

Ускорители Частиц Высоких Энергий – *Quo Vadis?*

Владимир Дмитриевич Шильцев

Директор Центра Ускорительной Физики
Лаборатория им.Э.Ферми (США)

Август 2010



ИЯФ
СОРАН



Содержание:

прошлое (немного)

настоящее (немного)

будущее

Будущее

Ускорители Заряженных Частиц

Батарейка 1 Вольт



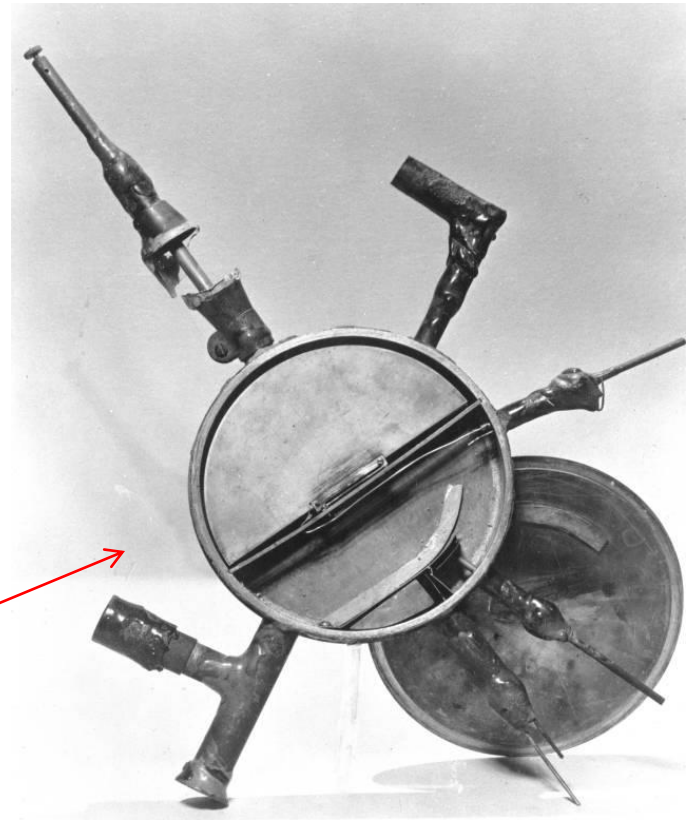
1 электрон + 1 Вольт
=1 электронВольт



Дедушка Современных Ускорителей



Эрнест Лоуренс



Циклотрон 25\$
80,000 Вольт

Современный Ускоритель - 6км

ТЭВАТРОН



**1,000,000,000,000
(12 нулей!) Вольт**

Открытия на Ускорителях

(почти все частицы с ~1940 гг)

1974 Charm quark (SLAC/BNL)

1977 Bottom quark (Fermilab)

1983 W&Z bosons (SPS, CERN)

1995 Top quark (Tevatron)

2009 Quark-gluon plasma (RHIC)

2010 1% matter-antimatter asymmetry (Tevatron)

Now searching :

Higgs boson (Tevatron and LHC)

Supersymmetric particles (LHC)

Extra dimensions (LHC)

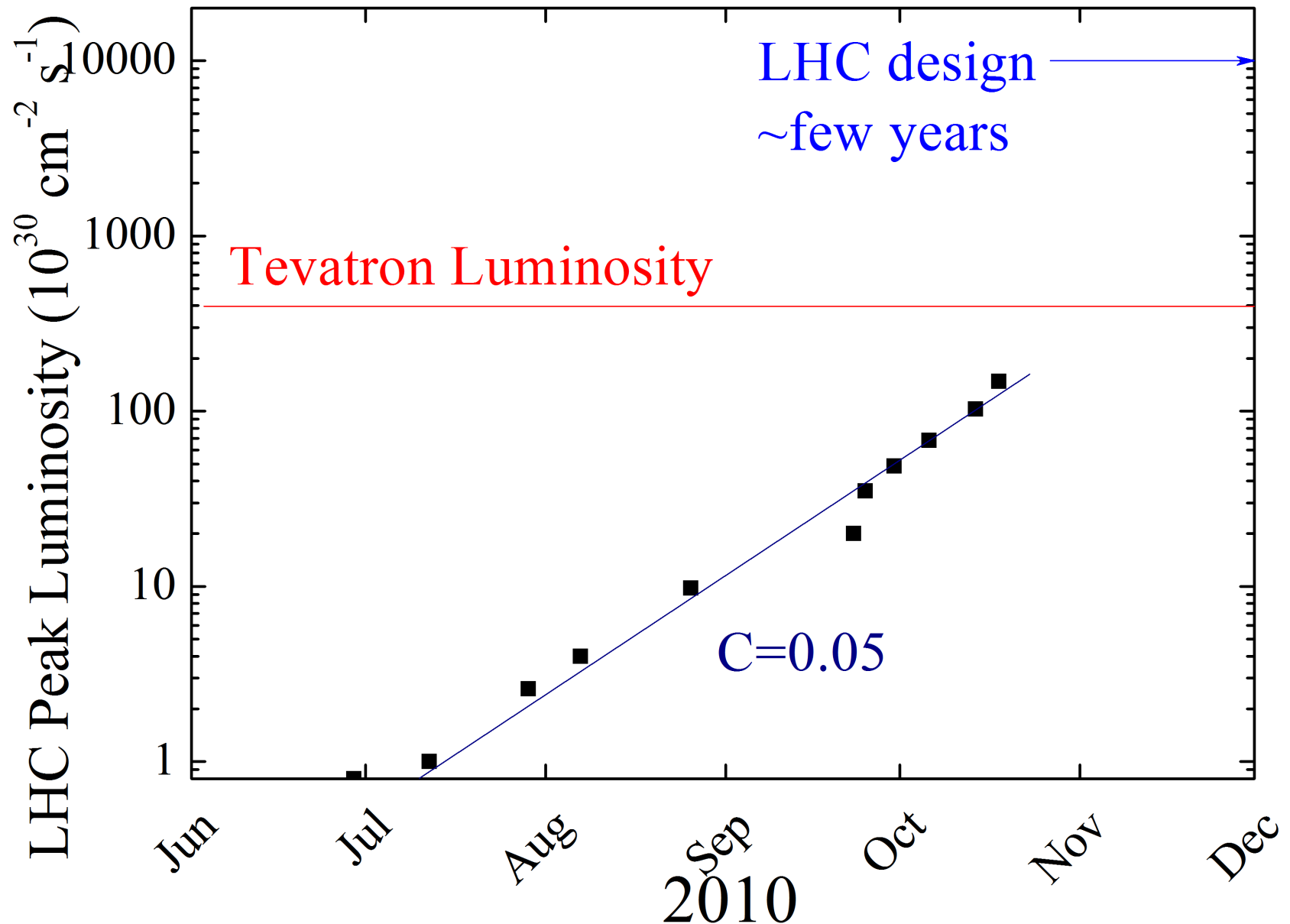
LHC Large Hadron Collider 27km



БАК = бак



Прогресс Светимости ЛНС



Три Вопросы Для Физиков

Почему все имеет вес?

Почему так мало антивещества
(почти нет)?

Из чего и как образовалась
Вселенная?

Comparison of Particle Colliders

To reach higher and higher collision energies, scientists have built and proposed larger and larger machines.

Следующее поколение?



Muon Collider
d=2km



LHC
d=8.4km



ILC
l=30km



CLIC
l=50km

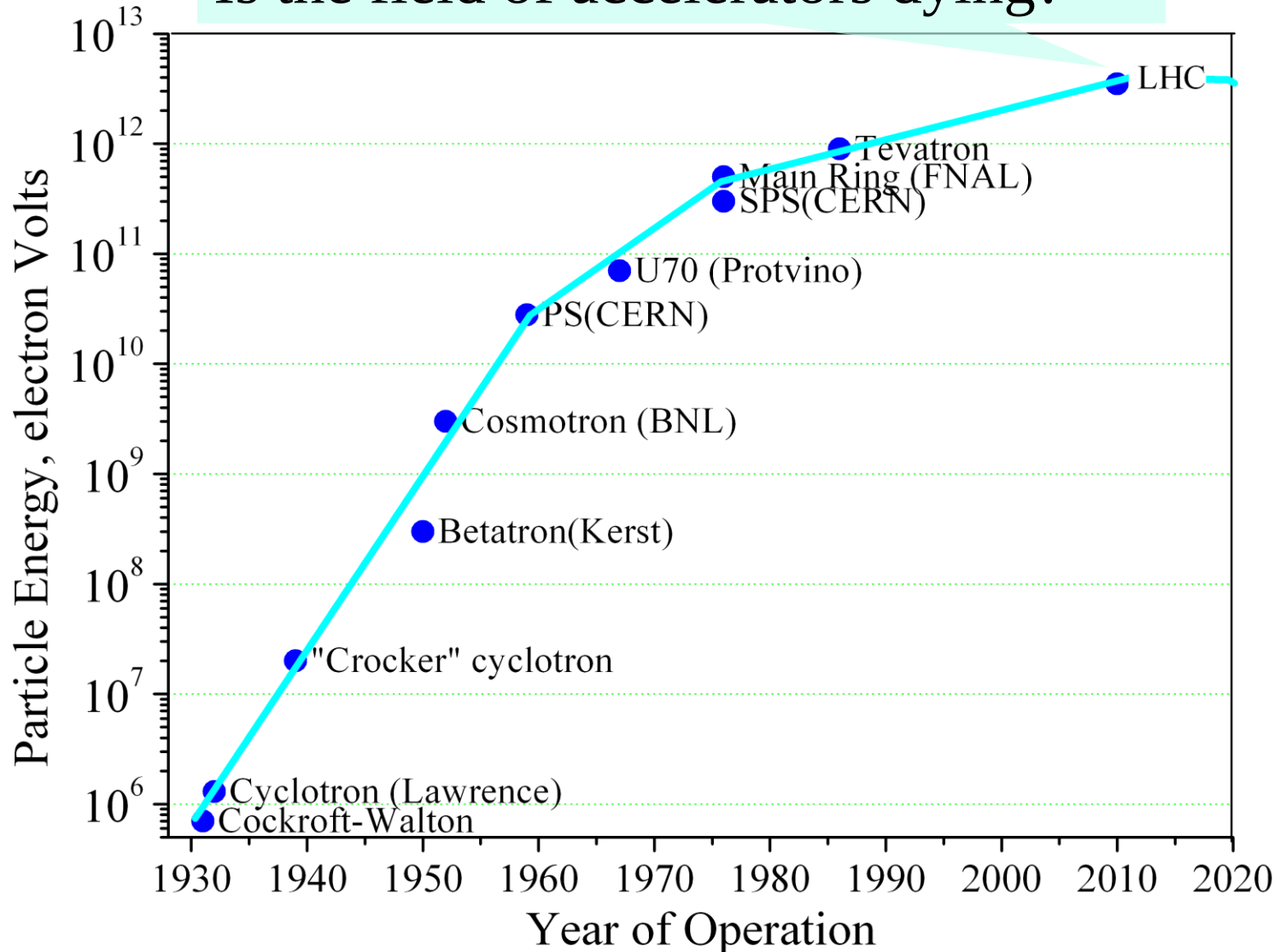
VLHC
d=74km



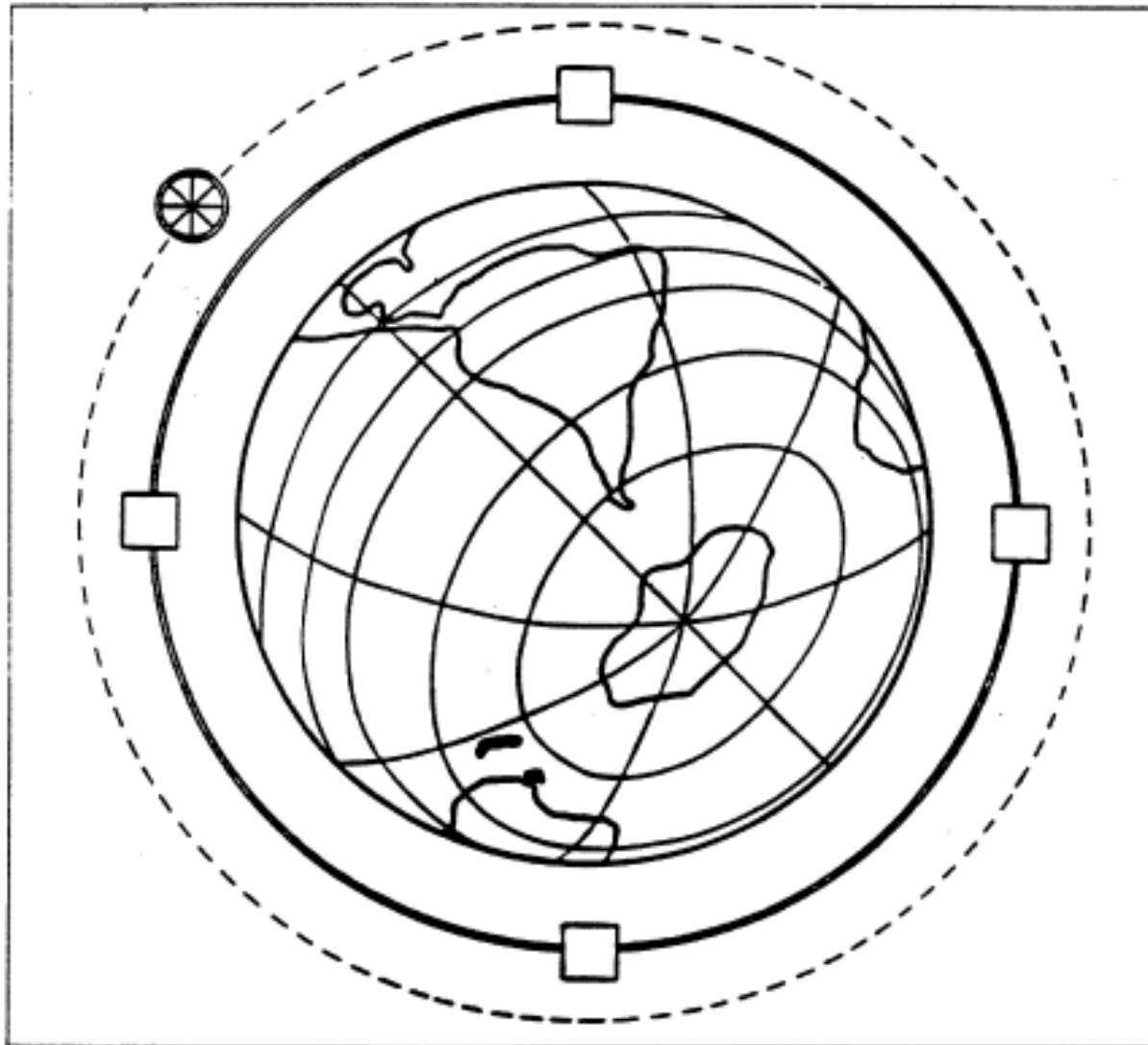
Владимир Дм. Шильцев - Accelerators: Quo Vadis?

Причины для пессимизма

Is the field of accelerators dying?



Предельный ускоритель Ферми



From a 1954 Slide by Enrico Fermi, University of Chicago Special Collections.

Тупиковый путь?

LHC & ILC = 0.5B\$/km $\rightarrow$ 15B\$

(hardware only 0.2B\$/km)

40,000 km ring = 10,000TeV = 20 T\$

US GDP = 15T\$ = 15,000 B\$/yr

New Approaches

New Drivers/Power Sources:

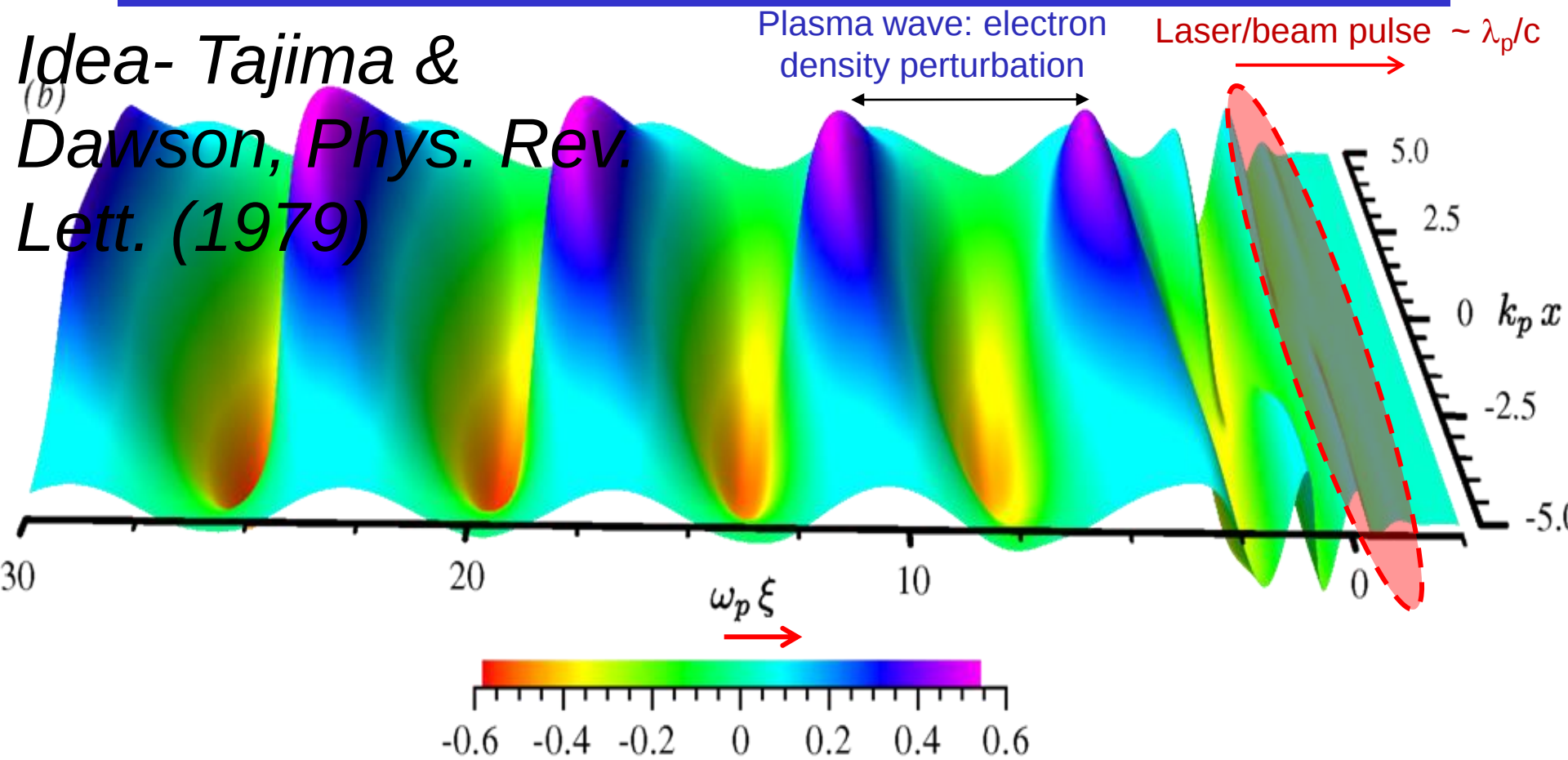
- another beam
- laser

New Accelerating Media:

- plasma
- crystals

Excitation of Plasma Waves

Idea- Tajima & Dawson, Phys. Rev. Lett. (1979)



Option #1:

Short intense e-/e+/p bunch

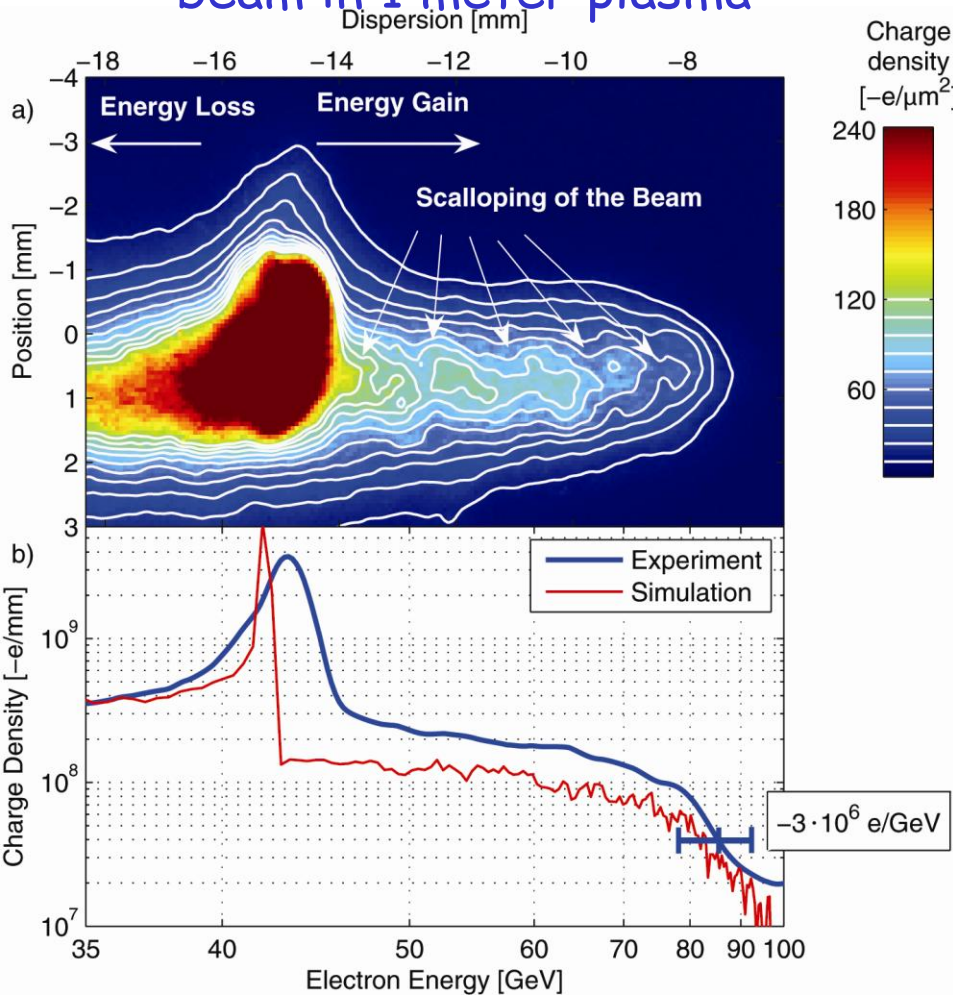
Option #2:

Short intense laser pulse

Beam Excites Plasma

- Acceleration gradients of $\sim 50 \text{ GV/m}$ ($3000 \times \text{SLAC}$)

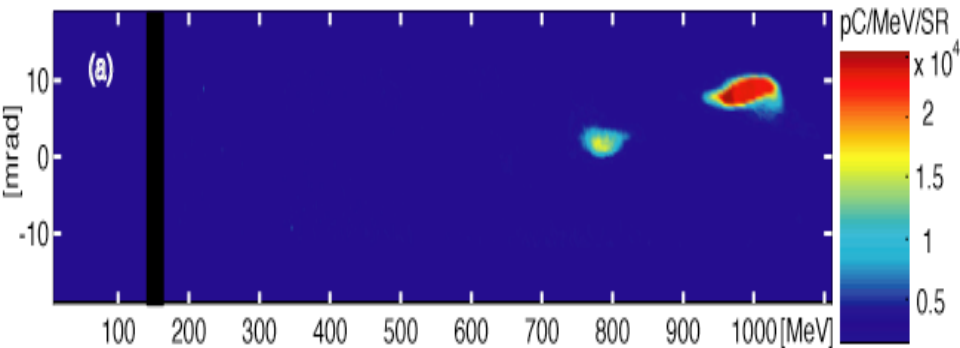
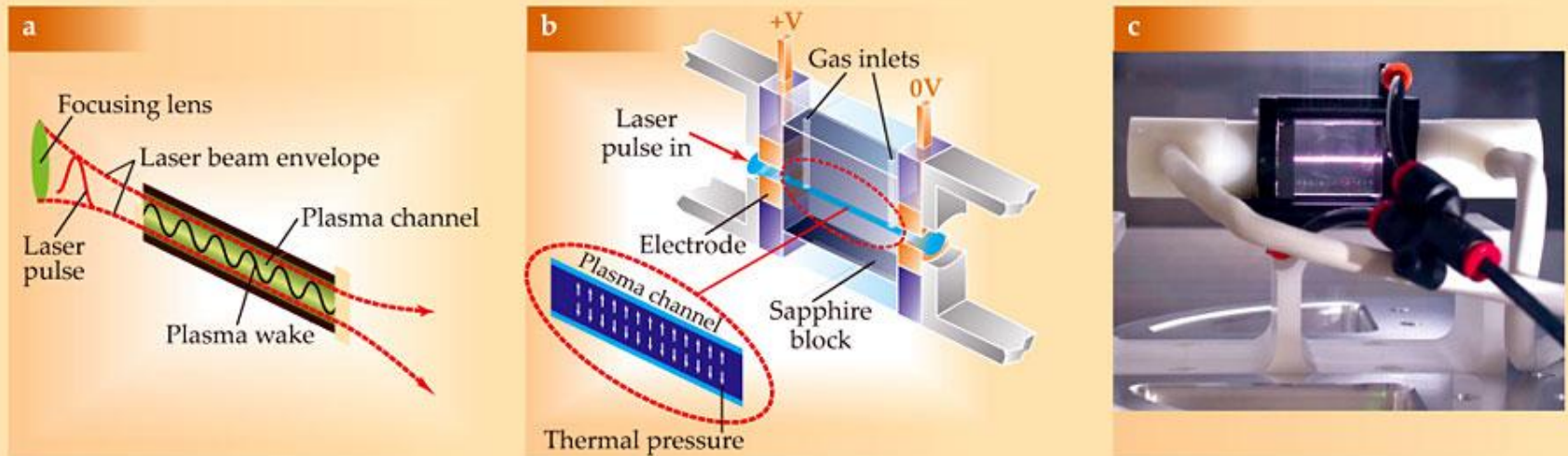
- Doubled energy of 45 GeV beam in 1 meter plasma



Challenges/Issues:

- small (dE/E , size) beam still to be achieved
- (FACET experiment at SLAC underway)
- needs unique drive beam
- defocuses positrons
- hard to preserve ultra small beam emittances
- thinking of using protons as a drive (even harder)

Laser Excites Plasma



■ Achieved ~ 30 GV/m (Berkeley)

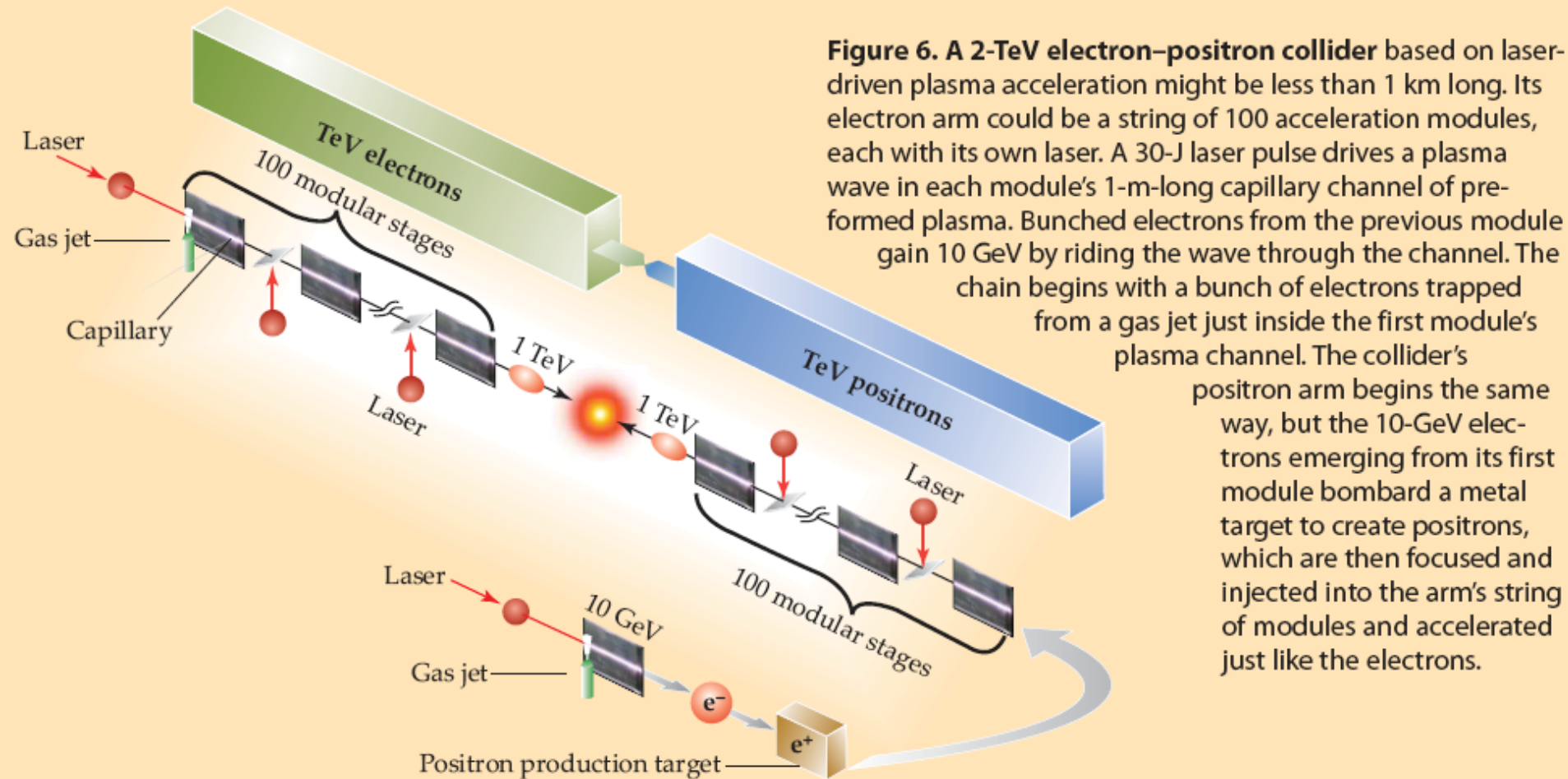
- 1 GeV over 3 cm
- 40 TW laser

Challenges/Issues:

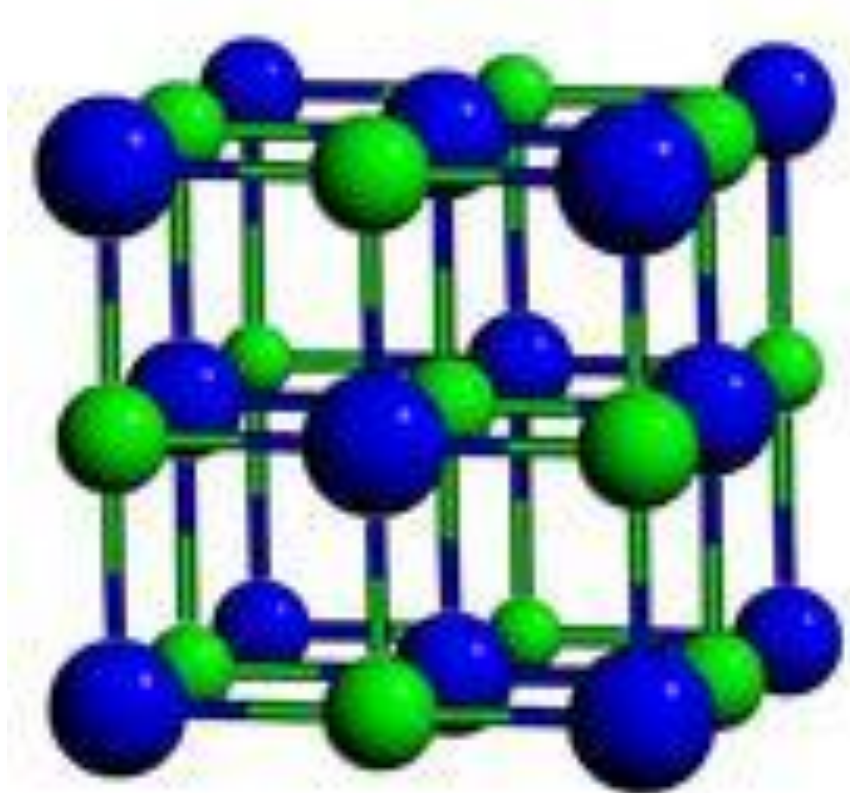
- speed of light in plasma always $< c$
- need many stages - hard
- BELLA experiment at LBNL with Petawatt laser (not table top!)
- low rep rate, efficiencies
- hard to preserve ultra small beams

Plasma-Accelerator-Based Linear Collider

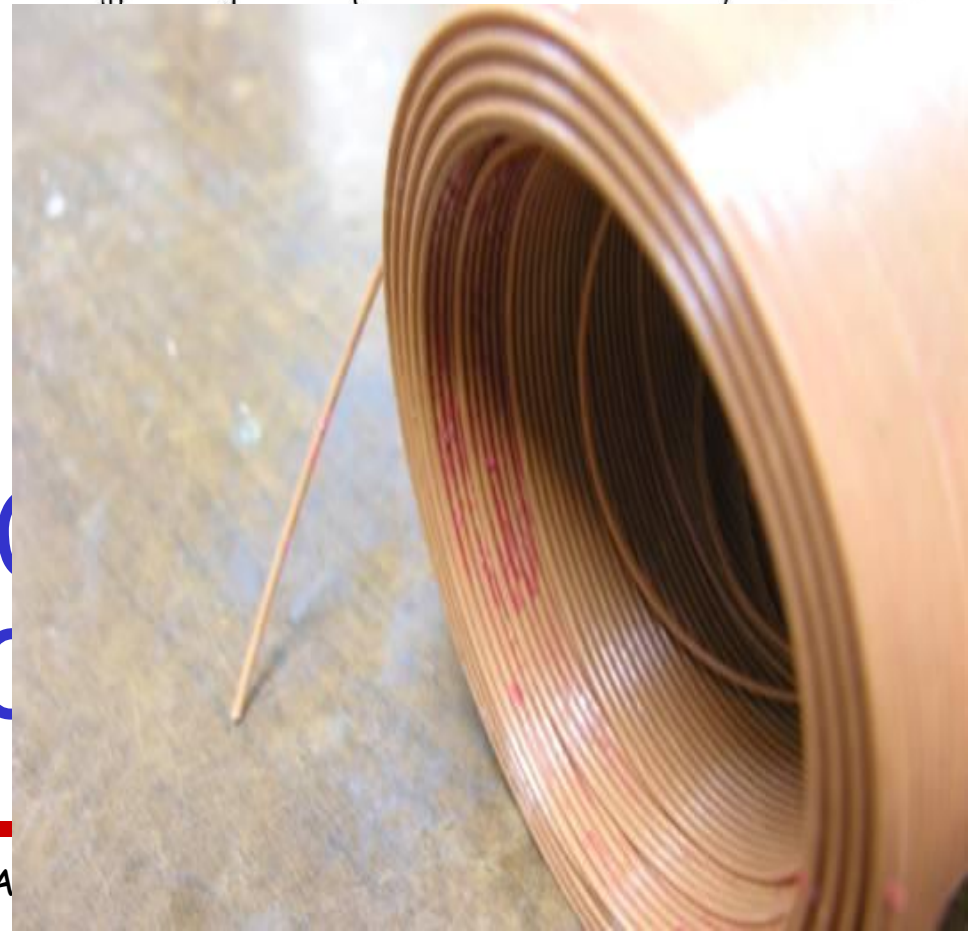
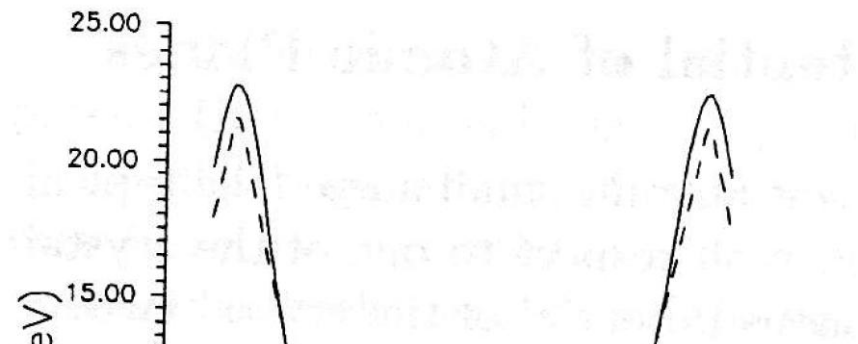
Leemans & Esarey, Physics Today (March 2009)



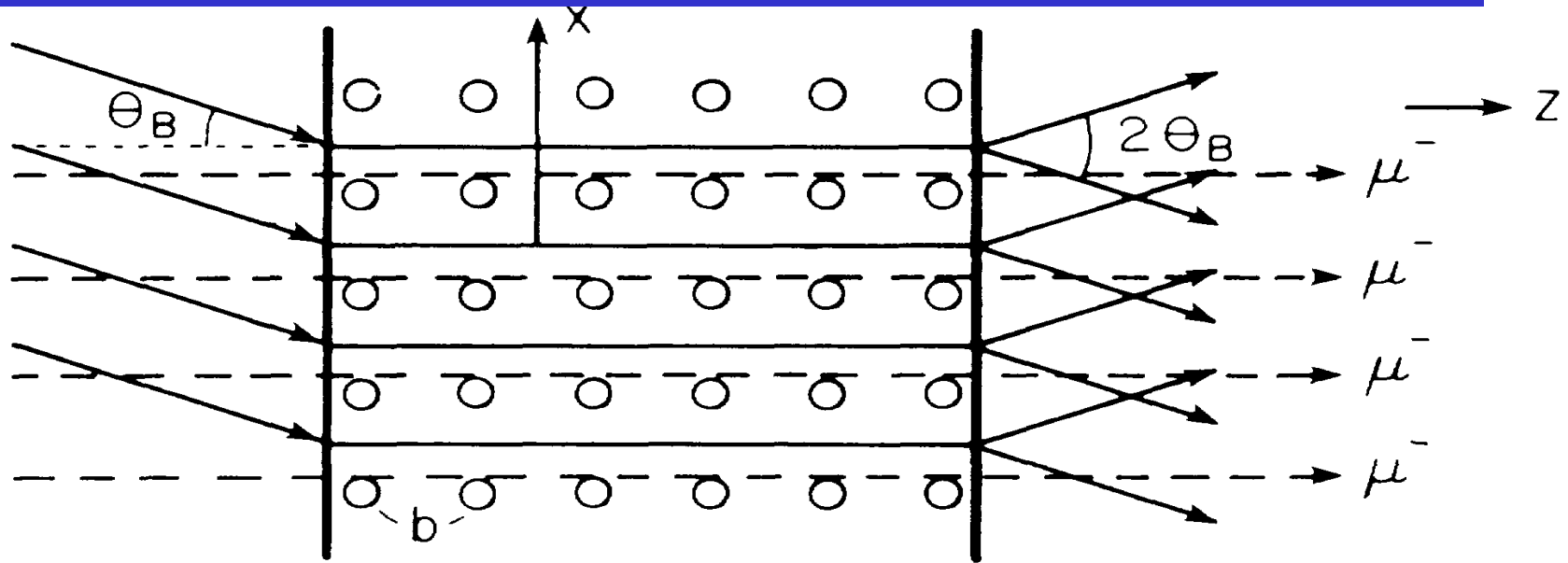
Микро(Нано) Ускоритель



$20\text{В}/\text{Ангстрем} = 0.1\text{МэВ}$
 $50\text{км для } 10\text{МэВ}$



Crystal Excitation by X-Rays



Tajima, Cavenago, Phys. Rev. Lett. 59 (1987), 1440

FIG. 1. Bormann anomalous transmission. When the x rays are injected at the Bragg angle, the Bormann effect takes place. Particle beams are injected along the crystal axis.

- Need 40keV high peak power x-rays
 - now available from SASE FELs like LCLS
- Muons preferred
 - bremsstrahlung
- Gradients $>1\text{GV/cm}$
- μ^+ rad length 10^9 cm
 - total energy $\sim 10^9\text{ GeV}$

Serious Limit = Power Consumption

“Knowledge $\propto$ Power”

“Power $\propto$ Money”...

literally so for accelerators:

Tevatron (2TeV)	20 MW
LHC (7+ TeV)	120 MW
$\mu\mu$ Collider(4TeV)	140 MW
ILC(0.5TeV)	230 MW
CLIC(3TeV)	420 MW
LaserPlasma xTeV	?? GW

Возможный подход

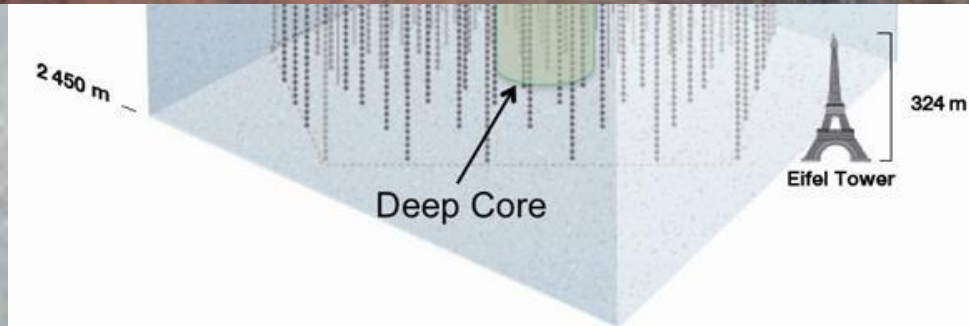
Отказ от пучков $\rightarrow$ 1+1 частица

Получить надо только Энергию

Скажем 10,000 TeV+10,000 TeV

Маленький ускоритель+большой
детектор (атмосф или лед)

Детекторы Космических Частиц



Спасибо за внимание !

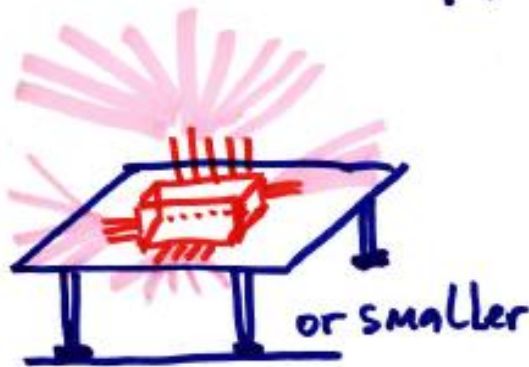
Проблема коллайдеров: L vs E

What do HEP folks want?



$$\sigma_{\text{QED}} = \frac{90 \text{ fb}}{\text{s}} \rightarrow \mathcal{L} \propto E_{\text{cm}}^2 \quad \begin{array}{l} 1 \text{ TeV} \rightarrow 10^{32} \\ 10^3 \text{ TeV} \rightarrow 10^{38} \end{array}$$

What Accelerator geniuses can (suggest)?



X
MANY

$$\mathcal{L} = \frac{f_{\text{rep}} \cdot N_{\text{bunches}} \cdot N_p^2}{4\pi \sigma^2} = \underbrace{\left[\frac{f_{\text{rep}} \cdot N_p \cdot N_b}{4\pi p^*} \right]}_{\text{beam power}} \cdot \underbrace{\left[\frac{N_p}{\epsilon} \right]}_{\text{BRIGHTNESS}}$$

$$\text{Power} = \eta \cdot P_{\text{WALL}}$$

$$\rightarrow P_{\text{WALL}} \leq (\text{MAX}), \quad \eta \propto E_{\text{cm}}^{-1/3} \dots -1/5$$

$$\rightarrow [\text{Brightness}] \sim \text{CONST}$$

$$\text{Best case } \mathcal{L} = 1 \text{ MHz} \cdot \frac{(10^5 \text{ particles})^2}{(1 \text{ \AA})^2} = 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

That Leads to New Paradigm

