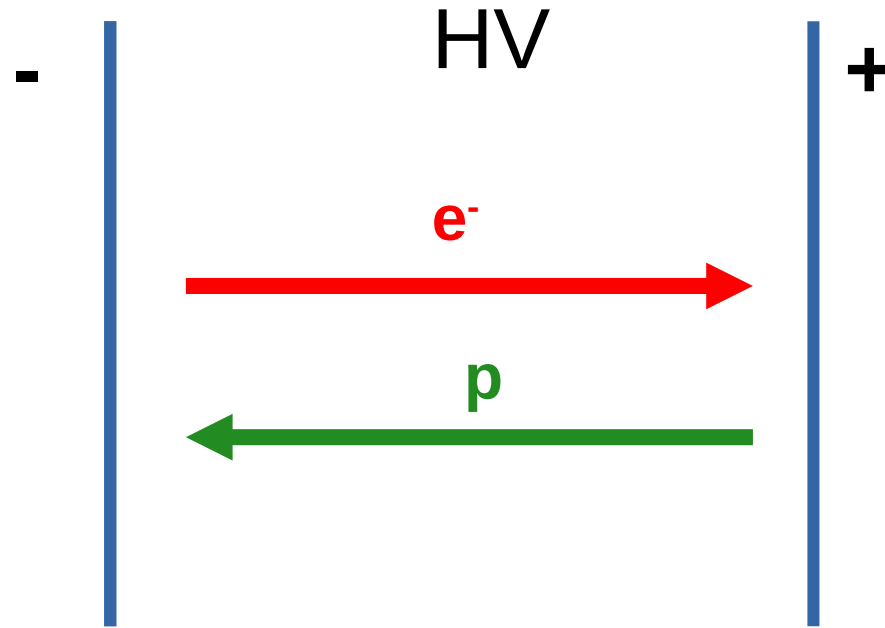


Ускорительные центры мира

Жемчугов Алексей Сергеевич
ОИЯИ, г.Дубна

Циклотроны и синхротроны

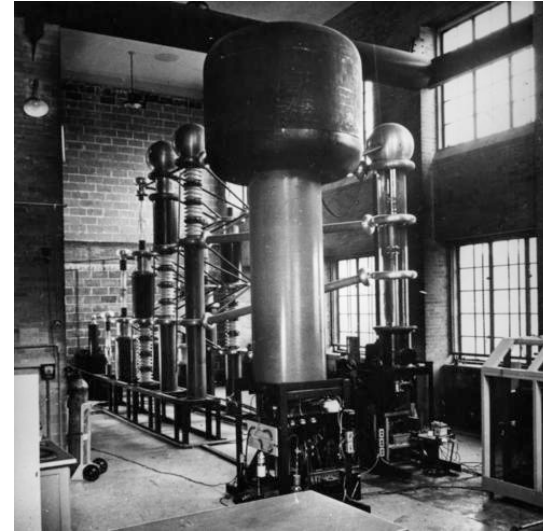
Принцип ускорения заряженных частиц





Ускоритель Кокрофта-Уолтона (1932)

Получение высокого напряжения
путем сложения импульсов



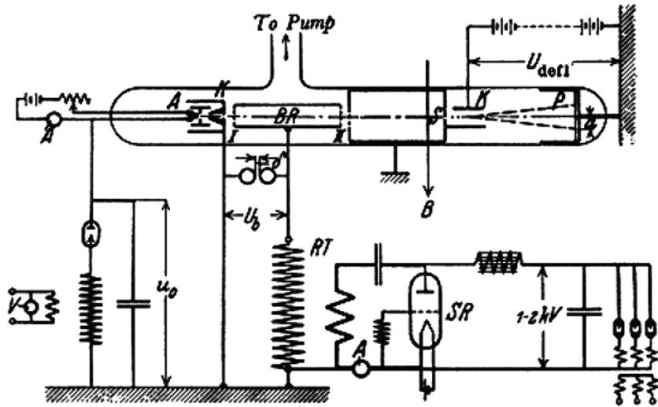
Ускоритель Ван-де-Граафа (1929)

Получение высокого напряжения путем
накопления большого заряда в большом
конденсаторе

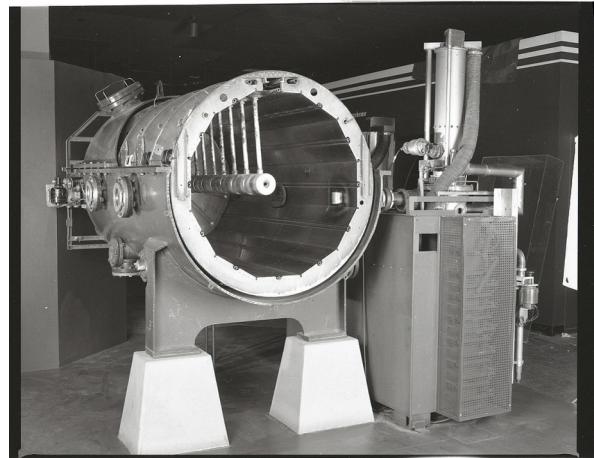
Трудно получить напряжение выше нескольких миллионов вольт!

Линейный ускоритель

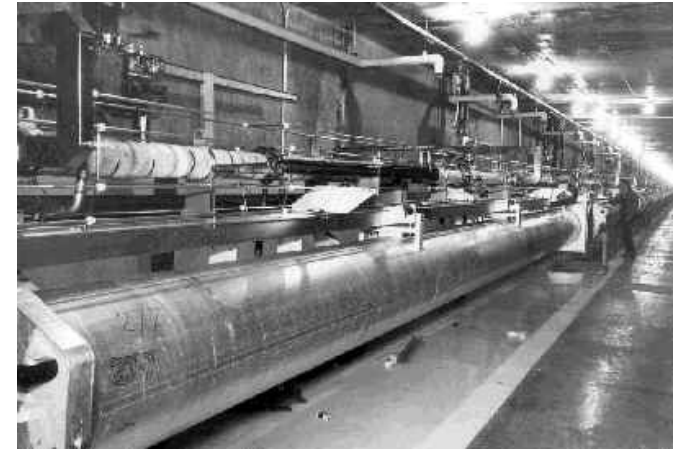
Можно сделать несколько (или много) ускоряющих промежутков!



Wideroe, PhD thesis, 1927

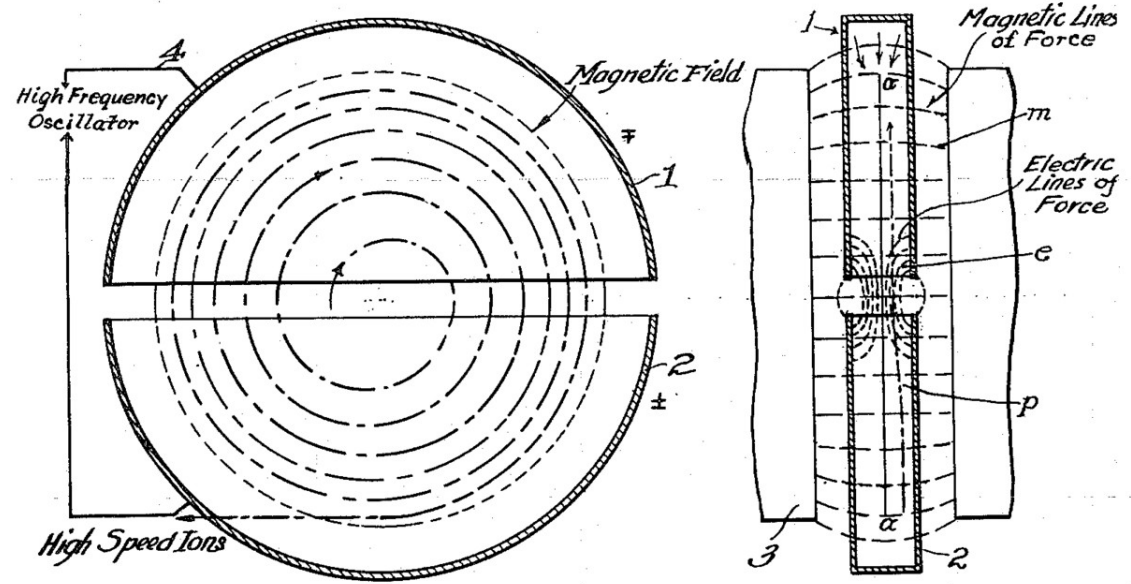


Протонный ускоритель
Альвареца, 1947



SLAC Two-Mile Linear
Accelerator, 1962

Циклотрон

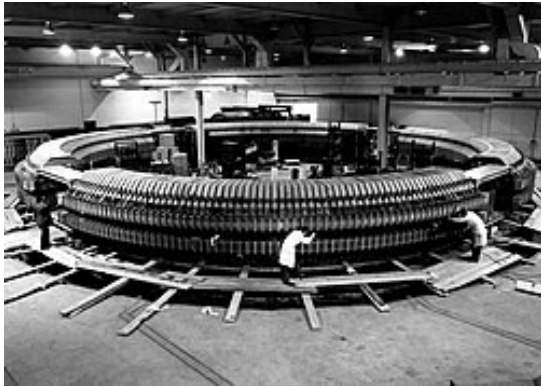


Лоуренс, 1932

Размер камеры для энергий выше нескольких сотен МэВ
получается слишком большим

Синхротрон

- А если с каждым оборотом делать магнитное поле сильнее?
- Принцип автофазировки (Векслер, 1944; МакМиллан, 1945):
 - Условие образования сгустков частиц при движении в электрическом поле в ВЧ-резонаторе
- Можно ускорять сгустки частиц на кольцевой орбите, подстраивая магнитное поле



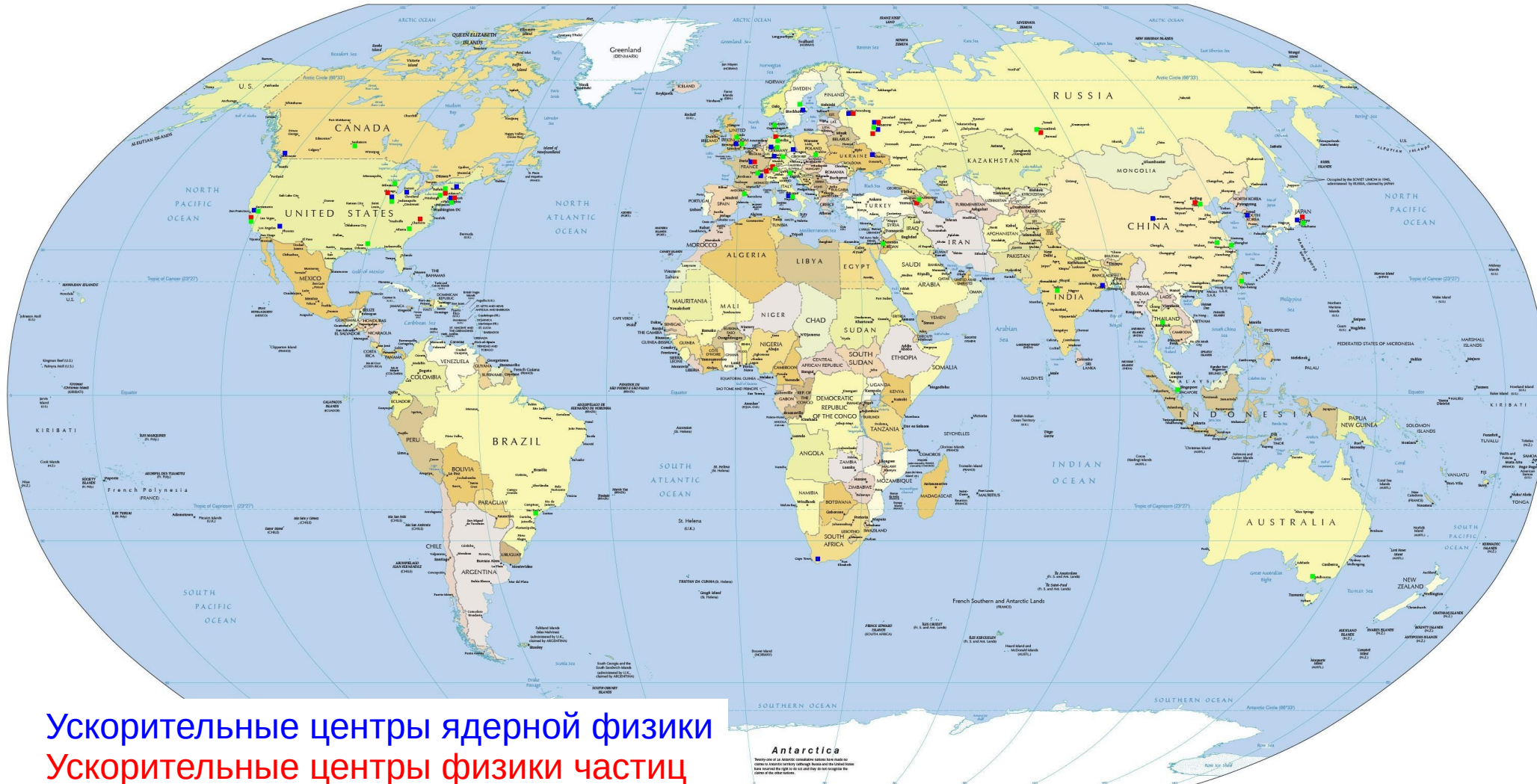
Космотрон, 1953
3.3 ГэВ

Синхрофазотрон, 1957
10 ГэВ



LHC, 2010
3.5 ТэВ

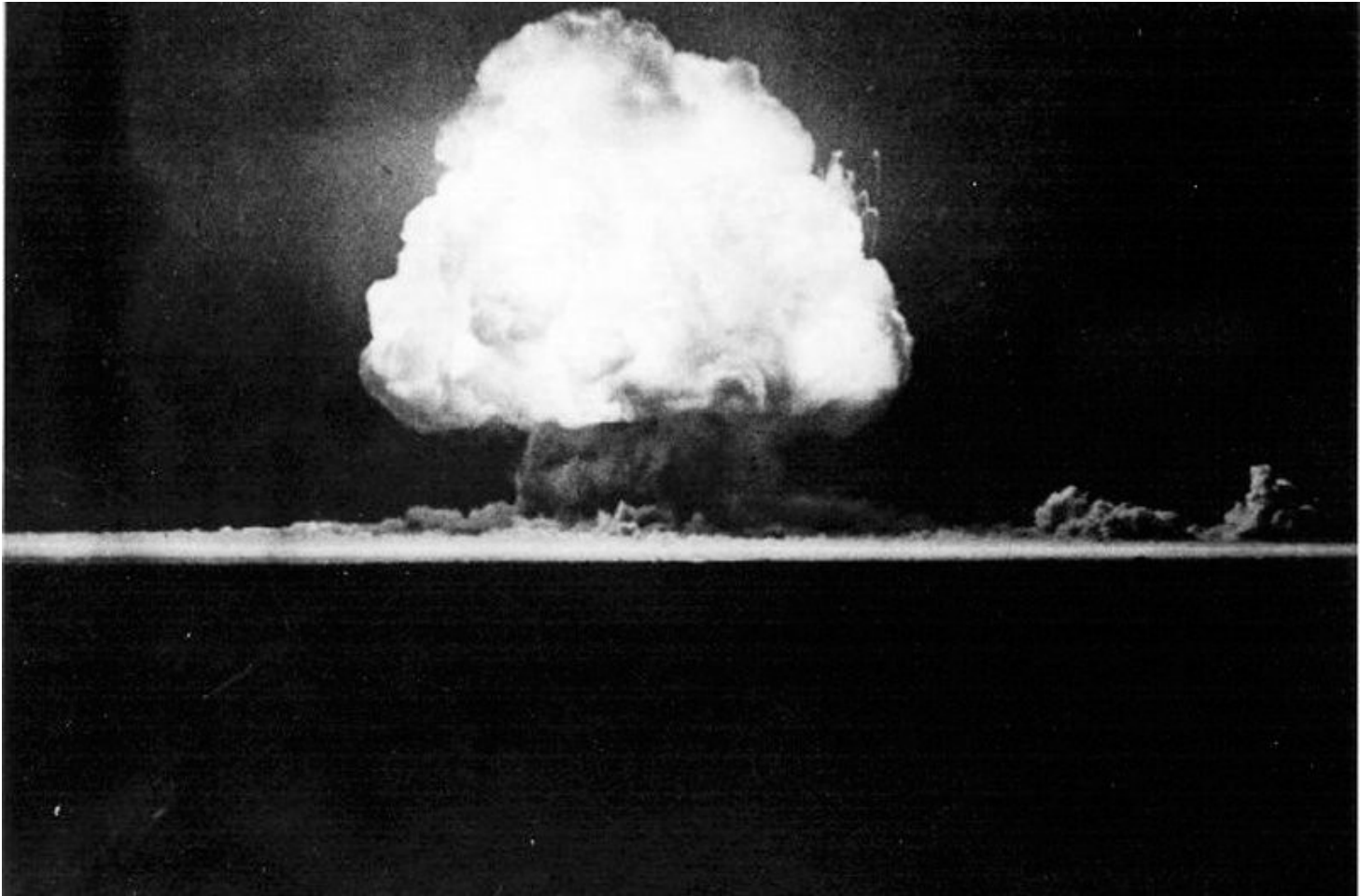




Ускорительные центры ядерной физики
Ускорительные центры физики частиц
Источники СИ

Ускорительные центры США

- BNL
- SLAC
- FNAL
- JLAB
- ANL
- Cornell
- LBL
- LANL
- Michigan



16 июля 1945 года

VNL (Брукхейвен, штат Нью-Йорк)

- Космотрон (1952-1966) — 3,3 ГэВ
 - Открытие K ,
 - Нарушение P и CP -четности
- AGS (1960 — н/в) — 33 ГэВ
 - Открытие ν_μ , Ω^- , ϕ , Ξ , Σ -гиперонов, J/ψ
- RHIC (2000 — н/в) — коллайдер тяжелых ионов
 - Наблюдение кварк-глюонной плазмы
- EIC -??

1947



SLAC (Стенфорд, Калифорния)

- SLAC, 3.2 км, 20 - 50 ГэВ (1962 — н/в)
 - Открытие партонов
- Коллайдер SPEAR (1972-1990) — 3-4 ГэВ
 - Открытие тау-лептона
 - Открытие J/ψ
- Коллайдер PEP (1980-1990) — 29 ГэВ
- Коллайдер SLC (1990-1998) — 90 ГэВ
 - Эксперимент SLD и изучение Z-бозона
- PEP-II — B-фабрика 9 ГэВ+3.1 ГэВ (1998 - 2008)
 - BaBar
- Программа исследований по физике частиц на ускорителях в SLAC закрыта. Осталась только программа СИ и выездные эксперименты.

1962



FNAL (Батавия, штат Иллинойс)

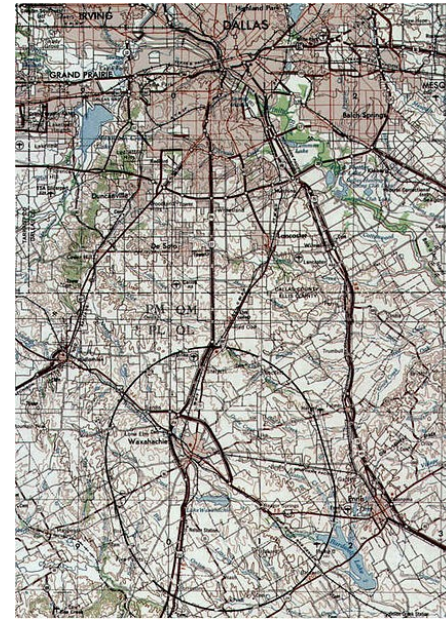
- Main Ring (1976 — 1981) 500 ГэВ
 - b -кварк (E228, 1977)
- Energy Doubler (1983-2001) 512 ГэВ
- Тэватрон (1986-2011) 0.98+0.98 ТэВ
 - t -кварк (D0, CDF, 1998)
 - тау-нейтрино (DONUT, 2000)
 - Ω_b^- -барион (2008)
- После закрытия Тэватрона переориентирован на нейтринную программу

1969



SSC

- Протонный коллайдер 20+20 ТэВ
- 87.1 км
- В 1987 году стоимость оценивалась в 4400 М\$
- К началу 90х стоимость выросла до 12000 М\$
- Проект закрыт решением конгресса США в 1993 году, когда 22 км туннеля были построены и 2000 М\$ израсходовано на оборудование и НИОКР



CERN

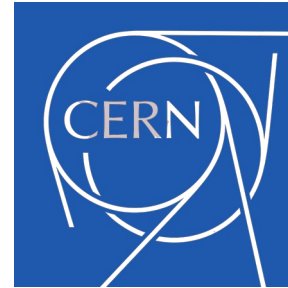
Atoms for Peace

8 декабря 1953



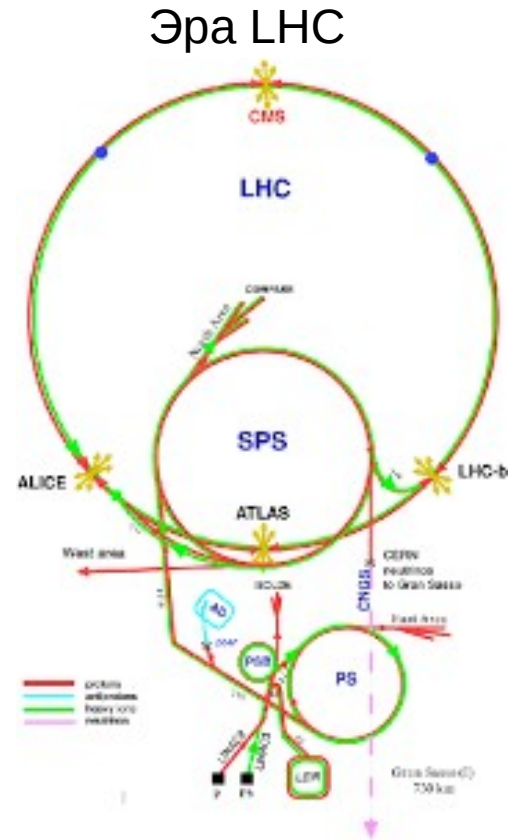
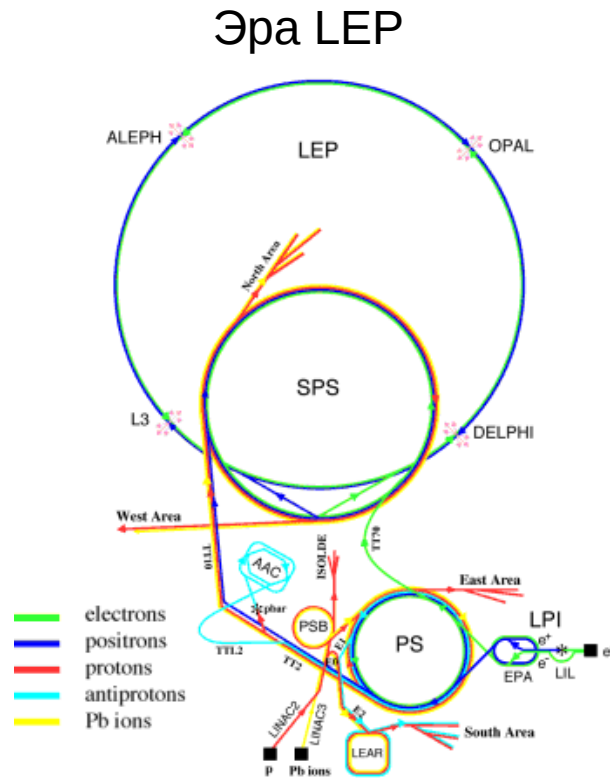
CERN

29 сентября 1954



Ускорители CERN

- Циклотрон (1957-1990) 600 МэВ
- PS (1959 — н/в) 24 ГэВ
 - Открытие антидейтрона
 - Открытие нейтрального тока
- ISR (1971-1984) 62 ГэВ
- SPS (1976 — н/в) 450 ГэВ
- Коллайдер $SP\bar{P}S$ (1981-1991)
 - Открытие W, Z
- LEP (1989-2000)
 - Изучение W,Z
- LEAR (1982-1996)
- LHC (2010 — н/в)
 - Открытие H, пентакварков
 - Тесты CM
- FCC/CLIC - ??





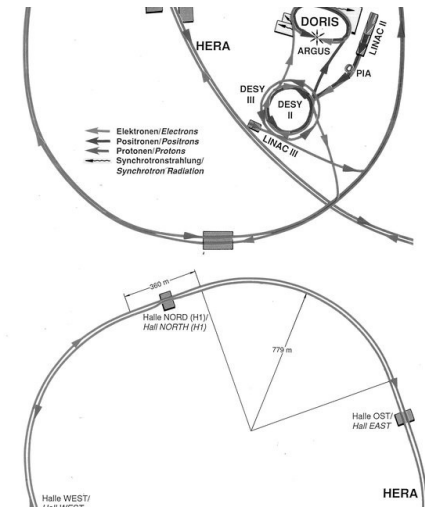


DESY

1959

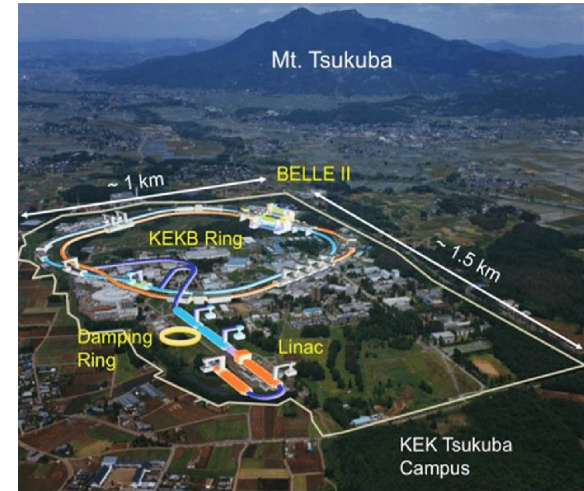


- DESY (1964-н/в) 7.4 ГэВ
- e^+e^- коллайдер DORIS (1974-1993) 7-10 ГэВ
- PETRA (1978-1990) 30-46 ГэВ
 - Открытие глюона
- ер коллайдер HERA (1992-2007) протоны 920 ГэВ; e^+/e^- 27.5 ГэВ
 - Структура нуклона, измерение PDF
- Программа исследований по физике частиц на ускорителях в DESY закрыта. Осталась только программа СИ (PETRA-III, XFEL) и выездные эксперименты.



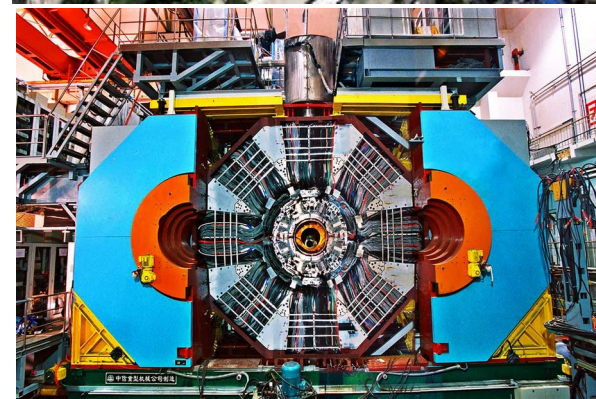
KEK

- Proton Synchrotron (1976-2007) 8-12 ГэВ
 - Нейтринный пучок
- TRISTAN (1986-1995) 25.5+25.5 ГэВ
- KEKB (1998-2010) В-фабрика
 - BELLE
- SuperKEKB (2016-н/в) 7+4 ГэВ
 - BELLE-II
- J-PARC (2009-н/в) 50 ГэВ



ИФВЭ АН КНР

- Протонный синхротрон на 50 ГэВ — не построен
- BEPC (1989-2004)
 - BES
 - BESII
- BEPCII (2009-н/в) 2.5-4.9 ГэВ, с-tau фабрика
 - BESIII
- CEPC? STCF?



Ускорительные центры СССР РФ

- ГТЛ и ЭФЛАН (Дубна)
- ИТЭФ
- ИФВЭ
- ИЯФ СО РАН
- ЛИЯФ/ПИЯФ
- ИЯИ
- ФИАН
- ТПИ (Томск)
- ХФТИ (Украина)
- ЕрФИ (Армения)
- СФТИ (Абхазия)

ИЯФ СО РАН

1958

- ВЭП-1 (1963-1968)
- ВЭПП-2 (1965-1972)
- ВЭПП-2М (1974-2000)
- ВЭПП-4М () 6+6 ГэВ
 - Точные измерения масс $J/\psi, \psi', \psi''$, тау
- ВЭПП-2000
 - Измерение R-отношения в области 2 ГэВ



ИФВЭ

1963

- У-70 (1967 — н/в) 70 ГэВ
- Около 200 экспериментов:
 - Наблюдение антигелия-3
 - Рост полного сечения сильного взаимодействия с энергией (Серпуховский эффект)
 - Открытие $f_4(2050)$ мезона
- С 2012 года в составе Курчатовского института



УНК

- Протонный коллайдер 3+3 ТэВ
- Длина кольца 21 км
- Строительство начато в 1983 году
- В 1994 году после завершения проходки туннеля и монтажа линии транспортировки У-70-УНК строительство остановлено

