NATIONAL ACCELERATOR LABORATORY

DOE | Stanford | SLAC | SSRL | LCLS | AD | PPA | Photon Science | PULSE | SIMES

FACET
An Office of Science User Facility

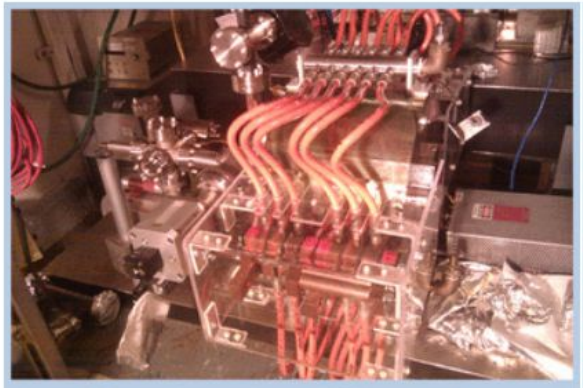
SIGN IN

FACET

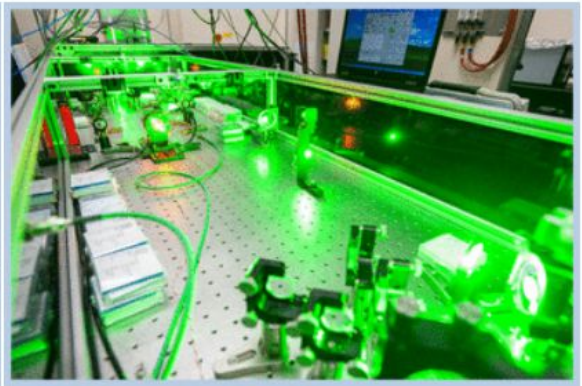
± SLAC Detailed Index | SLAC Web | Peopl

- About FACET & Test Facilities
- FACET & Test Facilities User Portal
- User Registration and Resources
- Proposal Process
- FACET Facility
- NLCTA Facility
- ESTB Facility
- ASTA Facility
- FACET Division (Password Required)
- FACET&TF News
- Old FACET Users Portal
- Old ESTB Users Portal

AD SLACPortal > Accelerator Research Division > FACET User Facility



X-band RF photo injector in the ASTA test stand



10TW Ti-Sapphire laser in FACET

Test Facilities User Portal

FACET and Test Beam Facilities

SLAC National Accelerator Laboratory's accelerator test facilities - **FACET, NLCTA, ESTB & ASTA** - are powerful tools for accomplishing great science. These four facilities span a range of beam energies and capabilities, providing a unique opportunity for researchers to find a beam perfectly matched to their experimental needs. For more information contact: Vitaly Yakimenko, FACET & TF Division Director

Announcements

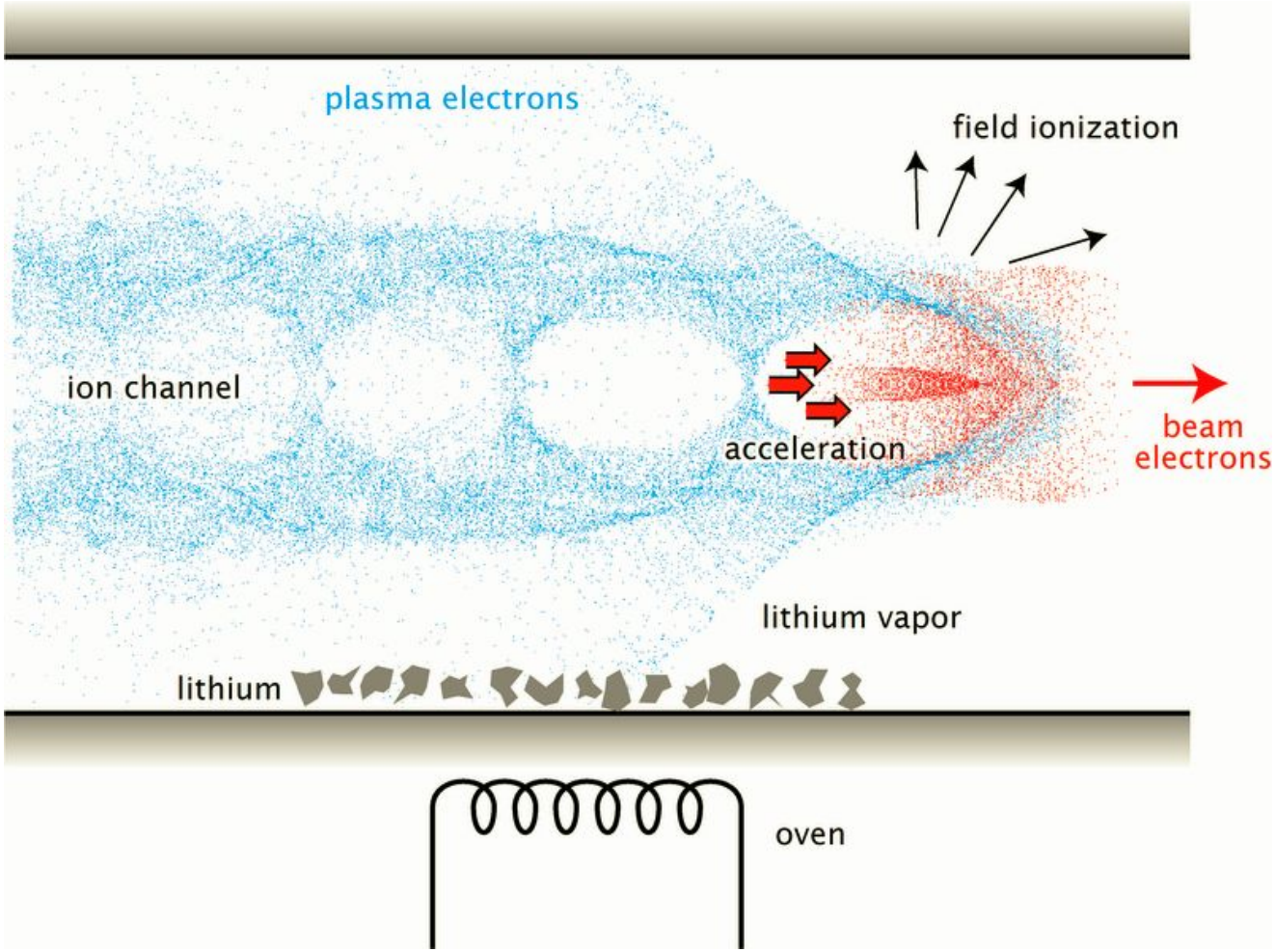
- FACET & TF User Meeting September 2014
- Fifth SAREC Review (September 2014)

Contacts

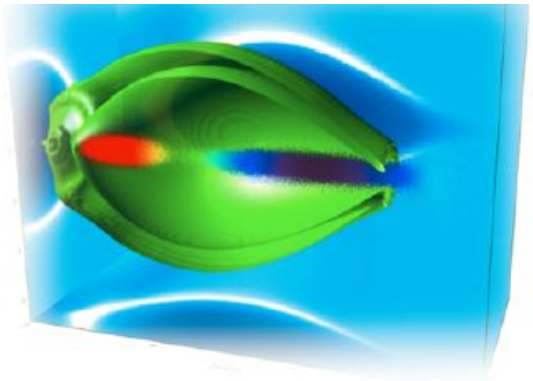
- Carsten Hast, Test Facilitie Department Head
- FACET Science - Mark Hog

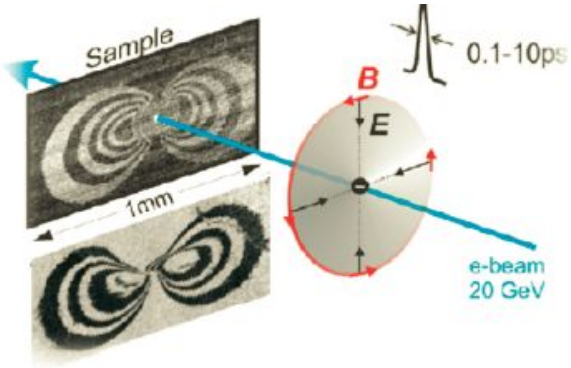
FACET (Facility for Advanced Accelerator Experimental Tests):

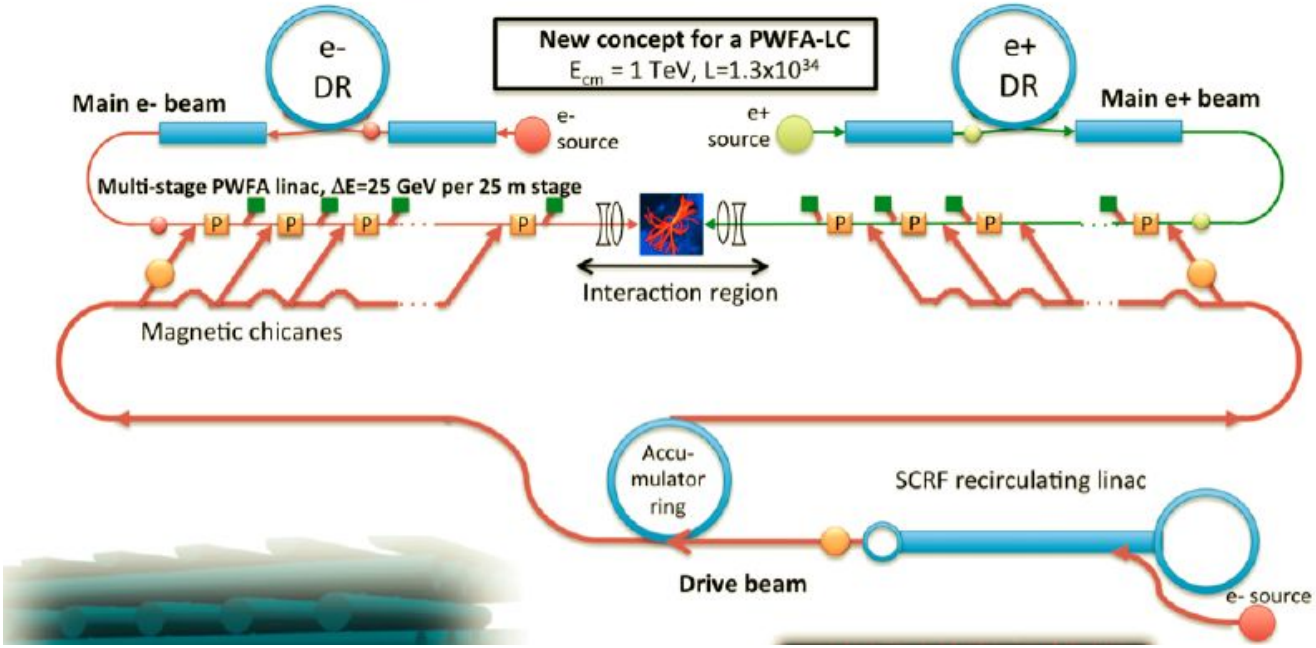
FACET


plasma electrons
field ionization
ion channel
acceleration
beam electrons
lithium vapor
lithium
oven

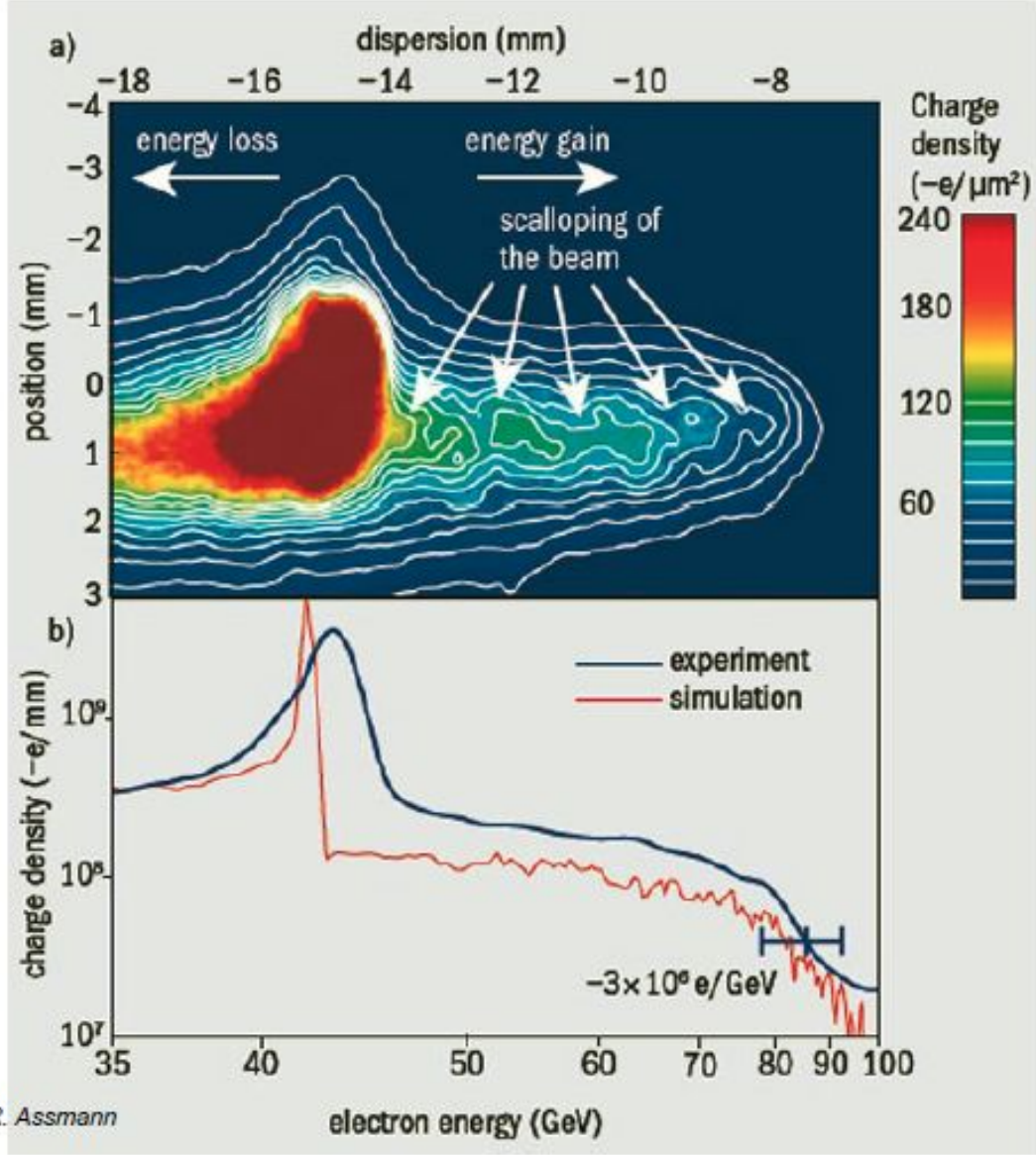
FACET-II



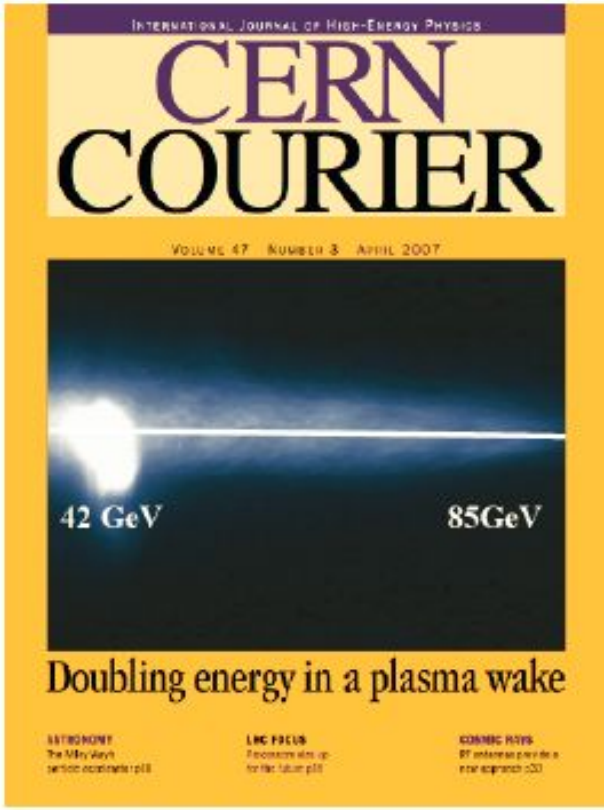

Sample
0.1-10ps
B
E
1mm
e-beam
20 GeV


New concept for a PWFA-LC
E_{cm} = 1 TeV, L=1.3x10^{34}
e-
DR
e+
DR
Main e- beam
Main e+ beam
e-
source
e+
source
Multi-stage PWFA linac, ΔE=25 GeV per 25 m stage
P
Interaction region
Magnetic chicanes
Accu-
mulator
ring
SCRF recirculating linac
Drive beam
e- source

Record Acceleration: 42 GeV



R. Assmann

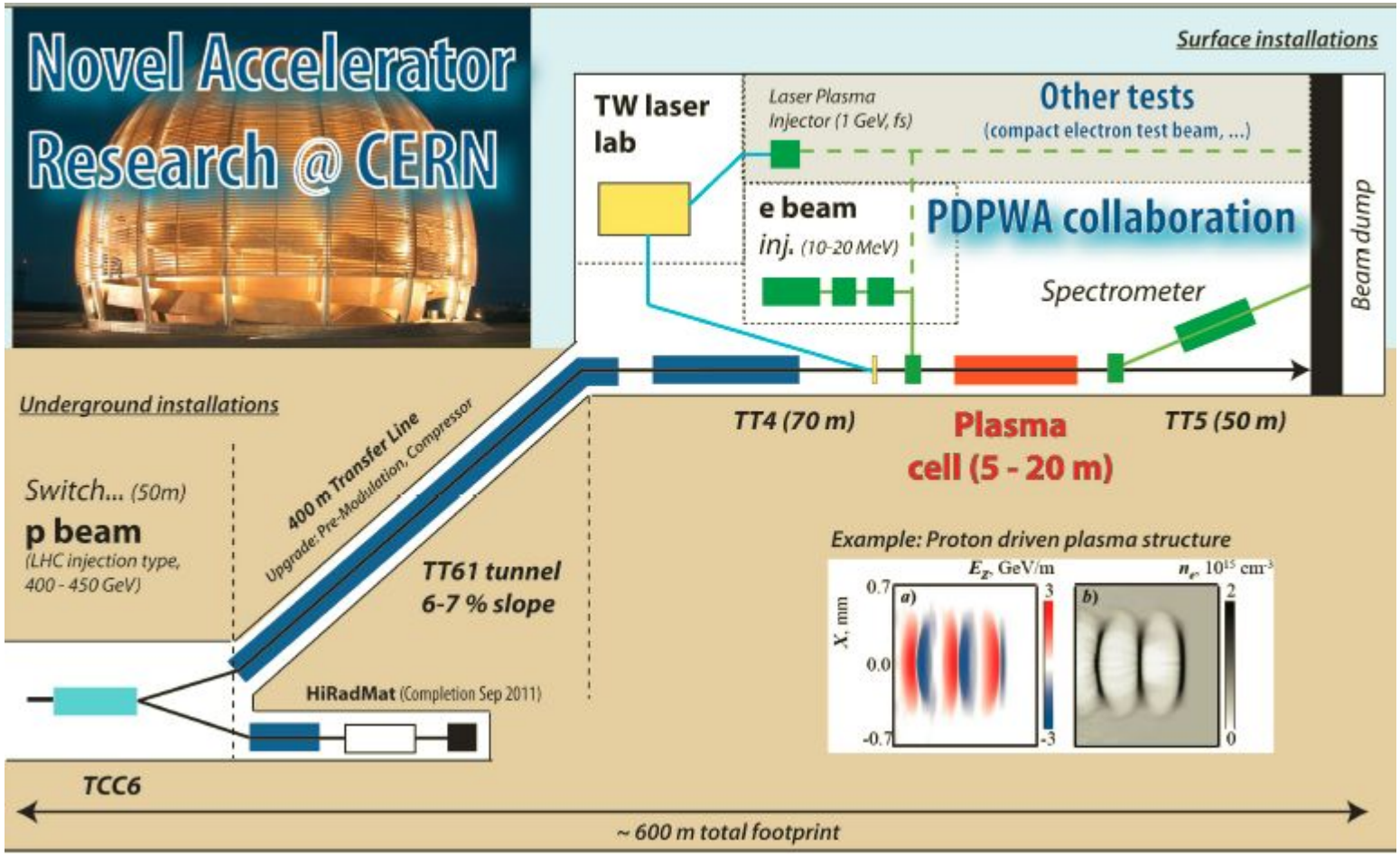


E167 collaboration
SLAC, UCLA, USC

I. Blumenfeld et al, Nature 445, p. 741 (2007)

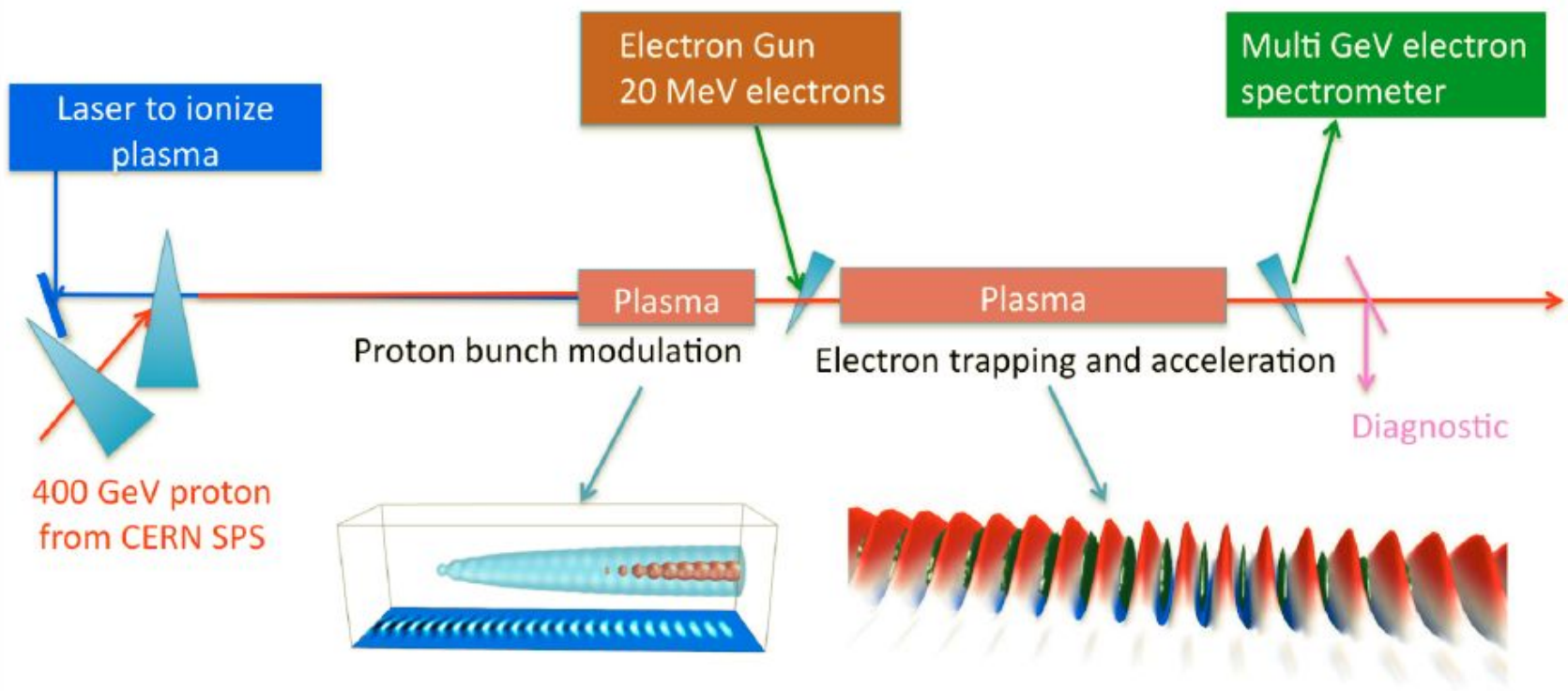
CERN: AWAKE

http://awake.web.cern.ch/awake/



CERN: AWAKE

http://awake.web.cern.ch/awake/



LAOLA

DESY & Uni Hamburg

20 млн. євро

http://laola.desy.de/

ACCELERATORS | PHOTON SCIENCE | PARTICLE PHYSICS

Deutsches Elektronen-Synchrotron
A Research Centre of the Helmholtz Association

Google™ Custom Search

DESY HOME | RESEARCH | NEWS | ABOUT DESY | CONTACT

LAOLA
Laboratory for Laser- and beam-driven plasma Acceleration

PIER

HOME
PROJECTS
CONTACT
OPEN POSITIONS
PUBLICATIONS
INTERNAL

Home /

Laboratory for Laser- and beam-driven plasma Acceleration

LAOLA, the **L**aboratory **f**or **L**aser- and beam-driven plasma **A**cceleration is a collaboration between groups from DESY and the University of Hamburg. Its **mission** is to complement basic research in the relatively new field of plasma wakefield acceleration (PWA) by an explicit combination with DESY's conventional, modern accelerators.

Plasma Wakefield Accelerators attract great interest from accelerator and applied physics due to their unprecedented ultra-high field gradients on the order of TV/m as well as their

Links

- PITZ
- REGAE
- FLA
- ARD
- PIER
- Contact

Central LC Parameters (Selected)

Parameter	Conventional LC	Plasma LC
Beam energy	1.5 TeV	1.5 TeV
Acc. gradient	100 MV/m	> 1 GV/m
Linac RF length	**15 km**	**< 1.5 km**
Luminosity	10^{35} cm^{-2} s^{-1}	10^{35} cm^{-2} s^{-1}
Beam sizes at IP	~ nm	~nm
Beam power	15 MW	15 MW
Site power	200 MW	200 MW

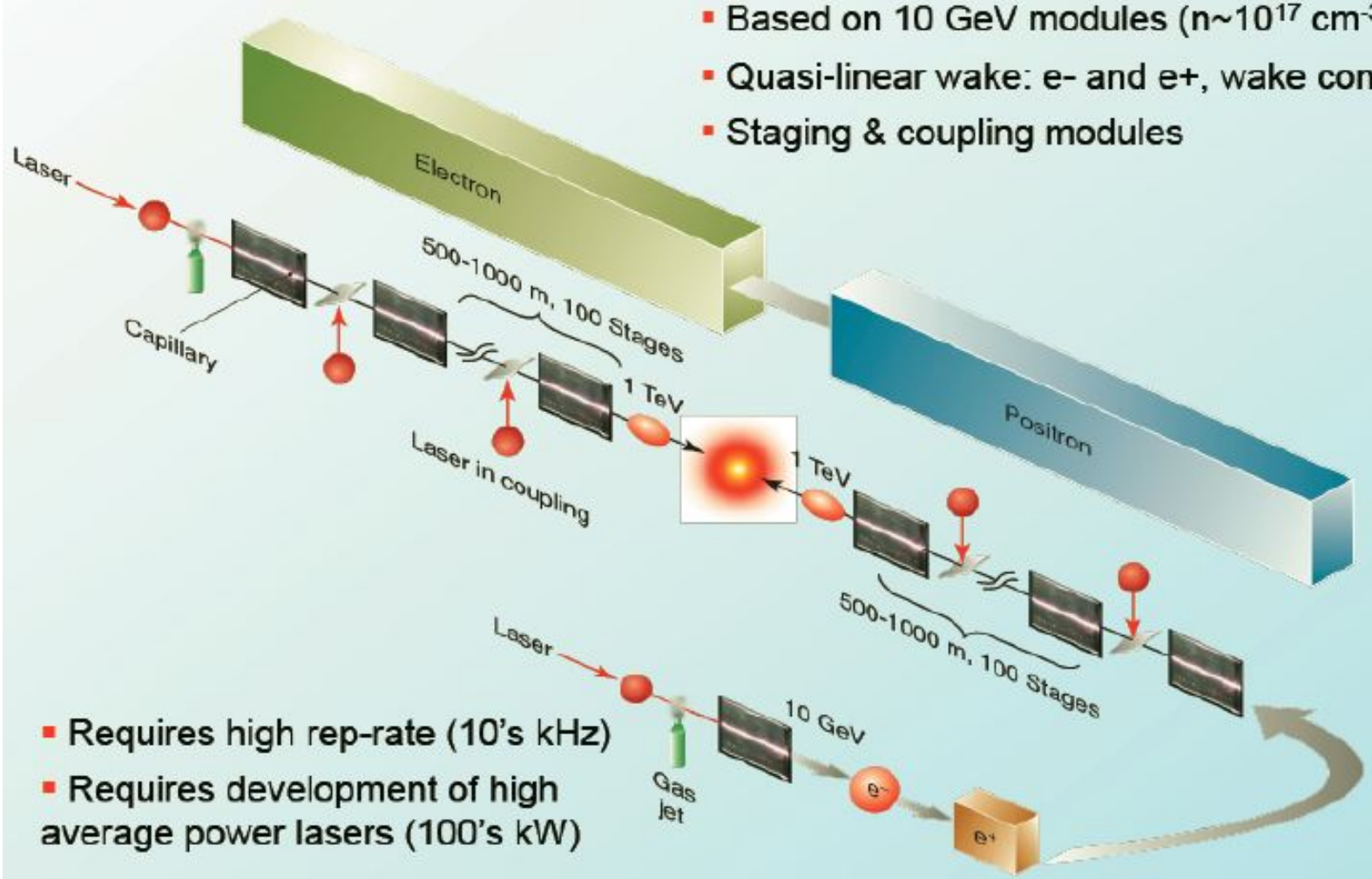
A plasma linear collider helps achieving high energy by reducing the linac length!

Other parameters remain challenging (consequence of required luminosity).

Conceptual LPA Collider

Slide C.B. Schroeder

- Based on 10 GeV modules ($n \sim 10^{17}$ cm^{-3})
- Quasi-linear wake: e- and e+, wake control
- Staging & coupling modules



- Requires high rep-rate (10's kHz)
- Requires development of high average power lasers (100's kW)

Висновки

1. Обмеження стандартних методів прискорення заряджених частинок
2. Основи кільватерного методу лазерного прискорення
3. Використання потужних лазерів та пучків заряджених частинок (електронів, протонів) для формування «бульбашкових» зон у плазмі.
4. Останні досягнення в області плазмового прискорення і найбільші проекти дослідження методів і інструментів для кільватерного прискорення в плазмі