

# УСКОРИТЕЛЬ БУДУЩЕГО: КАК ВЕРНУТЬ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ РОСТ ГРАФИКУ ЛИВИНГСТОНА?

Благодаря изобретению и развитию различных ускорительных технологий энергия элементарных частиц, достигаемая в современных ускорителях, резко возросла в течение последних десятилетий. Однако ученые уже сегодня обеспокоены возможностями дальнейшего прогресса в этой области. Андрей Серый – директор Института Джона Адамса (Великобритания), профессор Оксфордского университета, задается вопросами: можем ли мы подходить к решению этой проблемы более эффективно? И реально ли направлять изобретательский процесс при разработке будущих крупномасштабных ускорительных проектов с помощью рационализаторской методологии, используемой в инженерии?

Ускорительная наука и технология демонстрируют богатую историю изобретений, охватывающую к настоящему времени почти столетие. Эта увлекательная цепь событий, прекрасно изложенная в книге *Engines of Discovery: A Century of Particle Accelerators* (авторы А. Sessler и Т. Wilson), компактно представлена в виде так называемого графика Ливингстона, где уровень эквивалентной энергии ускоренного пучка частиц является функцией времени. График наглядно иллюстрирует, что в течение многих десятилетий уровень эквивалентной энергии ускоренного пучка частиц экспоненциально возрастал, а новые продвинутое технологии вытесняли устаревшие, полностью выработавшие свой потенциал. Последние десятилетия тоже были богаты на изобретения, примеры которых включают в себя концепцию фотонного коллайдера (которая пока находится еще на стадии идеи); концепцию коллайдера с «крабовидным фокусом» (проверенная экспериментально на накопителе элементарных частиц DAFNE в Италии), а также интегрируемую оптику для накопителей, проверка которой планируется на ускорителе IOTA в Фермилабе.

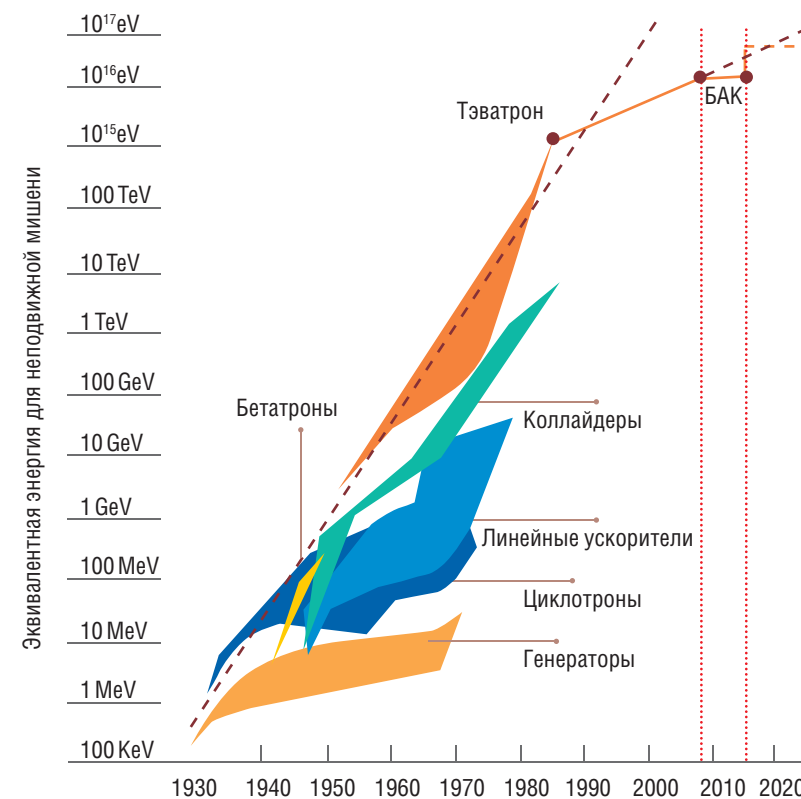
Однако несмотря на все эти недавние открытия и изобретения, существует причина для беспокойства относительно прогнозов на будущее. Дело в том, что три последних десятилетия, когда были построены Тэватрон и Большой адронный коллайдер (БАК), характеризуются гораздо более медленным темпом роста энергии самых мощных ускорителей. Это может быть признаком того, что ныне существующие технологии ускорения частиц достигли пика в своем развитии, и что дальнейший прогресс будет требовать создания принципиально новых ускорительных устройств –

Быть может, эти электроны –  
Миры, где пять материков,  
Искусства, знания, войны, троны  
И память сорока веков!  
Еще, быть может, каждый атом –  
Вселенная, где сто планет;  
Там – все, что здесь, в объеме сжатом,  
Но также то, чего здесь нет.  
Мир электрона  
(Валерий Брюсов, 1920)

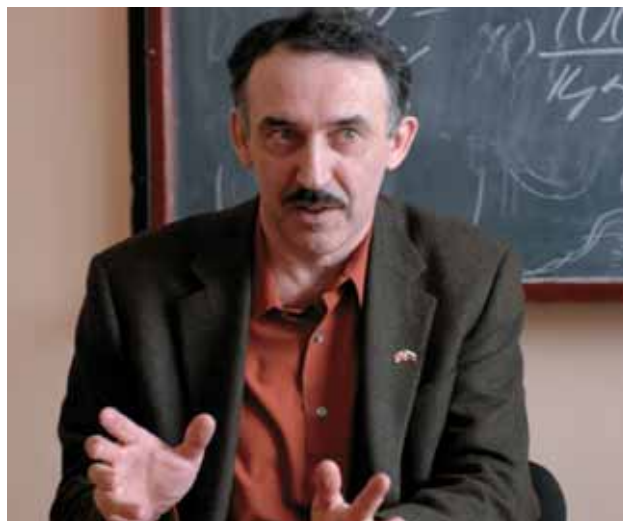


Схематическое изображение треков частиц в камере Вильсона и камере Глейзера как пример системы и антисистемы.  
Рис. Е. Серой

На графике Ливингстона уровень эквивалентной энергии ускоренного пучка частиц является функцией времени. По мере возрастания уровня эквивалентной энергии ускоренного пучка на смену устаревшим технологиям приходят более продвинутые



более компактных и экономичных. И хотя сегодня уже существует несколько новых методов ускорения (например, на лазерной или плазменной основе – *CERN Courier*, June 2007. P. 28), которые, возможно, вернут кривую энергии на графике Ливингстона на путь



СЕРЫЙ Андрей Анатольевич – директор Института ускорительной физики им. Джона Адамса (JAI) (Великобритания), профессор Оксфордского университета. Автор и соавтор более 200 научных работ

**Ключевые слова:** ускорители, Большой адронный коллайдер, ТРИЗ, ЦЕРН, физика высоких энергий, синхротронное излучение, Оксфорд, изобретательство  
**Key Words:** accelerators, Large Hadron Collider, TRIZ, CERN, high energy physics, synchrotron radiation, Oxford, invention



экспоненциального роста. Тем не менее, вдохновляясь прошлыми успехами и мечтая о будущем, мы имеем право поставить вопрос: как можно изобретать еще более эффективно?

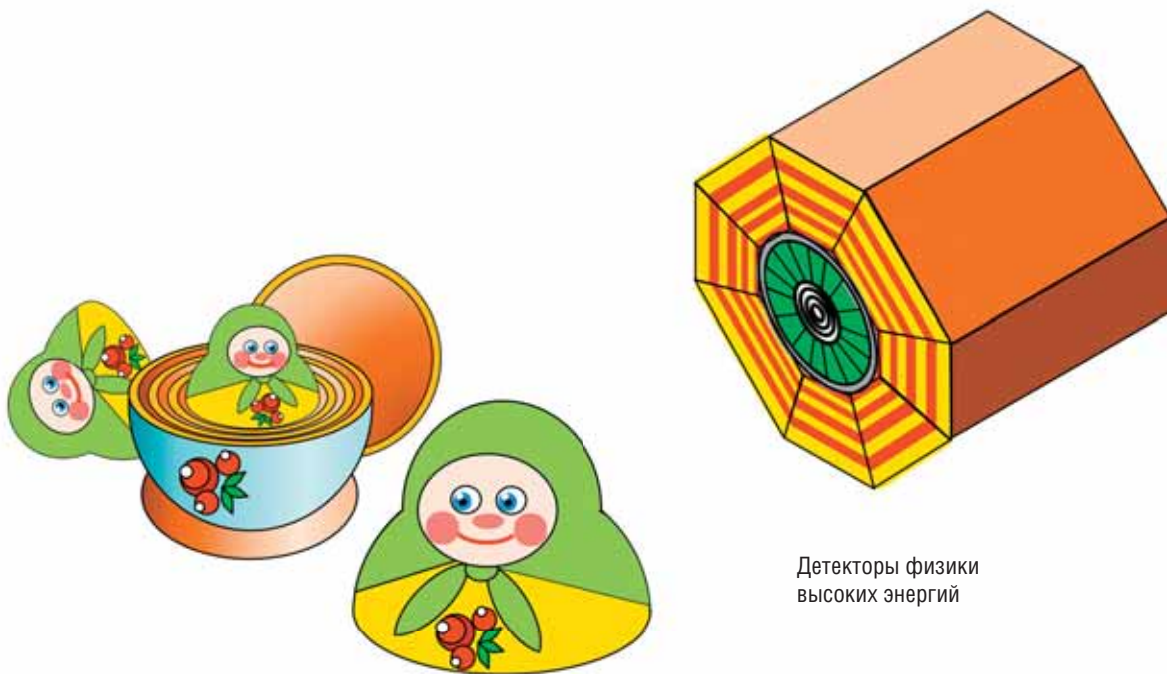
Давайте вспомним некоторые факты из биографии двух выдающихся ученых-ускорительщиков. Один из них – Джон Адамс, который в 1950-е гг. сыграл ключевую роль в воплощении смелого решения отменить уже утвержденный проект слабофокусирующего уско-



Слева направо: Джон Адамс, британский физик-ускорительщик, генеральный директор ЦЕРНа (1960–1061 г.). © CERN PhotoLab, 2016; Герш Ицкович (Андрей Михайлович) Будкер, советский физик, основатель и первый директор ИЯФ СО РАН; Генрих Саулович Альтшуллер, автор теории решения изобретательских задач (ТРИЗ)

**ПРИНЦИП «МАТРЕШКИ»**

- Поместить объект внутрь другого, который, в свою очередь, поместить внутрь следующего
- Пропустить одну деталь через отверстие другой детали



Детекторы физики высоких энергий

рителя на 10 ГэВ ради создания полностью новаторской машины – протонного синхротрона на 25 ГэВ на основе сильной фокусировки для ЦЕРНа. Другой – Г. И. Будкер, основатель и первый директор новосибирского Института ядерной физики, автор многих инноваций в области ускорительной физики, таких как электронное охлаждение. В нашем контексте важно то, что обоих ученых отличало уникальное сочетание научных и инженерных способностей (Лев Ландау даже как-то назвал Будкера «релятивистским инженером»). Это сочетание примечательно тем, что искусство изобретательства, которое я собираюсь обсудить, пришло в науку именно из инженерии.

Наверное, все знают о таких подходах к решению проблем, как мозговой шторм или его улучшенная версия – синектика. Кстати, одним из ее методов является использование описания проблемы языком сказок или легенд. Но в то же время весьма возможно, что большинство работающих в науке людей никогда не слышали об изобретательских методиках, широко используемых в промышленности инженерами. И это неведение воистину удивительно. Оно широко распространено в западных лабораториях. В России про метод ТРИЗ многие слышали, но почти никто, тем не менее, его не применяет в исследовательской работе.

Многослойный детектор частиц как пример принципа матрешки. Рис. Е. Серой

Одним из таких подходов является ТРИЗ – Теория Решения Изобретательских Задач, разработанная в СССР в середине прошлого века Генрихом Альтшуллером, работавшим в начале своего жизненного пути в патентном бюро. Начиная с 1946 г. он проанализировал многие тысячи патентов, пытаясь выявить ключевые моменты, которые делают патент успешным. Основные алгоритмы ТРИЗ он сформулировал в 1956–1985 гг., а потом развивал их вместе с командой единомышленников.

Постепенно эта теория стала одним из самых мощных инструментов развития в индустриальном мире. Ярким примером этого служит статья «Российские “мозги” Samsung: как россияне помогли этой компании стать лидером в информационных технологиях» известного обозревателя-аналитика журнала *Forbes* Гайдна Шонесси, опубликованная 18 марта 2013 г. По словам Шонесси, именно ТРИЗ «стала основой инноваций в Samsung», и что «знание ТРИЗ в настоящее время является обязательным требованием к претенденту, желающему делать карьеру в этой компании».

**Методология изобретательства**

Авторы ТРИЗ сформулировали следующие четыре «краеугольных камня» этого метода:

- в различных отраслях промышленности возникают одни и те же проблемы, и те же самые решения для них находятся снова и снова;
- существует определенный путь технологического развития для всех отраслей промышленности;
- инновационные патенты (составляющие около четверти от общего числа патентов) используют научные и инженерные теории, взятые за пределами своей области знания;
- инновационный патент раскрывает и разрешает противоречия.

Команда Альтшуллера также разработала подробную методологию, которая использует таблицу типичных противоречий и удивительно универсальную таблицу из 40 изобретательских принципов. Основной метод ТРИЗ состоит в выявлении в технической задаче пары противоречащих параметров. После чего инженер, используя таблицы ТРИЗ, сразу же получает небольшой список изобретательских принципов, подходящих для решения этой задачи. Ограничение числа вариантов, которые нужно перебрать, приводит к более быстрому решению проблемы.

Учебники по ТРИЗ часто ссылаются на изобретения камеры Чарльза Вильсона (1911 г.) и пузырьковой камеры Дональда Глейзера (1952 г.) в качестве примера системы и антисистемы, используя терминологию ТРИЗ. Суть в том, что камера Вильсона работает по принципу появления капелек жидкости в газе, в то время как пузырьковая камера использует пузырьки газа, возникающие в жидкости. Если бы при создании этих

устройств был применен изобретательский принцип «система – антисистема», то пузырьковая камера была бы изобретена сразу же после создания камеры Вильсона, а не через полвека, как это произошло в реальности.

Другой изобретательский принцип ТРИЗ – принцип «матрешки» – встречается не только в технике, но и во многих других областях, включая физические и естественные науки и даже филологию. Всем известный «Дом, который построил Джек» из британских «Сказок Матушки Гусыни», а также процитированное в эпиграфе стихотворение Валерия Брюсова, где электрон описывается как планета в мире связанных элементарных частиц, иллюстрируют этот принцип. Захватывающим примером научной «матрешки» является структура детектора для физики высоких энергий, где много различных субдетекторов вставлены друг в друга для повышения точности обнаружения неуловимых частиц. Такие детекторы используются, чтобы определить, есть ли на самом деле внутри электрона свой «мир», – круг замкнулся!

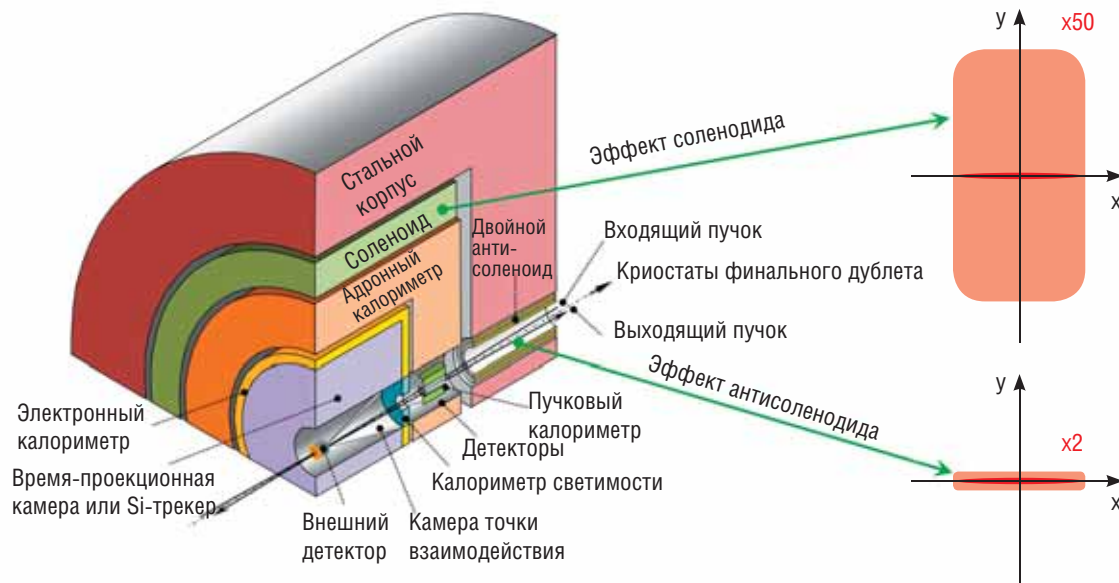
Методы ТРИЗ могут быть применены и в ускорительной науке. Например, двойной нейтральный антисоленоид в точке взаимодействия пучков коллайдера или ЯМР-сканер иллюстрируют сразу два изобретательских принципа – «матрешка» и «система–антисистема». В антисоленоиде два соленоида противоположной

Андрей и Елена Серые – авторы книги «Изобретая инструменты науки будущего. Ускоряющая науку ТРИЗ: Физика ускорителей, лазеров и плазмы» (русское издание) – рассказывают о том, как изобретательские принципы позволяют сделать следующий шаг в разработке нового поколения ускорителей



ПРИНЦИП ЧАСТИЧНОГО ИЛИ ИЗБЫТОЧНОГО РЕШЕНИЯ

Если при использовании какого-либо метода трудно достичь стопроцентного эффекта, можно ограничиться «чуть меньшим» или «чуть большим» воздействием этого же метода, чтобы превратить задачу в гораздо более простую



Сильная связь из-за перекрытия соленоида с квадрупольями финального дублета → частичная компенсация слабым анти-соленоидом (Nosochkov, Seryi, 2005)

полярности вставлены друг в друга таким образом, что весь магнитный поток сосредоточивается между ними, а снаружи силовое поле практически отсутствует, т.е. во внешнем поле на него сила не действует. Этот прием в ЯМР практически снимает проблему магнитного экранирования, а в коллайдере снижает интерференцию с главным соленоидом детектора.

Примечательно, что эту же комбинацию изобретательских принципов можно найти в методике STED-микроскопии (флуоресцентной микроскопии на основе подавления спонтанного излучения), авторы которой были награждены в 2014 г. Нобелевской премией по химии. А иллюстрацией изобретения по принципу ТРИЗ, известному как принцип «заранее подложенной подушки», может служить финальная фокусирующая система в ускорителе с «нелокальной коррекцией хроматизма».

В то время как многие из изобретательских принципов ТРИЗ могут быть применены для решения проблем ускорительной науки непосредственно, было бы заманчиво добавить к ТРИЗ и изобретательские принципы, специфичные для ускорительной науки. Например, исходя из уравнений Максвелла, где интеграл по поверхности связан с интегралом по объему, добавить принцип изменения соотношения объема и площади поверхности объекта. Прекрасную иллюстрацию этого

принципа можно увидеть в природе, когда обычная домашняя кошка в жару вытягивается, разворачивая свою «поверхность», а на холоде сворачивается клубком, уменьшая ее. Тот же принцип в ускорительной технологии демонстрируют, например, «плоские» встречные электрон-позитронные пучки или волоконные лазеры. Другой принцип изобретения, который можно привести в ускорительную науку, – использование неповреждаемых или уже «поврежденных» материалов (например, лазерной «нити» для диагностики ускорительного пучка, струи жидкой ртути в качестве мишени, плазменного ускорения, плазменного зеркала, и т.п.).

Итак, методы ТРИЗ, изначально разработанные только для инженерии, являются универсальными и могут быть применены в науке. Методология ТРИЗ – это еще один способ посмотреть на мир. А в сочетании с наукой она превращается в еще более мощный метод. ТРИЗ особенно полезна для наведения мостов между принципиально различными научными дисциплинами, поэтому должна быть востребована образовательными и исследовательскими организациями, пытающимися сломать междисциплинарные барьеры.

И все-таки опыт показывает, что в научных отделах западных университетов ТРИЗ практически не изучается и не используется. Более того, неудачей заканчивались даже попытки ввести ТРИЗ в аспирантские спецкурсы. Во многих (даже в большинстве) таких случаев вероятная причина неудачи состоит в том, что аспирантам преподавалась каноническая версия ТРИЗ,

как и инженерам в промышленных компаниях. По-видимому, в этом-то и состоит ошибка – ведь студенты, специализирующиеся в науке, объективно настроены скептически в отношении методов, которые чрезмерно, «шаг за шагом», регламентируют рабочий процесс. В самом деле, любой критически мыслящий ученый сразу бы подверг сомнению «каноническое число» 40 (принципов изобретения), а потом отметил бы, что выявление всего лишь пары противоречивых параметров является приближением «первого порядка», и т.д.

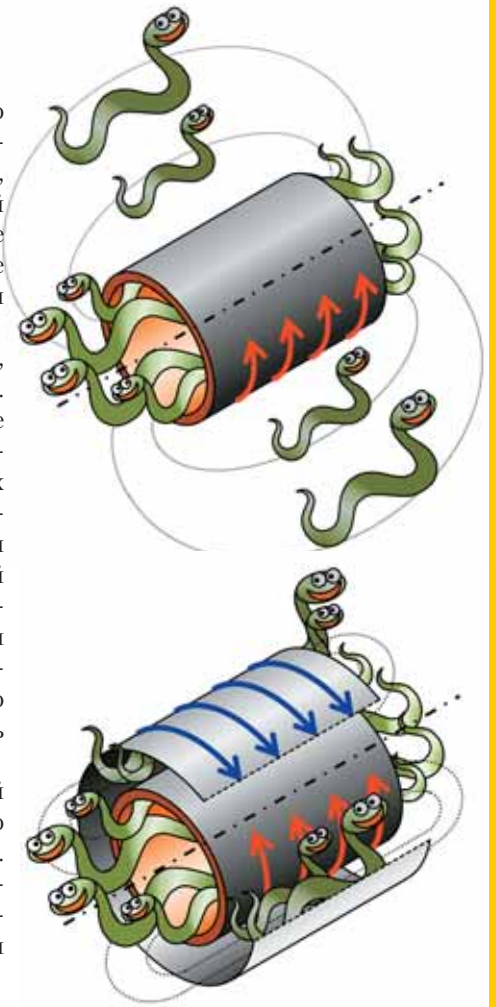
Приняв во внимание неудачи предшественников, следует, вероятно, выбрать другой, более приемлемый подход к курсу ТРИЗ для аспирантов. Вместо того чтобы излагать готовую к употреблению методологию, лучше провести слушателей через сам процесс создания элементов ТРИЗ, предлагая анализировать различные новые изобретения и открытия из разных научных дисциплин, демонстрируя тем самым, что изобретательские принципы ТРИЗ могут быть эффективно применены в науке. В этом творческом процессе могут быть найдены дополнительные принципы изобретательской деятельности, которые больше подходят для научных дисциплин и которые, возможно, будут впоследствии добавлены к стандарту ТРИЗ. В своем недавно вышедшем учебнике я назвал это расширение теории «Ускоряющая наука ТРИЗ» (Accelerating Science TRIZ, УН-ТРИЗ), где слово «ускоряющая» теперь уже подчеркивает, что ТРИЗ может способствовать ускоренному развитию науки – любой, а не только ускорительной.

Многие из рассмотренных выше примеров «тризоподобных» изобретений в науке были сделаны без использования этих принципов, и я намеренно «провоцирую» читателя, подключая эти примеры к ТРИЗ постфактум. Тем не менее естественно задаться вопросом: способны ли ТРИЗ и УН-ТРИЗ реально помочь, вдохновляя на новые научные изобретения и инновации, особенно в отношении проектов, для реализации которых имеется много нерешенных препятствий?

Один из примеров такого проекта – кольцевой коллайдер FCC, 100-километровая по окружности ускорительная машина, рассматриваемая в настоящее время в качестве преемника БАК (CERN Courier, April 2014, P. 16). В этом проекте до сих пор имеется множество научных и технических задач и проблем, которые требуется решить. Примечательно, что полная энергия каждого протонного пучка в этом коллайдере, как ожидается, будет превышать 8 ГДж, что эквивалентно кинетической энергии аэробуса A380, летящего на скорости 720 км/ч. Нужно, чтобы каждый такой мощный пучок не только безопасно транспортировался поворотными магнитами, но чтобы все эти пучки одновременно столкнулись в точке взаимодействия коллайдера – участке микрометрового размера, много меньшем, чем игольное ушко.

Нам предстоит узнать на практике, можно ли применять методологии ТРИЗ и УН-ТРИЗ к таким масштабным проектам, как FCC, который ставит перед нами целый ряд новых сложных и интересных задач. Ведь это как раз тот проект, который может «расцвести» лишь при условии применения немалых знаний и большой изобретательности.

По материалам статьи «Inventing our future accelerator» // CERN COURIER, 2015



Вокруг простого соленоида существует заметное магнитное поле. Два соленоида противоположной полярности вставлены друг в друга таким образом, что весь магнитный поток сосредоточивается между ними, а снаружи силовое поле практически отсутствует. Изобретение такого двойного антисолоида могло быть сделано при использовании изобретательских принципов ТРИЗ, известных под названиями «матрешка» и «система-антисистема». Рис. Е. Серой

