

Национальная ускорительная лаборатория SLAC

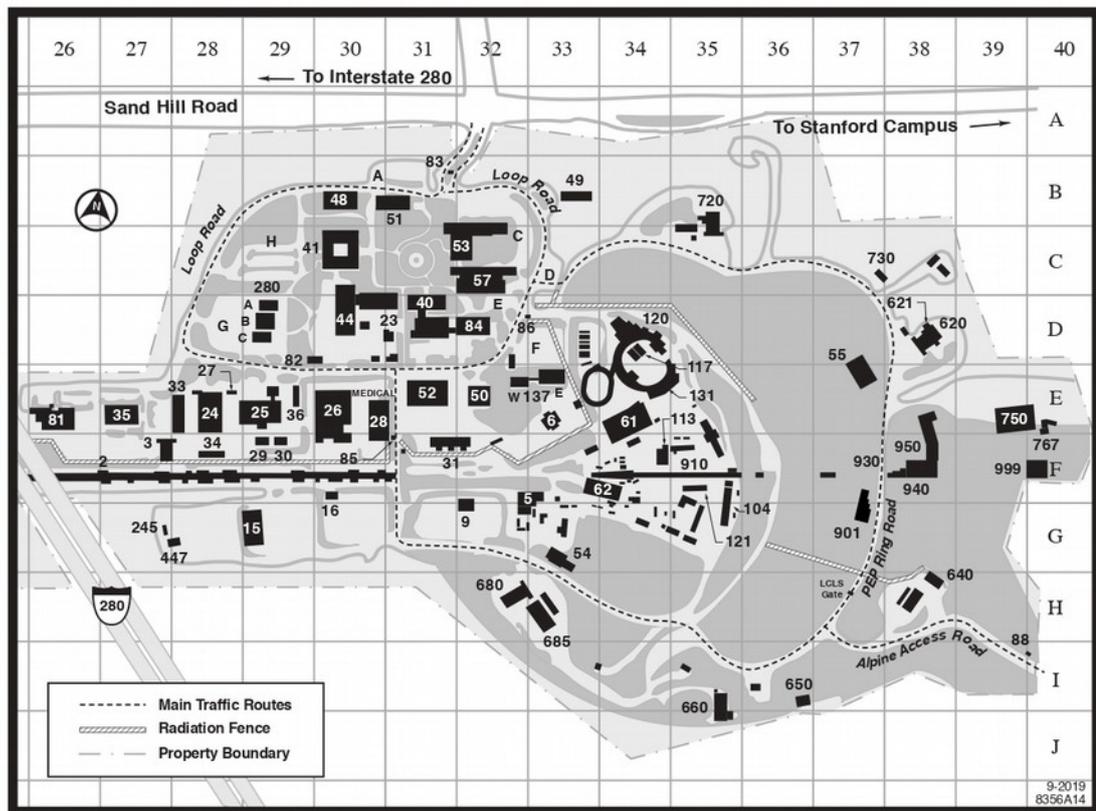
Реферат составил Бобылев Д., группа 113М.

2021 г.

Содержание

История лаборатории.....	4
Ранние линейные ускорители.....	4
Установки SLAC.....	6
CBX.....	6
Стэнфордский линейный ускоритель.....	7
SPEAR.....	7
PEP.....	8
SLC.....	8
PEP-II.....	8
LCLS.....	8
FACET.....	9
NLCTA.....	9
«Микро-ускоритель».....	9
Использованные источники:.....	11

Национальная ускорительная лаборатория SLAC (до 2008 года — Центр Стэнфордского линейного ускорителя, SLAC) — одна из семнадцати национальных лабораторий Министерства энергетики США, оператором которой является Стэнфордский университет, осуществляющий исследования по программе Агентства по науке Министерства энергетики США.



SLAC Area Map

	Building Number	Grid Number		Building Number	Grid Number
Administration and Engineering Building (A&E)	41	30-C	Main Control Center (MCC)	52	31-E
Alpine Gate Entrance (automated gate badge required)	88	40-I	Main Gate (Information Booth)	83	31-B
Arrillaga Recreation Center	55	37-D	Master Substation	16	30-F
Arrillaga Science Center	57	32-C	Medical (room 11)	28	30-E
Auxiliary Control Building	3	27-F	Metal Stores Shelter	29	29-F
Beam Switch Yard Access	9	32-G	Orientation Theater	53	32-C
Central Hazardous Waste Management Area	245	27-G	Operations Support Building	53	28-E
Central Laboratory	40	31-D	Panofsky Auditorium	53	32-C
Central Laboratory Annex	84	32-D	Parking Lots	A and C to H	
Central Utility Building	23	31-D	PEP Beam Facility/SSRL	650	36-I
Chemical Storage Building	36	29-E	PEP Beam Facility/SSRL	730	37-C
Cleaning Facility Building	30	29-F	PEP Control Room	685	33-H
Collider Experimental Hall (CEH)	750	39-E	PEP Interaction Region 2 (IR-2)	620	38-D
Communications Office	53	32-C	PEP Interaction Region 4 (IR-4)	620	38-H
Computer Building (SCS)	50	32-E	PEP Interaction Region 6 (IR-6)	660	35-I
Control Building	34	28-F	PEP Interaction Region 8 (IR-8)	680	32-H
Cryogenics Laboratory	6	33-E	PEP Interaction Region 12 (IR-12)	720	35-B
End Station A (ESA)	61	34-E	Physics and Engineering Building	280	29-D
End Station B (ESB)	62	34-F	Plant Maintenance and Utilities	35	27-E
Environmental Safety and Health (ES&H)	24	28-E	Power Conversion	15	29-G
Experimental Facilities Department Shops (EFD)	104	35-F	Research Office Building (ROB)	48	30-B
Gate 17 (automated gate badge required)	86	33-D	Research Support Building	52	31-E
General Services Building (Shipping & Receiving)	81	26-E	Science User Support Building (SUSB)	53	32-C
Hazardous Waste Storage Area	447	28-G	Sector 30 Guard House (automated gate badge required)	85	31-F
Heavy Fabrication Building	26	30-E	Security	53	32-C
International Services Office	53	32-C	SLAC Café	53	32-C
Kavli Building	51	31-B	Smart Grid Lab	27	28-E
Klystron Gallery (Visitors Alcove, Sector 27)	2	27-F	SPEAR Control Room	117	34-D
Laboratory Offices and Shops (LOS)	137	33-E	Stanford Guest House	49	33-B
LCLS Beam Transport Hall	910	33/34/35-F	Stanford Research Computing Facility	54	33-G
LCLS Far Experimental Hall	999	40-F	Stanford Synchrotron Radiation Lab (SSRL)	120	34-D
LCLS Far Experimental Hall Tunnel Entrance	767	40-E	Stanford Synchrotron Radiation Lab (SSRL)	131	34-E
LCLS Gate		37-H	Test Beam Facility	121	35-F
LCLS Near Experimental Hall	930/940/950	37/38-F	Test Laboratory	44	30-D
LCLS Office Building	901	37-G	User Support	53	32-C
Light Assembly Building	33	28-E	Vacuum Assembly Building	31	31-F
Light Fabrication Building	25	29-E	Visitor, User, Employee Center (VUE)	53	32-C

Рис. 1. Схема части комплекса SLAC.

История лаборатории

Лаборатория основана в 1962 году на территории Стэнфордского университета.

Учёные в SLAC были награждены тремя Нобелевскими премиями по физике:

- 1976: Открытие С-кварка и J/ψ -мезона (Бертон Рихтер)
- 1990: Изучение структуры кварков внутри протона и нейтрона (Ричард Тейлор)
- 1995: Открытие Тау-лептона (Мартин Перл)

Ранние линейные ускорители

В 1940-х годах возникли линейные ускорители электронов, которые привели к созданию 2-мильного ускорителя в Стэнфордском центре линейных ускорителей. На рис. 2-4 показана серия ускорителей под названием Mark I-IV.

Стэнфордский линейный ускоритель электронов на бегущей волне Mark I длиной 3,6 м смог разогнать электроны до энергии 6 МэВ.



Рис. 2. Секция ускорителя Mark I.

За Mark I в 1949 году последовал Mark II, который был прототипом одной из частей запланированной, гораздо более крупной машины Mark III. Mark II был впервые успешно запущен в октябре 1949 года. Опытный образец ускорителя Mark II работал с новыми компонентами, в том числе с новым мощным клистроном.

Mark III впервые заработал 30 ноября 1950 года. В то время был собран 30-футовый ускоритель, снабженный тремя клистронами. Каждый клистрон

обеспечивал в среднем восемь мегаватт микроволновой мощности, и эта операция обеспечила электронный пучок энергии около 75 МэВ.

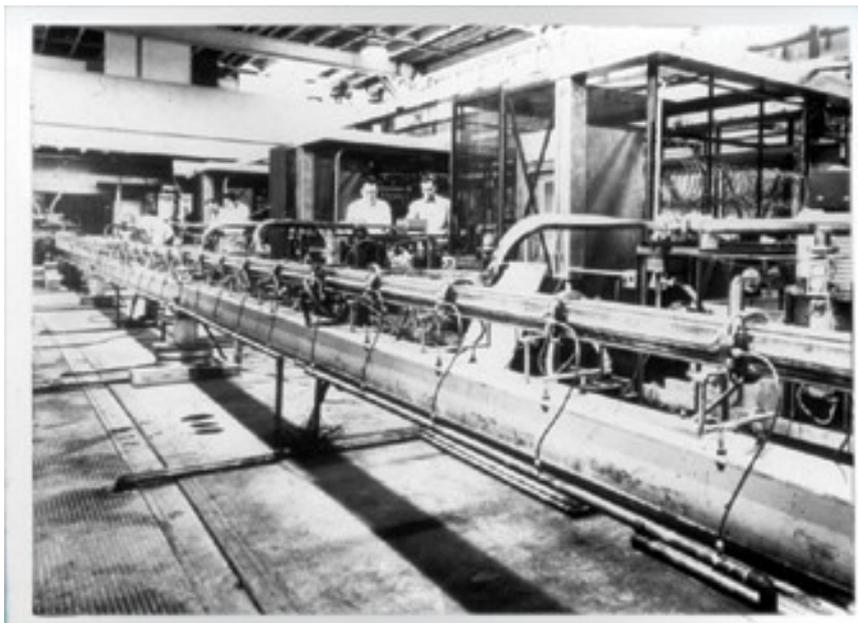


Рис. 3. Ускоритель Mark III: первые секции ускорителя Mark III в Стэнфорде.

В 1954 году при поддержке Комиссии по атомной энергии США Стэнфорд начал строительство 20-футового исследовательского ускорителя с энергией 80 МэВ. В начале 1960-х годов Mark IV широко использовался в качестве прототипа двухмильного ускорителя и для тестирования некоторых его компонентов.



Рис. 4. Ускоритель Mark IV.

Установки SLAC

СВХ

Princeton-Stanford Colliding Beams eXperiment — один из первых в мире коллайдеров (наряду с AdA в Италии и ВЭП-1 в СССР), который начал сооружаться совместными усилиями физиков Принстонского и Стэнфордского университетов ещё до учреждения лаборатории SLAC. СВХ представляет собой двухколечный электрон-электронный коллайдер на энергию 500 МэВ, работавший в 1963-1967 годах для проверки экспериментов на встречных пучках.

В 1957 году Джерард О'Нил из Принстона посетил лабораторию SLAC и предложил построить установку со встречными пучками электронов. В 1958 году Вольфганг Панофский сумел добиться выделения финансирования в размере 800 тыс. долларов от подразделения Министерства обороны Office of Naval Research, и в 1959 году началось сооружение установки. В 1962 году все системы коллайдера были собраны воедино. Основными участниками работ были В. Gittelman, W.C. Barber, Б. Рихтер и Д. О'Нил.

СВХ представлял собой два соприкасающихся слабофокусирующих электронных синхротрона на энергию до 550 МэВ. Каждое кольцо состояло из четырёх 90-градусных магнитов с градиентом поля и четырёх прямолинейных промежутков, один из которых был общим для колец, где происходили столкновения пучков электронов. Инжекция пучков производилась из существовавшего линейного ускорителя MARK-III. Одной из самых сложных систем оказалась вакуумная камера, на тот момент самый большой в мире объём сверхвысокого вакуума ($\sim 2 \text{ м}^3$, $< 10^{-9}$ торр).

Первые наблюдения рассеянных электронов появились летом 1963 года, результаты опубликованы в 1965 году, на год позже публикации результатов коллайдера ВЭП-1. В 1967 году экспериментальная программа СВХ была завершена. Лаборатория сосредоточилась на создании большого электрон-позитронного коллайдера SPEAR.

Достижения СВХ:

- Основным назначением была проверка квантовой электродинамики вплоть до малых расстояний, а также возможности использования встречных пучков для экспериментов по физике высоких энергий. Обе задачи были успешно выполнены.
- Максимальный накопленный ток в сгустке (в режиме без столкновений) достигал 600 мА, что до сих пор, возможно, не превзойдено.

- На СВХ впервые наблюдались когерентные неустойчивости взаимодействующих встречных сгустков.

Стэнфордский линейный ускоритель

Линейный ускоритель электронов и позитронов длиной 2 мили (3.2 км) на энергию до 50 ГэВ, запущен в 1966 году.

Для достижения энергии в 50 ГэВ частицы проходят около 80 000 ускоряющих промежутков. Этот ускоритель работал в режиме коллайдера, когда пучок электронов с энергией 50 ГэВ сталкивается с пучком позитронов такой же энергии.

Расположен под землёй на глубине 9 м, на поверхности над тоннелем находится клистронная галерея, считающаяся самым длинным зданием США. Ускоритель в разное время использовался для множества разнообразных экспериментов по физике частиц.



Рис. 5. Стэнфордский линейный ускоритель.

SPEAR

Электрон-позитронный коллайдер SPEAR (англ. *Stanford Positron Electron Asymmetric Rings*) на энергию до 3,5 ГэВ работал с 1972 по 1990 годы. После модернизации преобразован в источник синхротронного излучения SPEAR2, затем SPEAR3.

Первый проект коллайдера был представлен в 1964 году командой под руководством Бёртона Рихтера. Первоначально коллайдер должен был представлять собой два кольца с асимметричным столкновением. В течение последующих лет вследствие серии отказов в финансировании проект урезался, и превратился в одно кольцо на энергию до 2.4 ГэВ. Строительство началось в 1970 году, и было завершено в течение 20 месяцев в 1972 году. В следующем 1973 году начался набор данных. Максимальная светимость машины достигала $1.2 \times 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. В 1980 году в лаборатории SLAC был запущен коллайдер PEP на энергию 29 ГэВ в пучке, и некоторое время коллайдеры работали параллельно. Физическая программа SPEAR была завершена к 1990 году, что совпало с запуском нового, линейного коллайдера SLC.

На SPEAR в ноябре 1974 года был открыт J/ψ -мезон, за что Нобелевской премией (1976) был отмечен Рихтер. Одновременно и независимо этот мезон был открыт в Брукхейвенской лаборатории. В 1995 году за открытие тау-лептона на коллайдере SPEAR Нобелевская премия была вручена Мартину Перлу.

С самого начала на кольце коллайдера был заложен вывод синхротронного излучения (СИ) из поворотного магнита для экспериментов по материаловедению в "паразитном" режиме. После обнаружения J/ψ -мезона работа коллайдера была долгое время сосредоточена вокруг энергии 1.55 ГэВ, что было далеко от максимальной энергии синхротрона, на которую рассчитывала команда СИ. С 1990 накопитель перешёл полностью на работу для пользователей СИ, для чего был модернизирован (т.н. источник СИ 2-го поколения) и получил название SPEAR2. В 2004 году после глубокой модернизации начал работу обновлённый синхротрон SPEAR3. Энергия пучка 3 ГэВ, ток 500 мА, эмиттанс 18 нм.

PEP

Positron-Electron Project — электрон-позитронный коллайдер на энергию 29 ГэВ в пучке, работал в 1980-1990 годах, параллельно со SPEAR. На коллайдере в период расцвета работало до 6 детекторов одновременно.

SLC

SLC, Stanford Linear Collider — единственный в мире линейный электрон-позитронный коллайдер, работавший в 1988-1998 годах. Энергия позволяла изучать Z-бозон с массой 90 ГэВ. Однако в те же годы в ЦЕРНе заработал Большой электрон-позитронный коллайдер в том же диапазоне энергий, но с более высокой светимостью.

PEP-II

Электрон-позитронный коллайдер, состоявший из двух колец с асимметричной энергией, на очень высокую энергию, т.н. В-фабрика. Начал сооружаться в 1994 году, работал в 1999-2008 с детектором BaBar, в конкуренции с В-фабрикой KEKB в Японии.

LCLS

Linac Coherent Light Source — первый в мире рентгеновский лазер на свободных электронах, основанный на явлении самоусиления спонтанного излучения (SASE). LCLS использует часть основного линейного ускорителя лаборатории, первая генерация получена в 2009 году. В настоящее время идёт модернизация LCLS-II, с заменой линейного ускорителя на сверхпроводящие ускоряющие модули.

FACET

Facility for Advanced Accelerator Experimental Tests — установка, использующая часть основного линейного ускорителя SLAC с энергией до 20 ГэВ, для проведения ряда экспериментальных работ, в том числе по плазменному ускорению. Работала в 2012-2016 годах. Как FACET-II будет функционировать вместе с LCLS-II после модернизации.

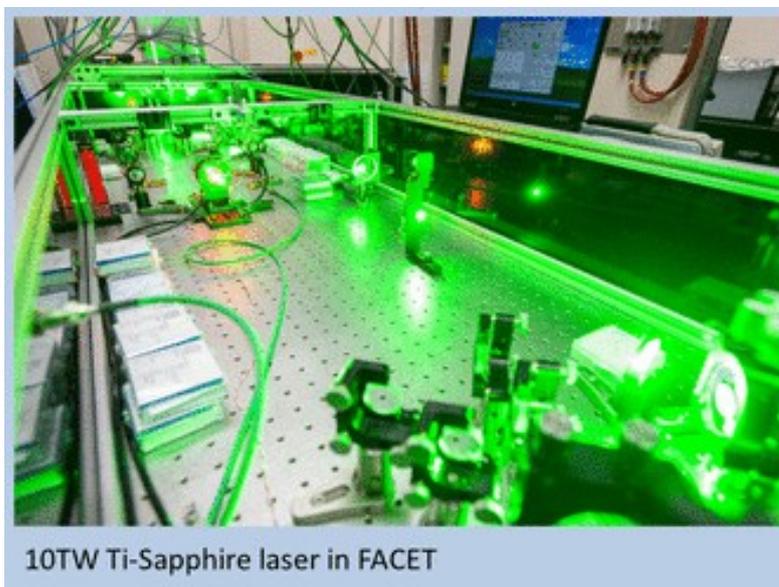


Рис. 6. Титан-сапфировый лазер FACET.

NLCTA

Next Linear Collider Test Accelerator — электронный линейный ускоритель на энергию до 120 МэВ для экспериментов по физике ускорителей.

«Микро-ускоритель»

В 2020 году в Стэнфордском университете разработан принципиально новый ускоритель частиц, который помещается на микрочипе. Его длина составляет 30 мкм. Ускоритель представляет собой трубку нанометровых размеров, сделанную из кремния, окружённую слоем вакуума. Электроны в трубке ускоряются импульсами инфракрасного лазера.

Энергия, которую приобретают электроны, составляет около 1 МэВ.

Главное преимущество данного ускорителя – малый размер и малая площадь облучения. Ускоритель может использоваться для различных медицинских операций, например, для лечения раковых опухолей.

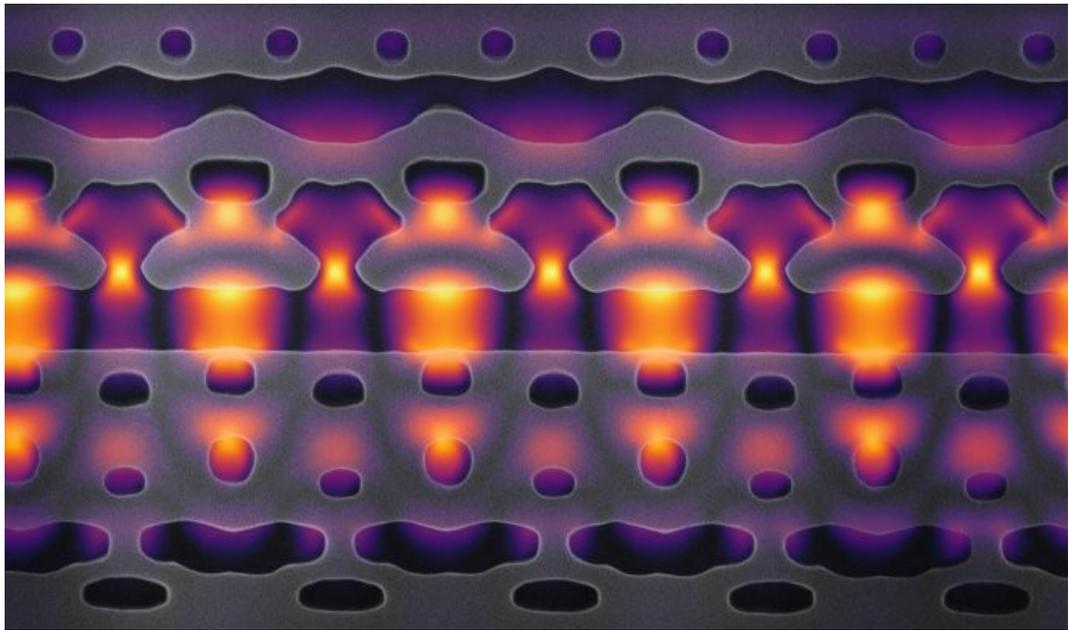
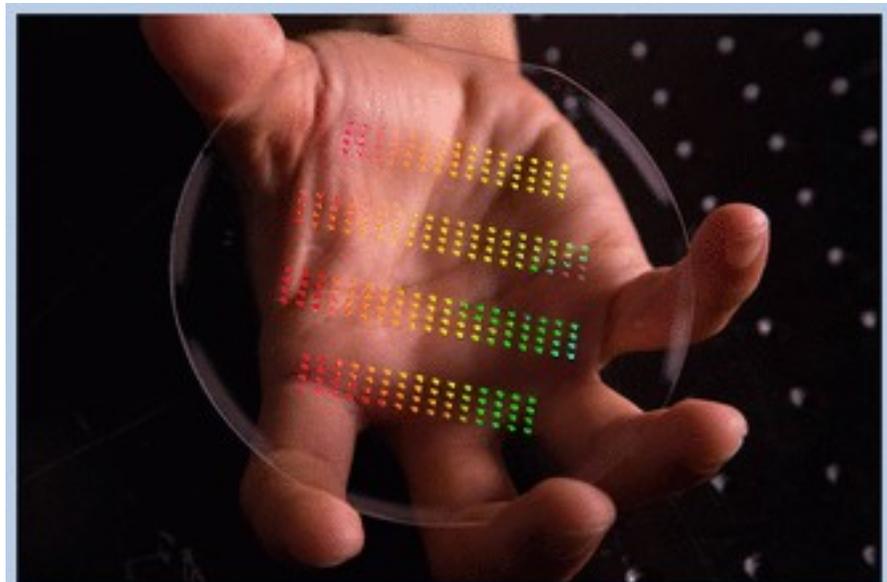


Рис. 7. Схематичное изображение «микро-ускорителя».



Accelerator on a chip arrays prior to assembly

Рис. 8. «Микро-ускоритель».

Использованные источники:

- 1) https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F SLAC (Национальная ускорительная лаборатория SLAC, Материал из Википедии — свободной энциклопедии).
- 2) https://portal.slac.stanford.edu/sites/ard_public/facet/Pages/default.aspx (SLAC).
- 3) http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/accelerators/linear_ac.htm (Линейный ускоритель, ядерная физика в Интернете).
- 4) <https://www.techcult.ru/science/7750-uskoritel-chastic-kotoryj-umeshaetsya-na-mikrochipe> («В Стэнфорде разработали ускоритель частиц, который умещается на микрочипе», 2020).
- 5) <https://lenta.ru/news/2014/11/05/slac/> («Физики предложили в 150 раз сократить длину ускорителя частиц», 2014).