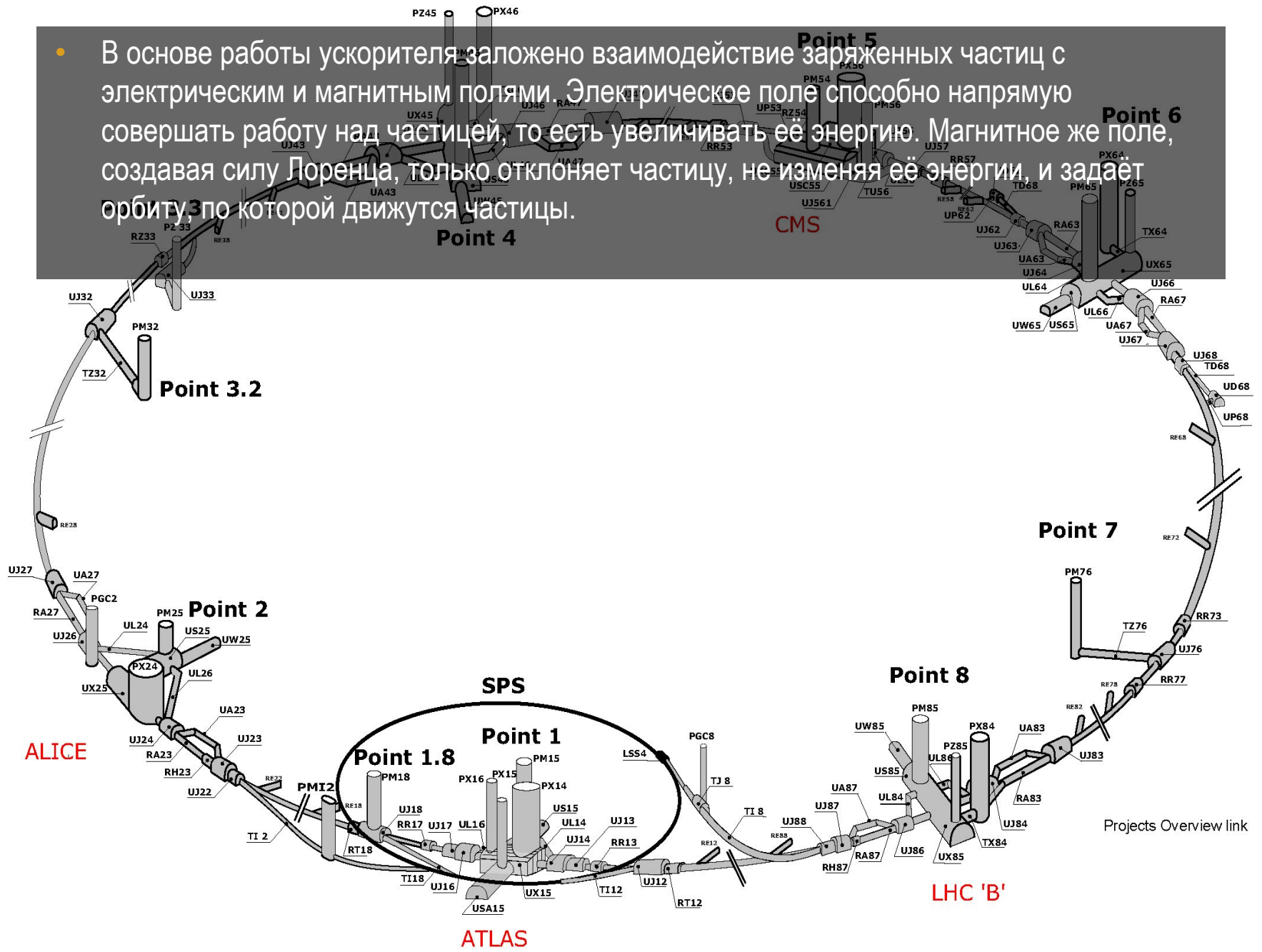


УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

- Ускоритель элементарных частиц — класс устройств для получения заряженных частиц высоких энергий. Современные ускорители, подчас, являются огромными дорогостоящими комплексами, которые не может позволить себе даже крупное государство. К примеру, Большой адронный коллайдер в ЦЕРН представляет собой кольцо длиной почти 27 километров.



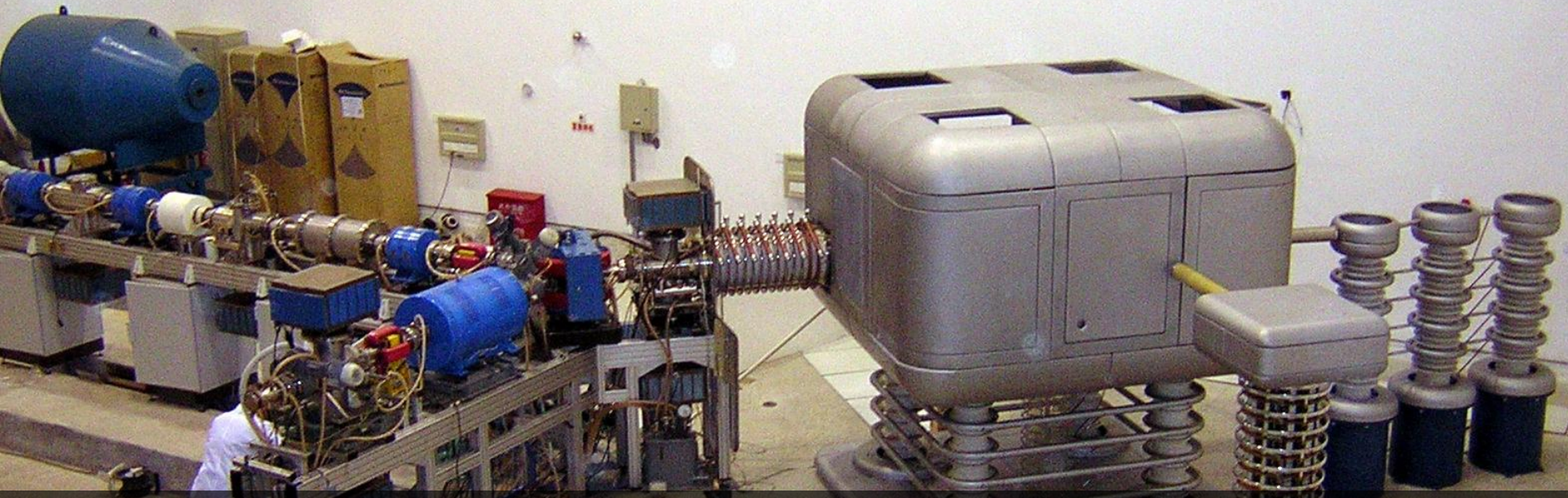
- В основе работы ускорителя заложено взаимодействие заряженных частиц с электрическим и магнитным полями. Электрическое поле способно напрямую совершать работу над частицей, то есть увеличивать её энергию. Магнитное же поле, создавая силу Лоренца, только отклоняет частицу, не изменяя её энергии, и задаёт орбиту, по которой движутся частицы.



Projects Overview link

- Конструктивно ускорители можно принципиально разделить на две большие группы. Это *линейные ускорители*, где пучок частиц однократно проходит ускоряющие промежутки, и *циклические ускорители*, в которых пучки движутся по замкнутым кривым (например, окружностям), проходя ускоряющие промежутки по многу раз. Можно также классифицировать ускорители по назначению: коллайдеры, источники нейтронов, бустеры, источники синхротронного излучения, установки для терапии рака, промышленные ускорители.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ



- Наиболее простой линейный ускоритель. Частицы ускоряются постоянным электрическим полем и движутся прямолинейно по вакуумной камере, вдоль которой расположены ускоряющие электроды. Ускорение заряженных частиц происходит электрическим полем, неизменным или слабо меняющимся в течение всего времени ускорения частиц. Важное преимущество высоковольтного ускорителя по сравнению с другими типами ускорителей — возможность получения малого разброса по энергии частиц, ускоряемых в постоянном во времени и однородном электрическом поле. Данный тип ускорителей характеризуется высоким КПД (до 95 %) и возможностью создания сравнительно простых установок большой мощности (500 кВт и выше), что весьма важно при использовании ускорителей в промышленных целях.

Высоковольтные ускорители можно разделить на четыре группы по типу генераторов, создающих высокое напряжение:

- **Ускоритель Ван де Граафа.**

Ускоряющее напряжение создаётся генератором Ван де Граафа, основанном на механическом переносе зарядов диэлектрической лентой. В современных модификациях лента заменена цепью. Максимальные электрические напряжения ~ 20 МВ определяют максимальную энергию частиц ~ 20 МэВ.

- **Каскадный ускоритель.**

Ускоряющее напряжение создаётся каскадным генератором (например, генератором Кокрофта-Уолтона, который создаёт постоянное ускоряющее высокое напряжение ~ 5 МВ, преобразуя низкое переменное напряжение по схеме диодного умножителя.)

- **Трансформаторный ускоритель.**

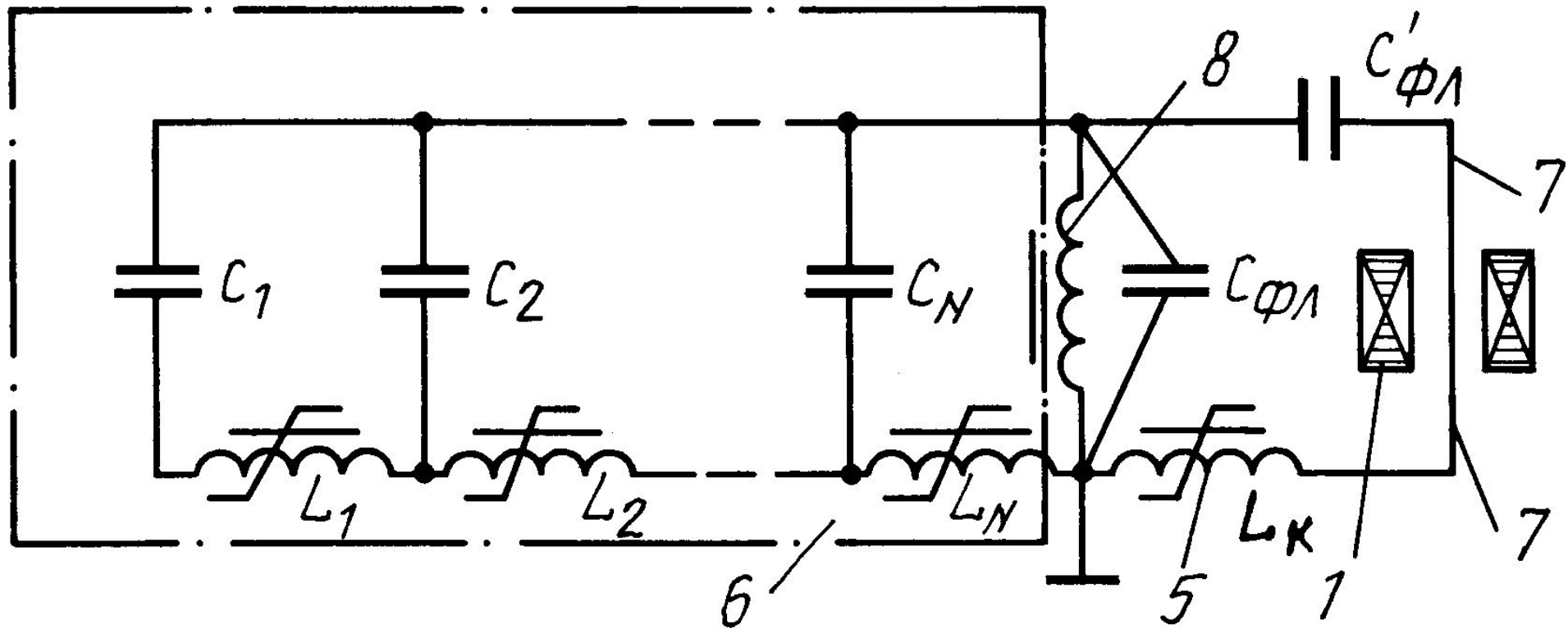
Высокое переменное напряжение создаёт высоковольтный трансформатор, а пучок проходит в нужной фазе вблизи максимума электрического поля.

- **Импульсный ускоритель.**

Высокое напряжение создаётся импульсным трансформатором при разряде большого количества конденсаторов.

ЛИНЕЙНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ УСКОРТЕЛЬ

- Ускорение в таком типе машин происходит вихревым электрическим полем, которое создают ферромагнитные кольца с обмотками, установленные вдоль оси пучка.



Фиг. 2

ЛИНЕЙНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ



- Также часто называется **ли́нак** (сокращение от LINear ACcelerator). Ускорение происходит электрическим полем высокочастотных резонаторов. Линейные ускорители чаще всего используются для первичного ускорения частиц, полученных с электронной пушки или источника ионов. Основным преимуществом **линаков** является отсутствие потерь энергии на излучение.

Линейные ускорители на большие энергии имеют значительную длину. Так, Харьковский линейный ускоритель электронов на 2 Гэв имеет длину 250 м.

БЕТАТРОН

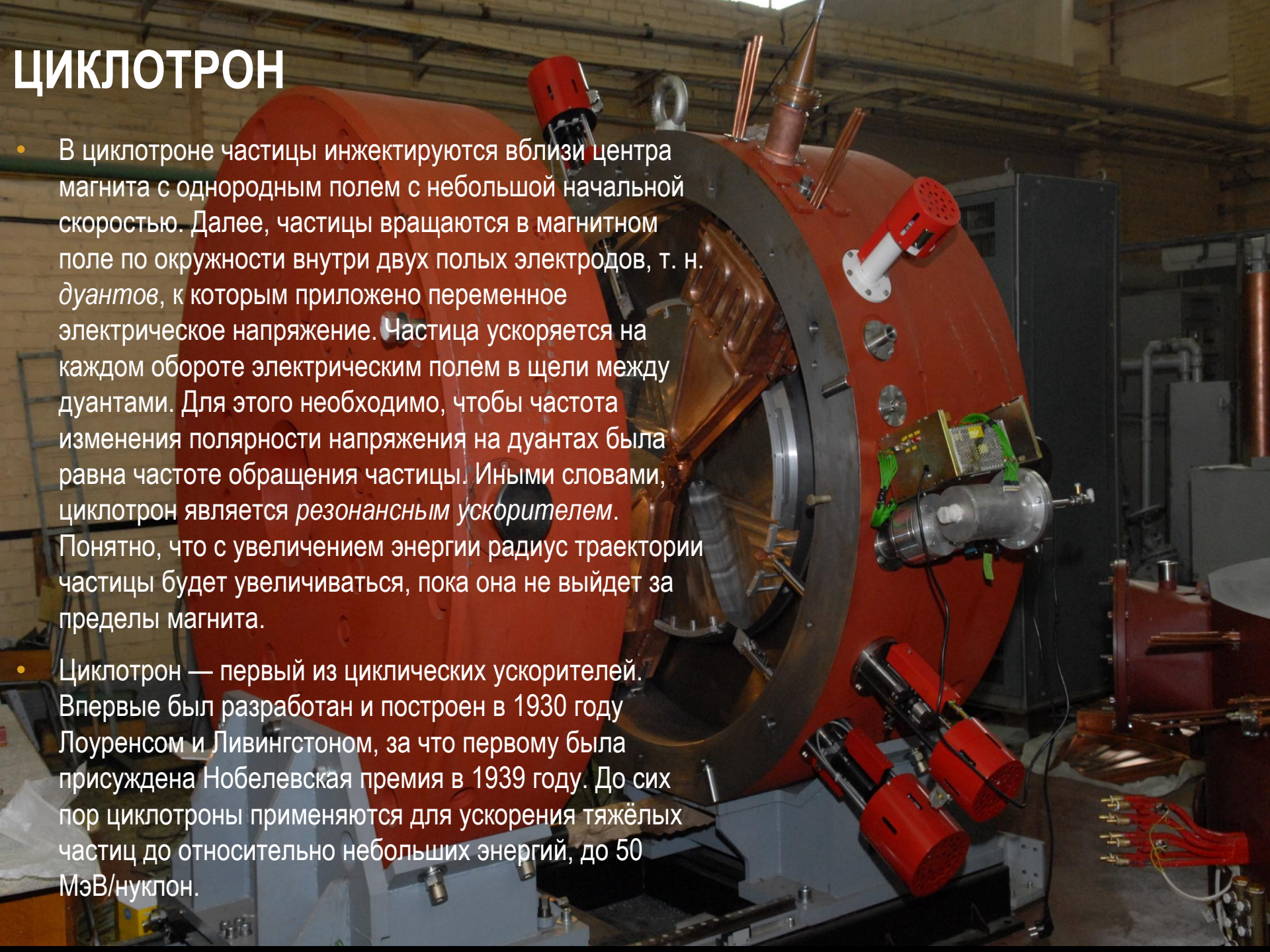
- Циклический ускоритель, в котором ускорение частиц осуществляется вихревым электрическим полем, индуцируемым изменением магнитного потока, охватываемого орбитой пучка. Поскольку для создания вихревого электрического поля необходимо изменять магнитное поле сердечника, а магнитные поля в несверхпроводящих машинах обычно ограничены эффектами насыщения железа, возникает ограничение сверху на максимальную энергию бетатрона. Бетатроны используются преимущественно для ускорения электронов до энергий 10—100 МэВ (максимум достигнутой в бетатроне энергии 300 МэВ).
- Впервые бетатрон был разработан и создан Рольфом Видером в 1928 году, который, однако, ему не удалось запустить. Первый надёжно работающий бетатрон был создан Д. В. Керстом лишь в 1940—1941 годах в США.

Физ. 2

ЦИКЛОТРОН

- В циклотроне частицы инжектируются вблизи центра магнита с однородным полем с небольшой начальной скоростью. Далее, частицы вращаются в магнитном поле по окружности внутри двух полых электродов, т. н. *дуантов*, к которым приложено переменное электрическое напряжение. Частица ускоряется на каждом обороте электрическим полем в щели между дуантами. Для этого необходимо, чтобы частота изменения полярности напряжения на дуантах была равна частоте обращения частицы. Иными словами, циклотрон является *резонансным ускорителем*. Понятно, что с увеличением энергии радиус траектории частицы будет увеличиваться, пока она не выйдет за пределы магнита.

- Циклотрон — первый из циклических ускорителей. Впервые был разработан и построен в 1930 году Лоуренсом и Ливингстоном, за что первому была присуждена Нобелевская премия в 1939 году. До сих пор циклотроны применяются для ускорения тяжёлых частиц до относительно небольших энергий, до 50 МэВ/нуклон.



МИКРОТРОН

- Он же — ускоритель с переменной кратностью. Резонансный циклический ускоритель с постоянным как у циклотрона ведущим магнитным полем и частотой ускоряющего напряжения. Идея микротрона состоит в том, чтобы сделать приращение времени оборота частицы, получающееся за счёт ускорения на каждом обороте, кратным периоду колебаний ускоряющего напряжения.

FFAG

- Ускоритель с постоянным (как в циклотроне), но неоднородным полем, и переменной частотой ускоряющего поля.



ФАЗОТРОН (СИНХРОЦИКЛОТРОН)

- Принципиальное отличие от циклотрона — изменяемая в процессе ускорения частота электрического поля. Это позволяет, за счёт автофазировки, поднять максимальную энергию ускоряемых ионов по сравнению с предельным значением для циклотрона. Энергия в фазотронах достигает 600—700 МэВ.

СИНХРОФАЗОТРОН

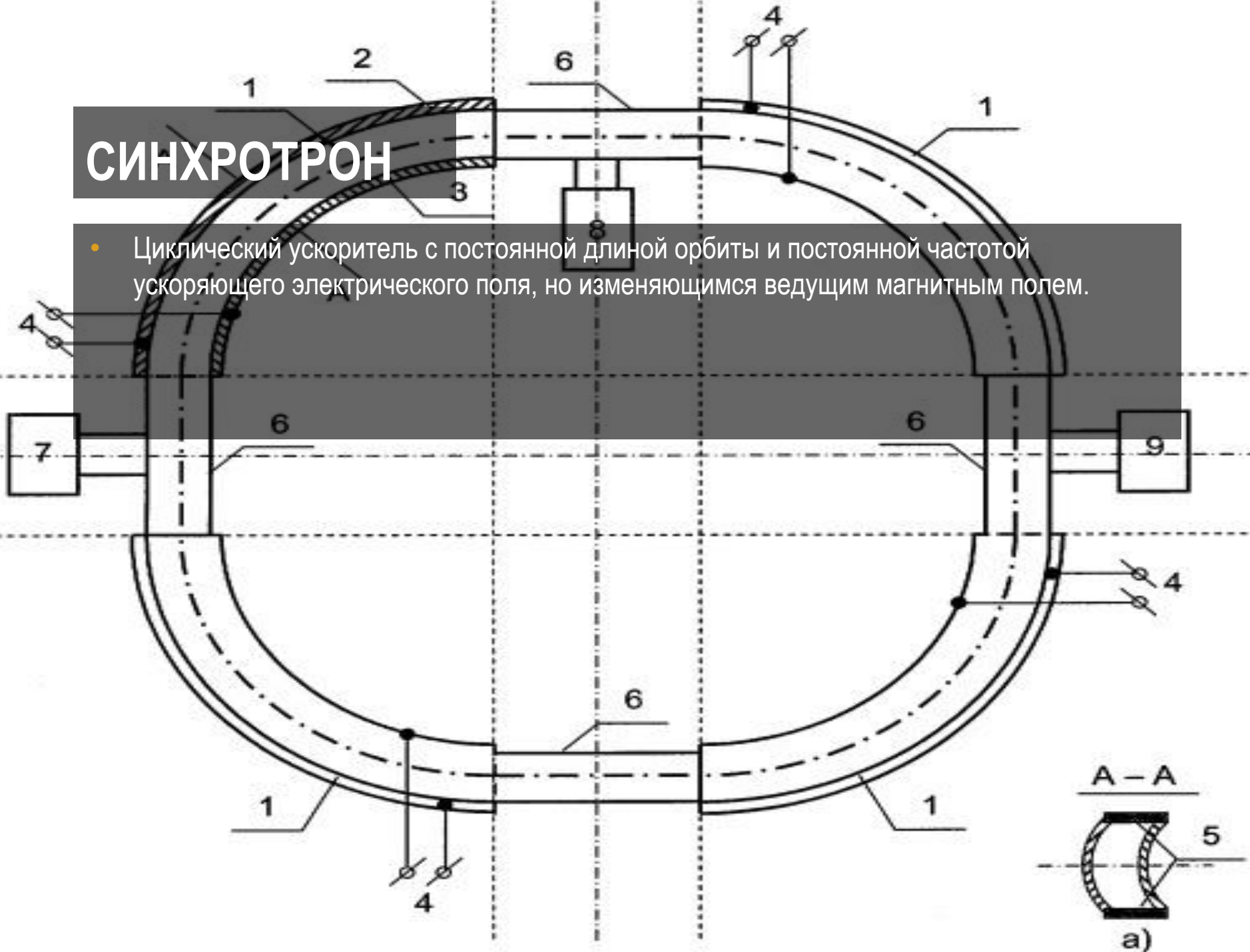
- Циклический ускоритель с постоянной длиной равновесной орбиты. Чтобы частицы в процессе ускорения оставались на той же орбите, изменяется как ведущее магнитное поле, так и частота ускоряющего электрического поля.

ПРОХОД
ЗАПРЕЩЕН

ЗА НЕИСПОЛНЕНИЕ
РАСПОРЯЖЕНИЯ
БУДЕТ
ОБРАЩЕН
ОТВЕТСТВЕННЫЙ
ЗА ЖИЗНЬ И
ЗДОРОВЬЕ

СИНХРОТРОН

- Циклический ускоритель с постоянной длиной орбиты и постоянной частотой ускоряющего электрического поля, но изменяющимся ведущим магнитным полем.



УСКОРИТЕЛЬ-РЕКУПЕРАТОР

- По существу — это линак, но пучок после использования не сбрасывается, а направляется в ускоряющую структуру в «неправильной» фазе и замедляется, отдавая обратно энергию. Кроме того, бывают многопроходные ускорители-рекуператоры, где пучок, по принципу микротрона, совершает несколько проходов через ускоряющую структуру (возможно — по разным дорожкам), сперва набирая энергию, потом её возвращая.

