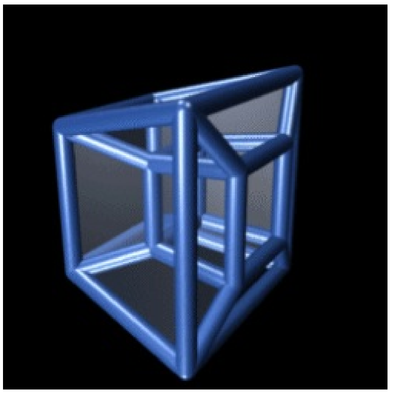
Четвёртое измерение — Lurkmore

Четвёртое измерение (быдл. *4D*, матан. R^4) — философская и математическая концепция, недоступная для понимания почти никому.



Проекция четырёхмерного кубика

История

Началось всё, видимо, с Декарта[1], который подметил, что каждой точке на плоскости можно сопоставить пару чисел и, таким образом, говорить о прямых, окружностях и треугольниках как о решении некоторых уравнений. Например, любая прямая задаётся уравнением ax+by+c=0 — это ровно то, что анонимус проходит в школе, классе эдак в шестом-седьмом. Тот же самый трюк можно провести и в пространстве, только каждой точке пространства сопоставить не пару чисел, а тройку, до чего, однако, додумался лишь Клеро в XVIII веке. Позже, веке эдак в XIX, таким людям, как Риман, Шлефли и Гильберт, пришла в голову примерно одинаковая мысль: если точка на плоскости — это пара чисел, точка в пространстве — это тройка чисел, то почему бы не сказать, что четвёрка чисел — это точка в некотором четырёхмерном пространстве? И всё заверте...

Тот самый

Существует ли на самом деле?

«Всякий раз, когда ломаешь кирпич, видишь только его поверхность. А то, что у кирпича есть что-то внутри, – всего лишь теория, которая помогает нам лучше понять природу вещей. »

— *Ричард Фейнман*

«Волны внушали ему, что любая форма в пространстве образуется при пересечении той или иной фигуры с большим количеством измерений. Квадрат это результат сечения куба, а круг сечения сферы. Трёхмерные куб и сфера возникают при сечении фигур четырёх измерений, о чем люди до сих пор лишь догадывались и что изредка видели во сне. Четырёхмерные фигуры создаются с помощью сечения пятимерных и так далее, вплоть до головокружительной бесконечности прообразов. »

— *Г. Ф. Лавкрафт*

Вопрос философский и однозначно на него ответить нельзя, так как у каждого это самое «на самом деле» своё. Проще всего к этому относиться так: есть математика, в которой есть логические конструкции, а есть реальность, в которой есть показания приборов — результаты экспериментов. Никакого естественного наложения математики на реальность нету. Физик/экономист/эколог/демограф может взять на вооружение конкретную конструкцию, если циферки в ней получаются похожие на те, что он видит в экспериментах, а может и не взять. То есть в реальности, например, нет никакого закона гравитации Ньютона — это математическая модель, которая хорошо предсказывает такие реальные величины, как скорость падения яблока на Землю, скорость движения Земли вокруг Солнца, с какой скоростью и под каким углом нужно запустить снаряд, чтобы он попал куда надо, и прочие кошерные вещи, а вот с орбитой Меркурия хоть немного, но фейлит. Так вот, четырёхмерное пространство — это математическая конструкция, и существует она в той же мере, что и число «1», «квадрат» или что угодно другое из того, что Марьивановна рассказывала на матеше.

Физическое пространство

«Если бог есть и если он действительно создал землю, то, как нам совершенно известно, создал он ее по эвклидовой геометрии, а ум человеческий с понятием лишь о трех измерениях пространства. »

— *Алеша. «Братья Карамазовы»*

Может показаться, что есть независимое ни от какой математики понятие физического трёхмерного пространства или физического четырёхмерного пространства-времени, ну, в котором сейчас находимся, например, и поэтому хочется спросить, а есть ли галактики или, там, параллельные миры, где есть настоящее физическое четырёхмерное пространство или физическое пятимерное пространство-время? Так вот, никакого истинно настоящего физического трёхмерного пространства, ровно как и четырёхмерного, нету, а есть лишь много-много опытных фактов о метрических и порядковых отношениях в нашем реальном мире, полученных опытным путём, и вот как раз удобная математическая конструкция для их описания — это «трёхмерное евклидово пространство». И только потому, что привычный голым обезьянам масштаб расстояний, времен, скоростей, масс такой, какой есть. Чем большие масштабы физическая теория пытается охватить, тем более странные вещи происходят с представлением о физическом пространстве. Вообще, вопрос дурно попахивает гносеологией, поэтому существуют и альтернативные мнения как ко всему этому нужно относиться, однако, которым не в теме, лучше всего относиться к этому именно так.

Время

«Представления о пространстве и времени, которые я желаю до вас донести, возникли раньше, чем на почве экспериментальной физики, и в этом их сила. Они радикальны. Отныне пространство само по себе, и время само по себе, обречены исчезнуть, и только своего рода союз этих двух концепций сохранит независимую реальность. »

— *Герман Минковский*

Часто можно услышать, что четвёртое измерение — это время. Правда в том, что четырёхмерным пространством в некоторых физических теориях, например, в специальной теории относительности или в ньютоновской кинематике, моделируется наше с вами пространство-время, при этом это самое четырёхмерное пространство не очень обычное, временные и пространственные оси играют в нём разную роль. Поэтому говорить о том, что четвёртое измерение — это время, без соответствующего контекста соответствующих физических теорий, нельзя. В математике, да и в десятках других мест, четырёхмерные пространства упоминаются без всякой отсылки ко времени.

Зачем и кому нужно?

В точных науках концепт многомерия используется в том или ином виде довольно часто. А ещё это источник вдохновения для разной степени годности фильмов, книжек, видеоигр, головоломок и прочего, что тоже довольно-таки приятно.

А разгадка одна: 4D-объект — это как бэ 2D-матрица из нескольких 2D-матриц.

Математика

Если говорить не конкретно о четырёхмерном пространстве, а вообще об n-мерном, то нужны они прежде всего самой математике — многие математические факты, высказанные на геометрическом языке n-мерных пространств становятся либо более очевидными, либо видны под новым углом, что тоже хорошо. Многомерные пространства дают новый язык, творческий потенциал геометрической интуиции стало возможным подключить к огромному классу задач. В современном изложении даже самый обычный матан и линал, методы которых используются чуть более, чем в 90% приложений математики вообще, немыслим без n-мерных пространств. Серьезно.

- Закон больших чисел в теории вероятностей на геометрическом языке означает, что масса n-мерного шара, при больших n, в основном сосредоточена возле его границы. Например, если у 1000-мерного арбуза радиусом 1 метр отрезать корку толщиной 1 см, то останется не более 1% от его первоначального объема.
- Существование самокорректирующихся кодов Шеннона, юзающихся в этой вашей криптографии, на геометрическом языке означает, что в n-мерном пространстве много почти перпендикулярных друг другу векторов.
- Метод наименьших квадратов (в случае линейной регрессии), использующийся всякими статистами, можно переоткрыть просто спроектировав точку в n-мерном пространстве на k-мерное подпространство.
- Метод множителей Лагранжа, используемый экономистами, экологами, демографами, да и вообще

почти всеми, кто ставит хоть какие-то задачи оптимизации, на геометрическом языке означает вложение некоторых k-мерных пространств в n-мерные.

И подобных примеров десятки. Отдельно стоит отметить, что все эти n-мерные пространства в матане — это уже не просто хитрый трюк, позволяющий увидеть в некоторых случаях что-то интересное, а буквально часть языка. То есть, если ты измерил в каждой точке своей комнаты температуру, давление, освещённость и влажность, то, с точки зрения матана, ты уже задал непрерывную функцию из трёхмерного пространства в четырёхмерное. И язык очень удобный, пока никто не жаловался.

Прикладуха

Стоит также напомнить, что, помимо всего этого, многомерные пространства могут юзаться для моделирования системы с большим числом степеней свободы. Мегапиксельное изображение, например — это точка в миллионмерном пространстве. Таким же образом можно интерпретировать звуковые волны, коробку с газом, экосистему, поток цифровых данных, испытания случайной величины, случайные стратегии в игре для двух человек и многое другое. И при этом мы на халяву получаем для всех этих случаев такие концепты, как выпуклость, расстояние, линейность, замена переменных, системы координат, ортогональность, внутреннее произведение, которые при подобном моделировании, зачастую, имеют очень естественный смысл. Например:

- Векторной моделью в качестве точек в n-мерном пространстве могут выступать, например, слова, а в качестве расстояния то, насколько одно слово похоже на другое.
- Метод опорных векторов — алгоритм, представляющий набор признаков как набор точек в n-мерном пространстве. Позволяет учить компьютеры отличать кружки от квадратиков, и вражеские самолёты от своих.

Физика

«Четвёртое измерение представить себе невозможно. Лично я с трудом представляю себе даже трёхмерное пространство! »

— *Стивен Хокинг*

Отдельного упоминания заслуживает физика.

- Уже упоминавшиеся теория относительности и механика, где используют модель четырёхмерного пространства-времени, правда со слегка иными понятиями «расстояния» и «угла», нежели в стандартном четырёхмерном, из-за чего время и пространство в таких четырёхмерных штуках становятся неравноправны.
- Всякая экзотика вроде теории струн и М-теории, в которых разобралось 3.5 человека, и в которых вроде тоже что-то такое есть.
- Всякие фазовые пространства и конфигурационные пространства в механике и теории динамических систем. Например, в качестве размерности берутся все параметры, описывающие состояние системы. У материальной точки их ВНЕЗАПНО шесть: три проекции координаты и три проекции импульса. Уже получаем шестимерное пространство. А если в системе дохрена точек, то получаем не просто дохрена-мерное пространство, а дохрена-умножить-на-шесть-мерное пространство, называется пространством Гиббса. FGJ, нужно сказать, что эти построения, хотя и имеют непосредственное отношение к решению физических задач, к представлениям о физическом пространстве не имеют никакого отношения. Просто ушлые физики сводят задачу к решенной — к уже разработанному матану.

Как представить?

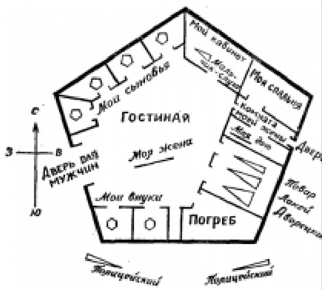
Итак, можно ли представить четырёхмерное пространство в полной его красе и величии? Некоторые говорят, что после длительных упражнений им это удаётся, некоторые говорят, что удаётся только под веществами, а некоторые говорят, что продолжают мыслить лишь трёхмерными аналогами. Врут или нет — понять сложно, всё это относится к психоэмоциональной сфере и сфере ощущений. В любом случае, есть несколько приёмов, чтобы хотя бы чуть глубже понять и прочувствовать, как оно устроено.

Трюк флатландца

Если вы хотите представить что-то четырёхмерное, то можете представить себя двухмерным, пытающимся представить что-то трёхмерное, а дальше рассуждать по аналогии. На этой, в общем-то, простой идее, основан дико годный рассказ «Флатландия», рекомендуется к прочтению, даже тем, кто не в теме. Совет звучит слишком обще, но он наиболее универсален. Например, на плоскости любые две прямые либо параллельны, либо пересекаются (по точке — нульмерному пространству), в трёхмерном пространстве любые две плоскости либо параллельны, либо пересекаются (по прямой —

одномерному пространству), следует ожидать, что в четырёхмерном пространстве любые два трёхмерных пространства либо параллельны, либо пересекаются (по плоскости — двумерному пространству). Так и происходит.

Отдельно нужно сказать, что флатландцы — существа туповатые. Ограничение на их моск связано с тем, что не всякий граф, описывающий связи нейронов, можно разложить на плоскости. А в 3D — всякий.

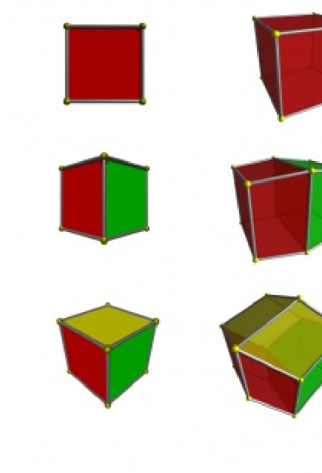


Так бы выглядел дом анона, если бы он был двумерным и жил во Флатландии

Так бы выглядел дом анона, если бы он был двумерным и жил во Флатландии

Сечения, проекции и введение времени

Представим, что мы двумерны и хотим увидеть трёхмерную сферу; как трёхмерные существа могут её нам показать? Они могут, например, разрезать трёхмерную сферу на две части, изрисовать краской место разреза, и приложить к нему двумерный экран таким образом, чтобы место разреза на нём отпечаталось. Ещё одна аналогия — рентген или томография. В результате разреза мы увидим окружность. Если так делать последовательно и много раз, то есть «пропускать» сферу через плоскость, то мы увидим, как появляется точка, разрастается в окружность, затем снова сжимается до точки и затем исчезает. Это называется сечение.
Ещё они могут взять трёхмерный кубик и посветить на него мощным прожектором так, чтобы тень этого кубика попала на двумерный экран. Ну или тупо перерисовать его, как на уроках стереометрии. Это называется ортогональная проекция. Сечения и ортогональные проекции четырёхмерных объектов на трёхмерные линейные пространства строятся путём решения нехитрых уравнений, однако тебе всего этого делать не надо, ибо всё уже сделано до тебя и есть куча красивых картинок, видюшек и мелких утилит, позволяющих наблюдать результат воочию.
Чтобы всё выглядело ещё красивее, можно ещё параметризовать ту трёхмерную гиперплоскость, на которую мы проецируем или которую разрезаем временем, и получить мультик или гифку.

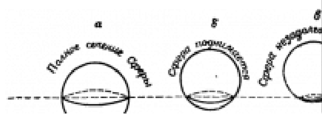


Проекция трёхмерного и четырёхмерного куба на монитор. Почувствуй аналогию

Проекция трёхмерного и четырёхмерного куба на монитор. Почувствуй аналогию

Решение задач

Единственный годный способ, включающий все предыдущие. Чтобы познакомиться с математическим понятием, нужно отрешать много задач, использующих это понятие, тогда из кусков этих задач начнет складываться правильная картина. Это, на самом деле, не так сложно, и даже может принести тебе удовольствие. Если забыто всё со школьной программы, кроме того, как складывать и умножать натуральные числа, можно начать с подтягивания оной по книгам Гельфанд Шень «Алгебра» и Шень «Геометрия», далее можно попробовать учебник Смирнова «Четырёхмерная геометрия», если пойдёт хорошо, то перейти к Прасолов Тихомиров «Геометрия». Это не единственный возможный комплект учебников, но это и не особо важно, если ты всерьез взялся за самообразование по части четырёхмерия или любой математики вообще, то главное — не стесняйся коммуницировать с задротами, которые убили на это большую часть своей жизни. Они обитают тут или тут и, вообще говоря, довольно дружелюбны, наверное.



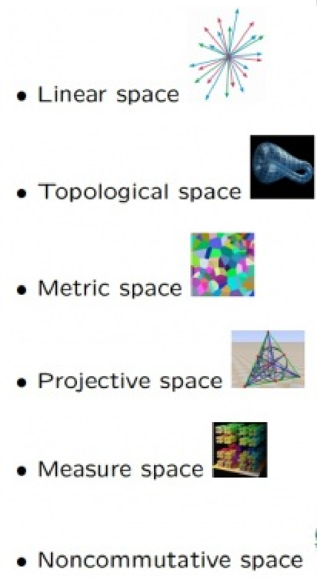
Dimensions 3 Russian
Проекции и сечения четырёхмерных правильных многогранников

И дальше

> «Уж если математики начали играться в свои игрушки, их не остановишь… »
>
> — *Хелемский «Лекции по функциональному анализу»*

То, о чём говорилось всю статью, называется четырёхмерным евклидовым пространством. «Евклидовость», если совсем грубо, обозначает то, что между точками можно мерить расстояния, что между двумя точками можно провести вектор и можно померить угол между двумя векторами, отложенными из одной точки; то есть самое что ни на есть естественное обобщение самого что ни на есть привычного пространства, с которым каждый работал на уроках геометрии.

Вообще, пространство в математике — это множество точек с некоторой структурой на нём. Например, со структурами «вектор, соединяющий пару точек», «угол между двумя векторами», «расстояние между двумя точками», «движения в пространстве», «площадь фигуры» и так далее. В современной математике всяких этих разных пространств с разными структурами просто дохерища, при этом, в одних пространствах от некоторых структур отказываются вовсе, в других уродуют до неузнаваемости и, что характерно, большинство из этих пространств действительно, так или иначе, оказываются нужными людям на практике. Некоторые из них можно упомянуть отдельно.



Джентельменский набор пространств[2], которые должен знать каждый уважающий себя задрот. И картинки, которые кое-как с ними вяжутся.

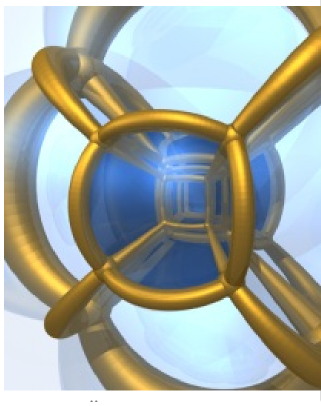
Джентельменский набор пространств[2], которые должен знать каждый уважающий себя задрот. И картинки, которые кое-как с ними вяжутся.

Презрев расстояния

Вместо того, чтобы наращивать размерности, силясь сохранить как можно больше от привычных нам концептов «угла» и «расстояния», можно попытаться видоизменить сами эти концепты и посмотреть, что получится. Например, можно разрешить быть расстоянию отрицательным или быть расстоянию между двумя точками нулём, даже когда точки как бы разные. А ещё лучше видоизменить понятие «движения», то есть, такого преобразования, при котором расстояние между двумя точками остаётся прежним. Ну, допустим, взяли вы какой-нибудь квадрат, повращали его как-нибудь, куда-нибудь перенесли и это значит, что вы этот квадрат подвигали. А можно сказать, что движение — это не вращение и повороты, а что-то другое и, тем самым, определить новую геометрию на пространстве. Так можно определить геометрию Лобачевского, Римана, Минковского и десятки других. Концепт, внезапно, оказался донельзя эпичен.

Теория относительности считает, что наше с вами пространство-время на самом-то деле подчиняется совсем другой геометрии, в которой в качестве «движения» взяты так называемые преобразования Лоренца. Лулз в том, что при таких преобразованиях с пространством-временем происходят всякие странные эффекты, время, например, может замедляться, расстояния укорачиваться и прочие майндфаки, которые нелегко давались умам того времени. Однако, тончайшие эксперименты показали, что так оно вроде бы и происходит. При этом псевдо-расстояние, сохраняющее вот эти вот преобразования Лоренца, между двумя точками-событиями там может быть отрицательным. Буржуям было трудно выговаривать фамилии ЕРЖ из глубинок Российской империи, поэтому там научный, около научный и Sci-Fi дискурсы обогатились мемом *пространственно-временной континуум*[3], без упоминания Минковского.

Такой концепт используется также в классической механике (галилеевы структуры), где тоже моделируется пространство-время, и за движение такого пространства-времени взяты преобразования «ехать прямолинейно и равномерно со скоростью v» и расстояния (опять же, не обычные евклидовые, а расстояния между точками-событиями в геометрии Галлилея) там тоже могут быть отрицательными. Другие геометрии используются ещё и в космологии, небесной механике, физике элементарных частиц.



Tour 6D
Шестимерный кубик крутят по осям и проектируют на ваш бренный двумерный монитор

Кривя, скручивая, дырявя и клея

Возьмём самую обычную сферу, любую точку на ней можно задать двумя параметрами — параллелью и меридианой, поэтому логично полагать что сфера — это тоже двумерное пространство, просто оно не плоское, а вот такое вот сферическое. Ещё раз, сама сфера является пространством, а уж вопрос о том, можно ли её вложить в наше с вами трёхмерное плоское пространство или нельзя — отдельный (ясен пень, что можно). И тут можно задаться вопросом, а можно ли аналоги всяких сфер, бубликов и прочих неровных поверхностей определить в высших размерностях? Можно, оказывается и определили. Вообще, изучение подобных поверхностей всякими разными методами сейчас в математике мейнстрим, Вербицкий и Перельман в частности занимаются этим (с несколько разных точек зрения, правда).

Более того, общая теория относительности как раз утверждает, что пространство-время у нас именно вот такое вот кривое, а искривление этого вот пространства-времени — это как раз гравитация, а теория струн утверждает, что на самом-то деле пространственных измерений у нас то ли девять, то ли десять, просто почти все из них скручены в микроскопические кружочки и мы их не видим.

Больше измерений для бога измерений!!!

В математике не проблема работать и с бесконечномерными пространствами, на них построена такая наука как функциональный анализ, нужная для квантовой механики, фильтров в фотошопе, аудио- и видеокодеков, джипега и ещё кучи вещей, так или иначе завязанных на обработке сигналов. Однако бесконечномерные пространства получаются более «размытыми», что слегка усложняет теорию: например, чисто математически можно получить, что в n-мерных пространствах (для конечного n) есть, вроде как, только один адекватный концепт «угла между двумя векторами»[4], а в бесконечномерных их оказывается бесконечно много, и все они одинаково хорошие. Однако, это легко объяснить как раз тем, что для разных задач считать два сигнала «похожими» можно разными, одинаково адекватными задаче, способами. Стоит ещё отметить, что бесконечности в математике не всегда одинаковые и одни бесконечности могут быть больше, чем другие[5], поэтому и какое-то бесконечномерное пространство может иметь размерность больше, чем другое бесконечномерное.

Размерности дробные и отрицательные

Как уже говорилось выше, пространство — это множество и какая-то структура на нём. А что же такое размерность пространства? Оказывается, что концептов «размерности пространства» в математике чуть ли не больше, чем самих пространств, на подобных концептах построена так называемая теория размерности. В частности, есть пространства дробной, так называемой хаусдорфовой размерности[6], которые называются «фракталами». С фракталами вышел отдельный лулз: дело в том, что ввёвший их некий Мандельброт написал красивую книжку с картинками, где что-то там было про математику и самоподобие в природе, тем самым расфорсиф понятие «фрактала» до того состояния, что многие считают, будто бы это передовое достижение матана, да и человечества вообще. На самом деле фракталами занимается очень ограниченное число специалистов, и, самое смешное, что единого верного определения «фрактала», которое бы устроило всех их, пока ещё нету. То есть доклад математика, который занимается фраткалами может выглядеть так: первые 2.5 часа доклада тратится на то, чтобы определить понятие «фрактала», потом говорится что, дескать, определение слишком сложное и оставшуюся его часть можно прочитать там-то и там-то, а потом говорится нечто вроде «теорема такого-то на области с фрактальной границей не обобщается». Были попытки и определения пространств с отрицательными, в некотором смысле, размерностями, но, кажется, шума в нужных кругах не получили.

Фричество на почве

Как и с любым умным понятием, будоражащим сознание обывателя, тут не обошлось без шарлатанов, философов и просто людей, которые поехали на теме. Всё как обычно — либо люди, еле-еле закончившие школу с тройками и увидев что-то непонятное, вместо того, чтобы разобраться в теме, пишут что-то вроде: «Хуйня, я эт все картинки могу в 3д максе за 20 рублей нарисовать))»; либо поехавшие, пытающиеся донести до человечества, что наука пошла совсем не по тому пути, по которому хотелось бы им, либо поехавшие на астрале, Б-ге, иных измерениях (очень вписывается!) и чём-то подобном. Общее правило такое: если ты нашёл какой-то ролик на ютубе, в котором рассказывается про четырёхмерное пространство, с большой вероятностью это хуйня, даже если там 200 тысяч просмотров и столько же лайков. На крайний случай, о содержании ролика лучше спросить на вышеуказанных сайтах для матанских задротов, там всё пояснят по хардкору.

AlexTranslations - Как представить 10 измерений
Няшный мальчик рассказывает как представить десять измерений. Видео целиком состоит из хуйни, не имеющей к сабжу никакого отношения

Типичные примеры:

Старая версия: Новая теория сотворения мира)
Имеется в наличии: четвёртое измерение, ангелы, Б-г, космология, музыка барокко, сектанский значок, похожий на сюрикен у ниндзя

Четвертое измерение
Дедок, слишком сильно впечатлившийся предыдущим видео

Четырехмерная мышь. Короткометражный Мульт.
Дословная экранизация подвала одной из страниц «Трамвая»

В культуре и вообще

> Сегодняшняя наука доказала, что существует гораздо больше измерений, чем традиционно признанные четыре. Ученые утверждают, что миру это ничем не грозит, так как сверхизмерения очень малы и замкнуты сами на себе, а поскольку реальность носит фрактальный характер, большая часть ее тоже надежно укрыта внутри самой себя. Это означает одно из двух: либо во вселенной куда больше чудес, чем мы способны постичь; либо

> ученым просто нравится придумывать разные штучки. Последнее наиболее вероятно.
>
> — *Терри Пратчетт*, *«Пирамиды»*

How to walk through walls using the 4th Dimension [Miegakure: a 4D game]
Объяснение от создателя Miegakure как в это играть
Finn will blow your mind!
Тессеракт в Adventure Time

Во всякой литературе затрагивается очень часто, начиная от Братьев Карамазовых и заканчивая тонной сайфая. Из игр, пожалуй, следует упомянуть Miegakure, в которой тема раскрыта довольно неплохо. В «Интерстелларе» гг побывал аж в пятимерном кубе, в фильме «Куб 2: Гиперкуб» главные герои весь фильм бродят по четырёхмерному кубу и с ними случаются разные странные вещи.

Писатели-фантасты тоже любят побаловаться лишними измерениями. Главный герой романа Хайнлайна «Чужак в чужой стране» эдакий уберменш мог силой мысли прятать любые предметы в непонятном четвёртом измерении. У Лавкрафта большинство монстров являются мультимерными существами, существующими сразу во множестве измерений, а то, что видят люди — лишь их проекция в трёхмерном пространстве. Подобной фигней обладает и Монолит (не тот и не этот) из «Космической Одиссеи» Артура Кларка.

Также в кино и на ТВ очень популярна концепция пространственно-временного континуума, в которой 4-м измерением выступает время. Так Док Браун в «Назад в Будущее» и Микурочка из «Харухи» объясняли возможность путешествия во времени перемещением в 4-м измерении. Сюжет нолановского «Интерстеллара» основан на перемещении в пяти измерениях, четвёртым из которых становится уже привычное время, а пятым — четвёртое пространственное, в соответствии с идеями Кипа Торна являющее собой гравитацию.

Тессеракт

Является квинтэссенцией четвёртого измерения в сознании обывателя, хотя, по сути, представляет собой просто аналог куба в четвёртом измерении. Почему именно вокруг него а не, скажем, симплекса[7] столько шума — загадка. Появляется в неподдающимся счёту числе фильмов, сериалов, игр, аниме, книг, фанфиков и прочего стаффа, за полным списком идти на вики.

Кубик Рубика и многомерные пространства

Однажды парочка гиков таки взяла и воплотила сию известную игрушку в 4D, правда, только в виде трехмерной проекции (на двумерный монитор). На официальном сайте этих ребят можно невозбранно скачать и покрутить 2D, 4D и даже 5D кубики Рубика с ребром 3 и их аналоги с ребром 4, 5 и даже 120, всякие многомерные приблуды типа мегаминкса и сложноописываемые фигуры-головоломки неправильной формы, опять же, выполненные в 3+ измерении. А еще там есть зал славы, в котором находятся ребята, собравшие эти кубы и прикрепившие пруф — логи программы-головоломки. На данный момент там всего чуть более, чем двести человек.

См. также

- Матан
- Теория относительности
- Теория струн

Ссылки

- Dimensions — серия годных роликов, где под незатейливый эмбиент рассказывают о разных крутых штуках в математике, в том числе и о сабже.
- Флатландия — годный рассказ с картинками на тему.
- Четвёртое измерение в физике

Примечания

1. ↑ Как это обычно бывает в истории науки, Декарт придумал немного не то, да и не один Декарт, видимо к этому был причастен Ферма и ещё сотни имён, канувших в Лету истории.
2. ↑ Если говорить чуть более точнее, то это не «пространства», а «классы пространств», в которых содержится куча (обычно — бесконечно много) конкретных пространств. при этом некоторые из этих классов являются подклассами других. Например: любое евклидово пространство естественным образом наделяется метрикой и становится метрическим пространством, а любое метрическое пространство естественным образом наделяется топологией и становится топологическим пространством. Однако не любое топологическое пространство является метрическим.
3. ↑ Пространство-время на современном языке
4. ↑ Строго говоря, таких концептов в конечномерном пространстве тоже бесконечно много, но любой такой концепт получается из любого другого сменой системы координат. Строго это звучит так: «все евклидовы пространства одинаковой размерности изоморфны».

5. ↑ Смотри кардинальное число, а ещё лучше брошюру Верещагина и Шеня «Начала теории множеств»
6. ↑ Которая не совсем чтобы и размерность, вот что пишет специалист по общей топологии о, так называемых, «фрактальных размерностях» (если коротко — некоторые аналогии с привычными размерностями есть, а некоторых нет).
7. ↑ Четырёхмерная пирамидка в виде пентаграммы. А вообще этим словом называют любую конструкцию, где каждая точка соединена со всеми остальными.

Матан

265 Science freaks Scorcher.ru Sherak TeX Xkcd Алекс Лотов Александр Никонов Андрей Скляров Артефакты Петербурга Атомная бомба Березовский Бесполезная наука Биореактор Блез Паскаль Большой адронный коллайдер Большой взрыв Британские учёные Бритва Оккама Бронников Вадим Чернобров Вассерман Великая тайна воды Великая теорема Ферма Миша Вербицкий Вечный двигатель Взлетит или не взлетит? Виктор Катющик Виктор Петрик Владимир Жданов Высшая математика Геннадий Малахов Геометрия Лобачевского Гомеопатия ГСМ Двести двадцать Декарт Деление на ноль Детерминизм Дети индиго Дигидрогена монооксид Древний Египет/Клюква Евгеника Задача Льва Толстого Задача Эйнштейна Закон Мерфи Закон Парето Инженер Информационное поле Вселенной ИТМО Как поймать льва в пустыне Кари Байрон Карл Саган Квадратно-гнездовой способ мышления Квадратура круга Квантовая механика Клон Когнитивная психология Коробочка фотонов Корчеватель Кот Шрёдингера Критерий Поппера Кубик Рубика Лаборатория Лейбниц Леонардо да Винчи Луговский Лунный заговор Лысенко Льюис Кэрролл Любительская астрономия Мальтузианство Матан Матан/Элементарные частицы Межконтинентальная баллистическая ракета Метод научного тыка Мулдашев МФТИ Мэттью Тейлор Нанотехнологии Наука vs религия Научное фричество Научный креационизм Научный креационизм/Аргументация Неуместный артефакт Никола Тесла НЛП НМУ Олег Т. Омар Хайям Палата мер и весов Пентаграмма Григорий Перельман Переслегин Пик нефти Пирамидосрач Плутон Принцип Арнольда Простые числа Пушной

w:Четырёхмерное пространство en.w:Four-dimensional space tv:MoreThanThreeDimensions