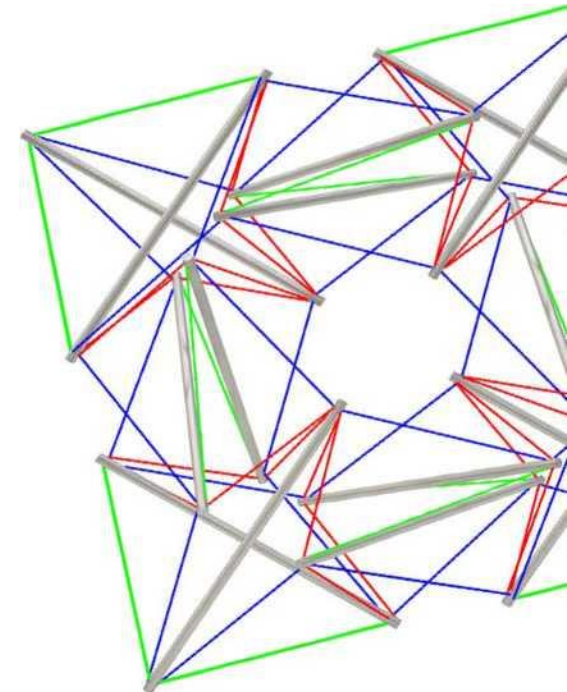
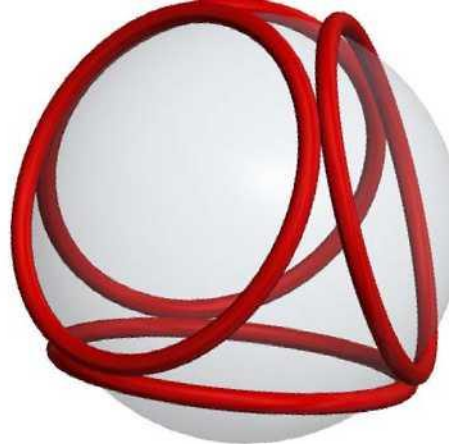
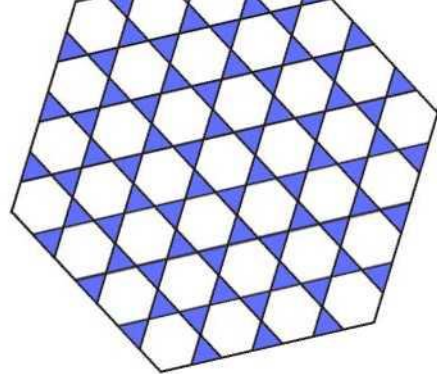
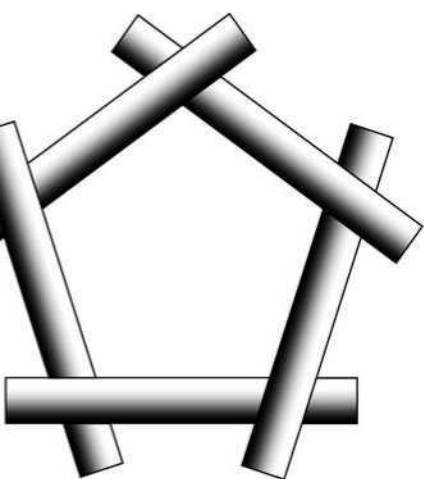


КЕННЕТ СНЕЛЬСОН, БИНАРНЫЙ МИР

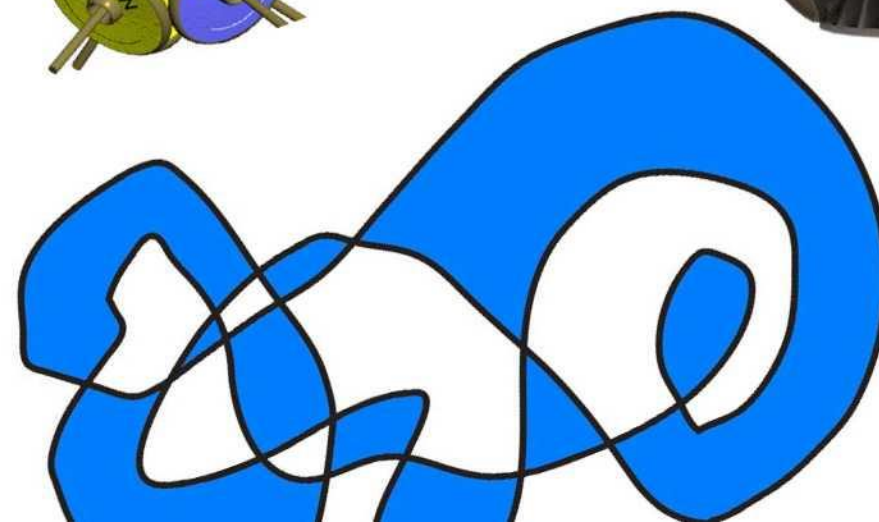
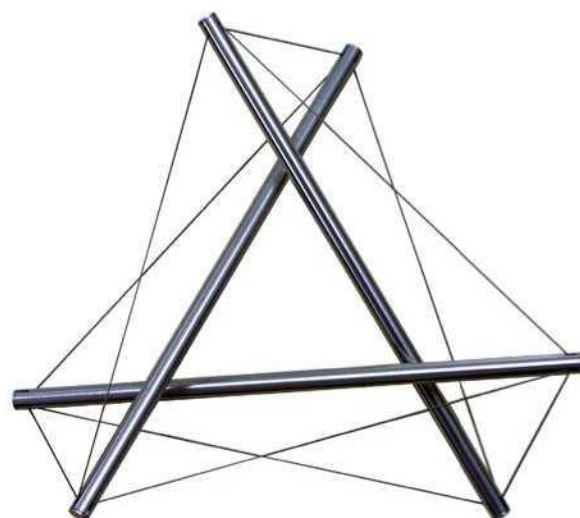
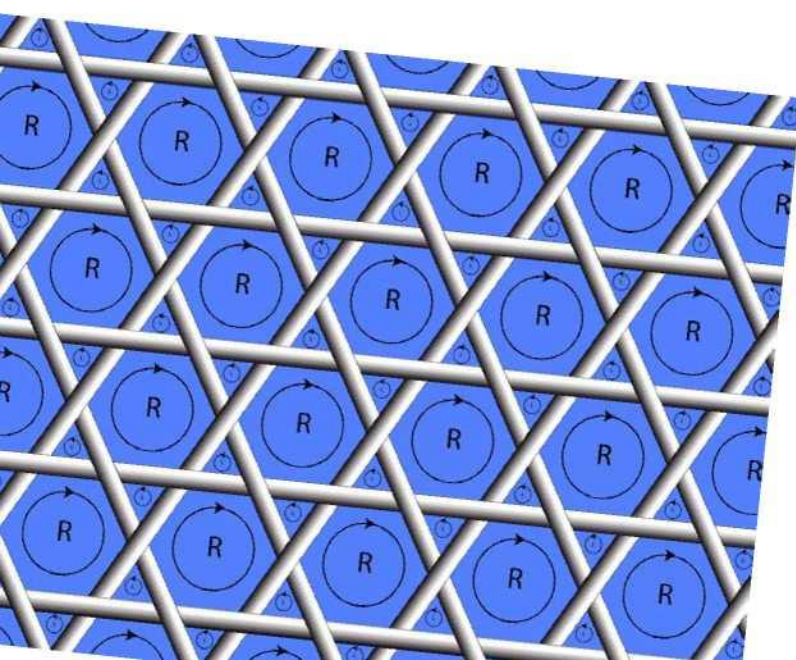
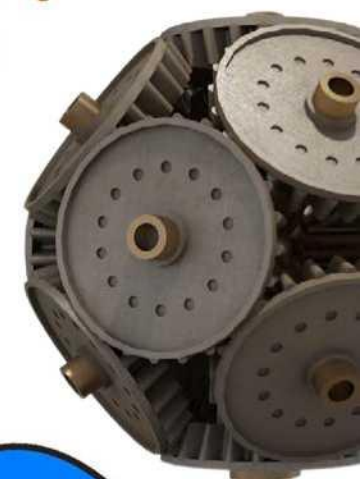
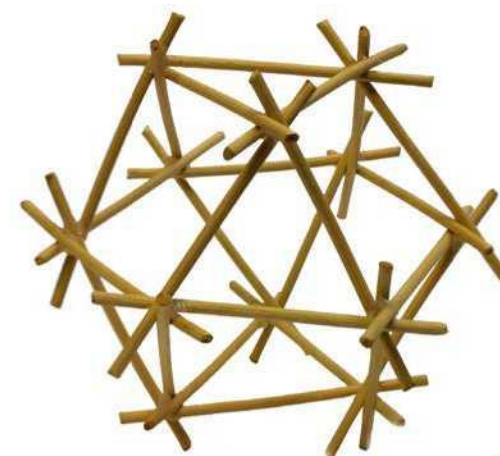


ТЕНСЕГРИТИ, ПЛЕТЕНИЕ И БИНАРНЫЙ МИР



ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА И БИНАРНОСТЬ СИЛ

по
Кеннету Снельсону



ПРИРОДА СТРУКТУРЫ ТЕНСЕГРИТИ, ПЛЕТЕНИЕ И БИНАРНЫЙ МИР

Среди терминов, обозначающих двойственность, есть дуальность, бинарность, двойник, пара, чета/сцепка, двоякость, инь-ян¹. Эти слова представляют идеи и убеждения в искусстве, литературе, религии, науке и философии всех культур. Слова двойственности ассоциируются с добром и злом, мужским и женским, севером и югом, прошлым и будущим, днем и ночью, верхом и низом, отталкиванием и притяжением, жизнью и смертью.

Различные структуры свидетельствуют о явлении двойственности, укорененном в природе вещей, с примерами вращения по часовой стрелке и против нее зубчатых передач, сжатия против растяжения в структурах тенсегрити, правосторонних и левосторонних спиралей ткацкой намотки, или просто в чередовании цветных квадратов на шахматной доске.

Третий закон движения Исаака Ньютона ясно и просто формулирует двойственность физических сил: каждому действию соответствует равное и противоположное действие. В этом иллюстрированном эссе я описываю, как третий закон Ньютона и дуальность отражены во многих типах структур.

1. В перечислении оригинала, имеющем высокую синонимичность перевода: «...duality, binary, twin, pair, couple, double, yin-yang...». Перечисление естественно-языковых синонимичных рядов может быть рассмотрено как эпистемический прием при введении новых понятий (нередко встречающийся, кстати), соответствующий тезису Пирса. (Примечание переводчика.)

ШАХМАТНАЯ ДОСКА

В шахматном узоре два цвета чередуются в каждой ячейке. Шахматная доска – это композиция «фигура-фон» со своей собственной эстетикой, визуальная система, встречающаяся в искусстве и архитектуре культур всего мира.

Независимо от того, состоит ли шахматная сетка из многоугольников (рис. 1) или из случайных фигур (рис. 2), она демонстрирует главную красоту бинарности, где соседние элементы имеют противоположный цвет.

Пересечение двух линий, одна из которых проходит через другую – это явление, первопричинное событие, инициирующее шахматный узор. Место пересечения линий делит плоскость на квадранты, позволяя бинарно раскрасить чередующиеся ячейки.

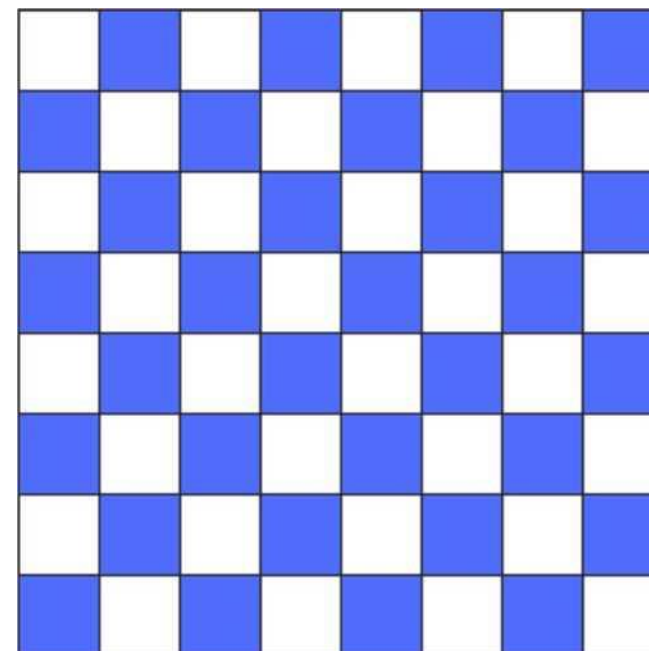


Рис. 1

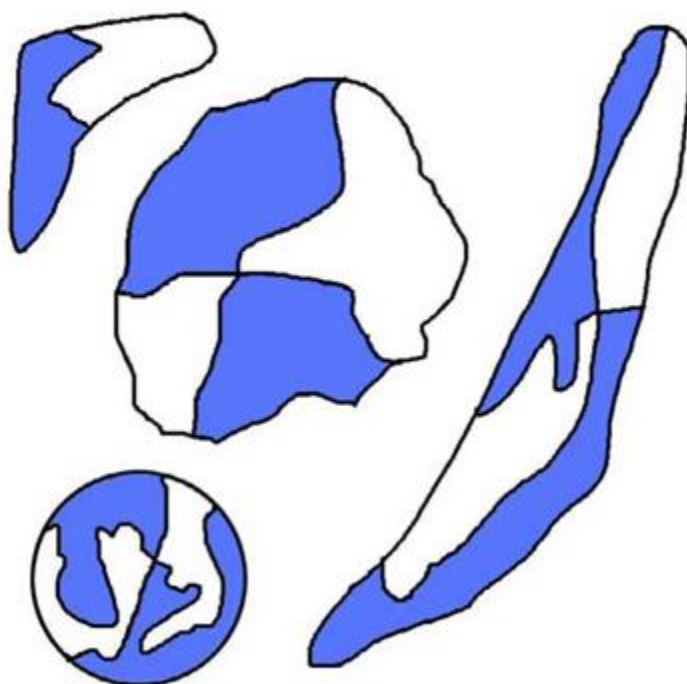


Рис. 2

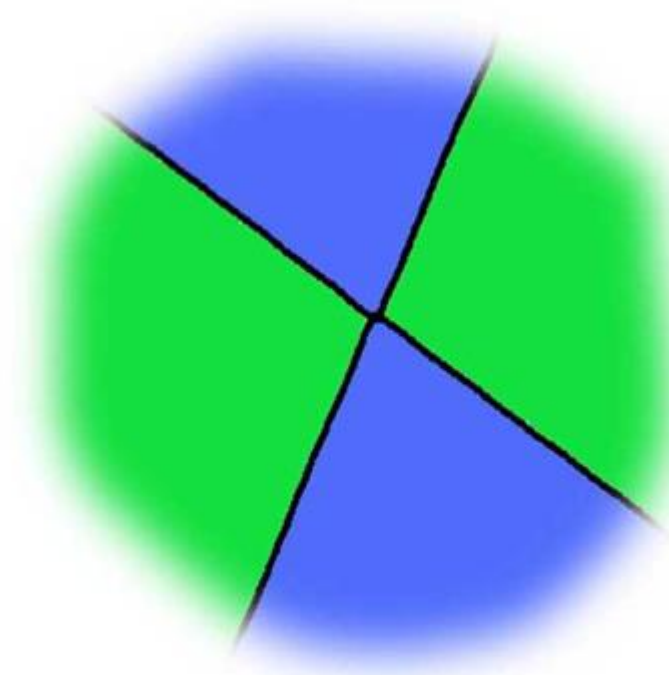


Рис. 3

БИНАРНОСТЬ, ПРИРОДНЫЙ ФЕНОМЕН

КЛЕТЧАТЫЕ КАРАКУЛИ

Каракули из замкнутых петель (рис. 4) позволяют создать двухцветную шахматную доску: каждое место пересечения линий образует четыре отдельные области чередующихся цветов.

На рис. 5 на места пересечения линий наложены небольшие красные «мосты» (увеличены на рис. 5а). Как в тканом полотне, пересечения чередуются сверху и снизу по всей извилистой фигуре. Петлеобразная линия со множеством ее пересечений может рассматриваться как сплетенный узел. Это прекрасное явление иллюстрирует сущностную бинарность природы.

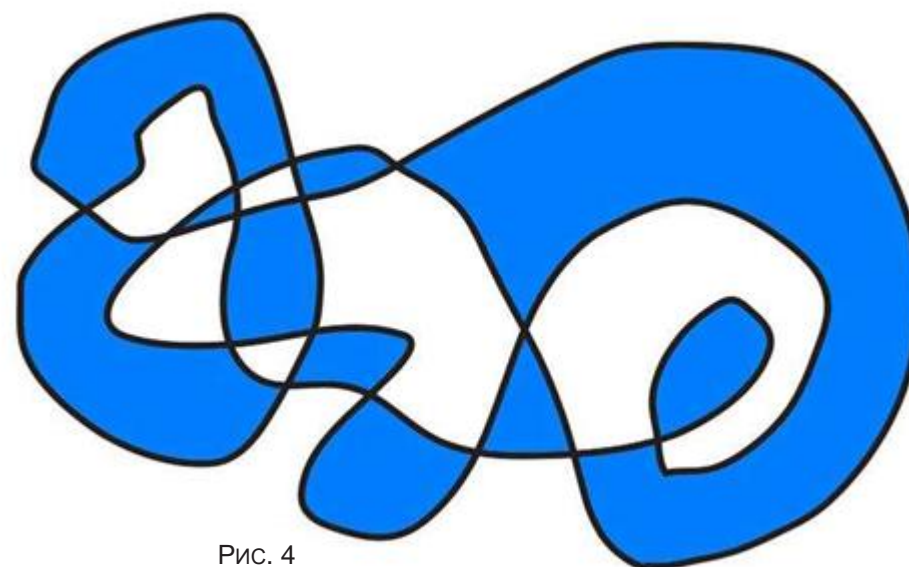


Рис. 4

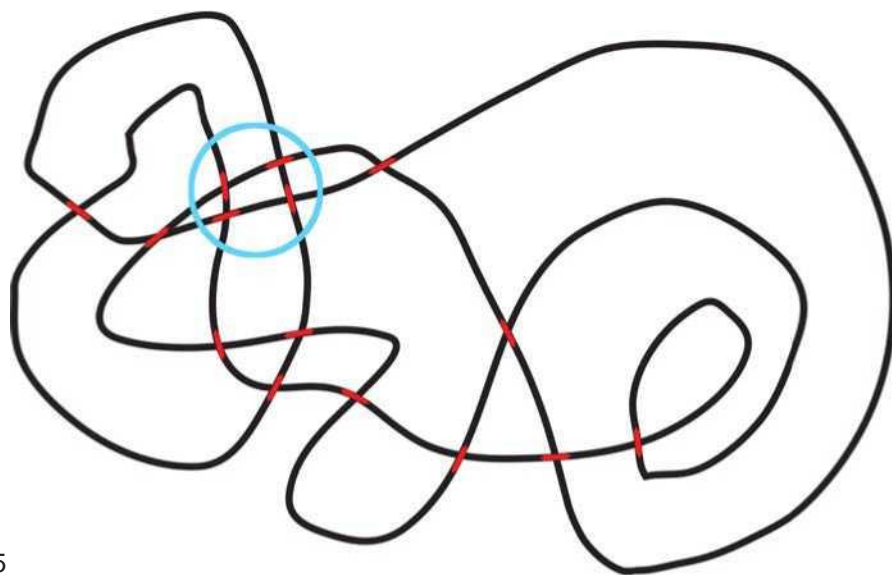


Рис. 5

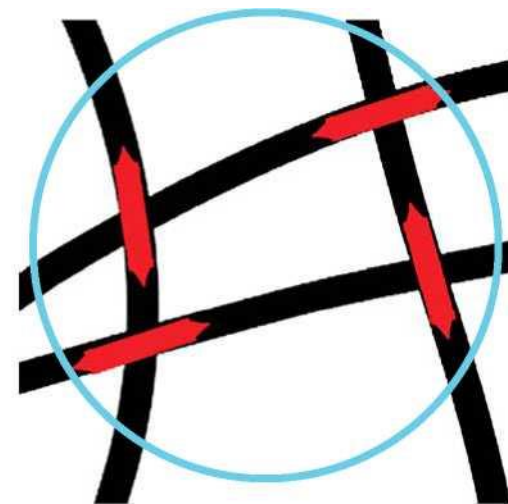


Рис. 5А

БИНАРНОСТЬ ШЕСТЕРНЕЙ ПО ЧАСОВОЙ СТРЕЛКЕ И ПРОТИВ НЕЕ

Поскольку принцип шахматной доски касается чередующихся соседей, он также применим к бинарному вращению зубчатых передач по часовой стрелке/против нее (рис. 7) и притяжению Северного и Южного полюсов магнитов с противоположной полярностью: Север на одной грани, Юг на другой. (рис. 8 и 8А)



Рис. 7

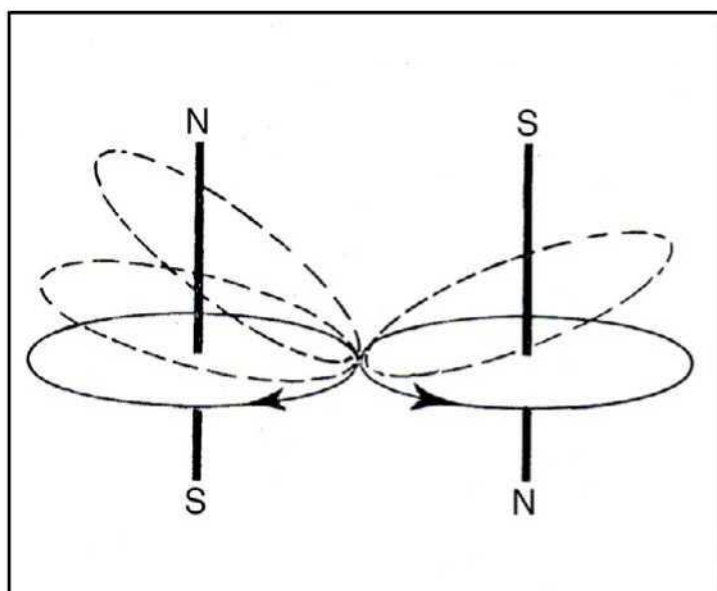


Рис. 8А

Дискообразные магниты и токовые петлевые магниты притягиваются друг к другу по краям, когда полюса расположены в противоположных направлениях.

Или лицом к лицу, когда северный и южный полюсы выровнены.

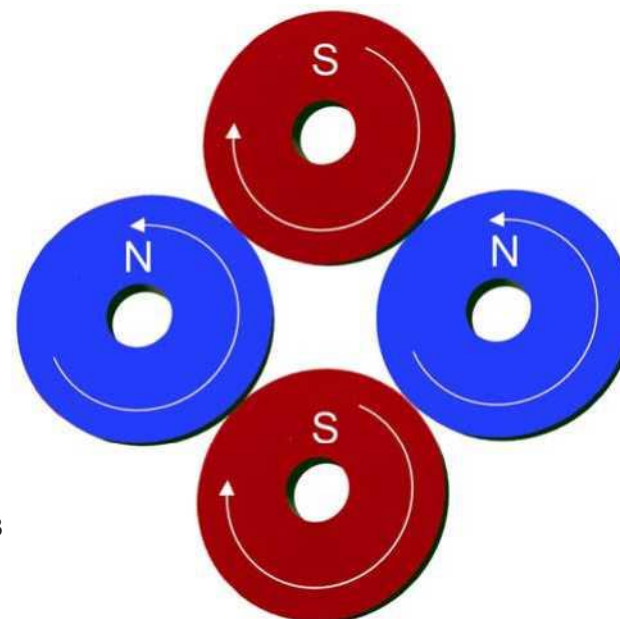


Рис. 8

ПЛЕТЕНИЕ: МАТЬ ТЕНСЕГРИТИ²

О ПЛЕТЕНИИ

Древнее изобретение плетения/ткачества демонстрирует основные свойства природной структуры: модульное повторение, левую и правую спиральную симметрию, и тесную связь между геометрией и физической структурой.

Существуют только две основные структуры плетения ткани: стандартное двухстороннее простое плетение из квадратов (рис. 9) и трехстороннее треугольное/шестиугольное плетение (рис. 10), наиболее часто используемое в плетении корзин. Хотя существует множество вариаций, таких как перекрещивание, удвоение и т. д., эти две являются единственными основными формами.

Единичный случай плетения, когда две нити пересекаются и соприкасаются друг с другом (рис. 11), и при этом каждая из них деформирует другую в месте соприкосновения, сам по себе представляет элементарную структуру. В точке пересечения две нити образуют дуальные спиральные оси, одна из которых вращается по часовой стрелке вправо, а другая – против часовой стрелки влево.

Обходные пути, кресты и буквы «X» стали мощными символами и знаками: христианский крест, череп и скрещенные кости, скрещенные пальцы, Xd out, подписи «здесь», «не входить».

Этот элементарный принцип пересечения отражает пересечения шахматных каракулей на рис. 5. Это бинарное свойство, наряду с вращением шестерен вправо и влево (рис. 7) и северной и южной полюсами магнитов (рис. 8), является основой бинарности. Эти дуальности, эти смены право- и левостороннего вращения при каждом пересечении, дают первый урок природы о фундаментальной структуре. Спиральный феномен играет жизненно важную роль в определении того, соединятся две отдельные части или нет.

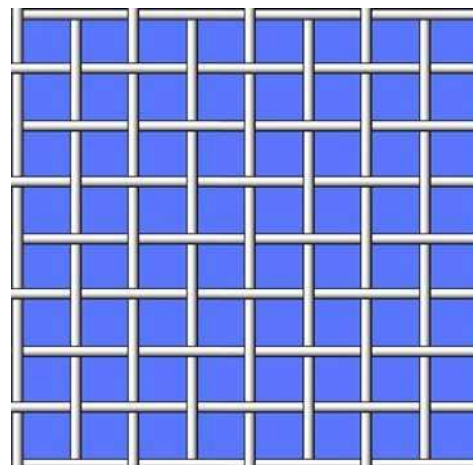


Рис. 9. Обычное квадратное плетение.

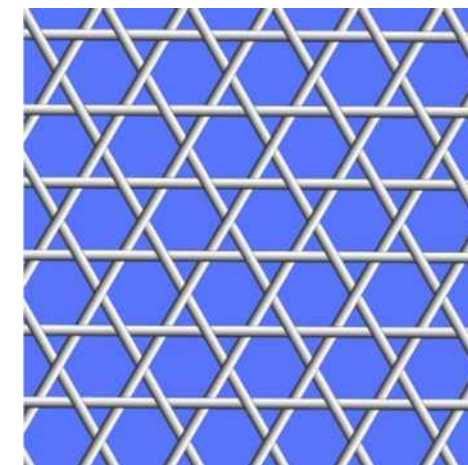


Рис. 10. ТРЕХСТОРОННЕЕ ТРЕУГОЛЬНОЕ/ШЕСТИГРАННОЕ ПЛЕТЕНИЕ. В Азии: «КАГОМЕ».

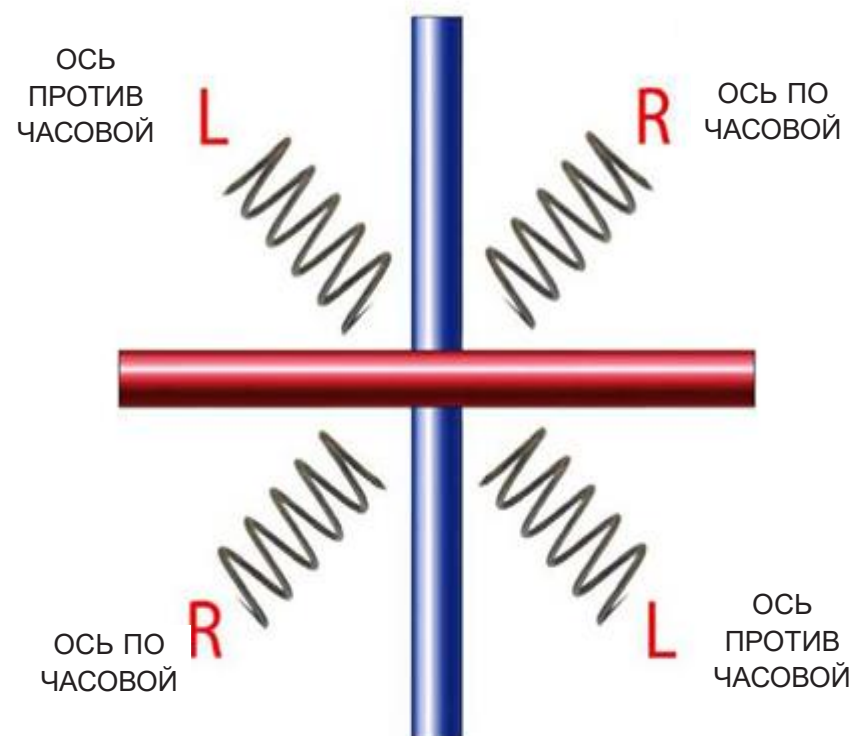


Рис. 11

Скрестите два карандаша. Положите большой и указательный пальцы на карандаши и проведите ими к центру. Ваша рука будет стремиться вращаться либо по часовой стрелке, либо против часовой.

2. «Weaving» также переводится как ткачество, но здесь, равно как в случае заголовка, переведено словом, не содержащим частноострашевых коннотаций.

ПРАВАЯ СПИРАЛЬ, ЛЕВАЯ СПИРАЛЬ

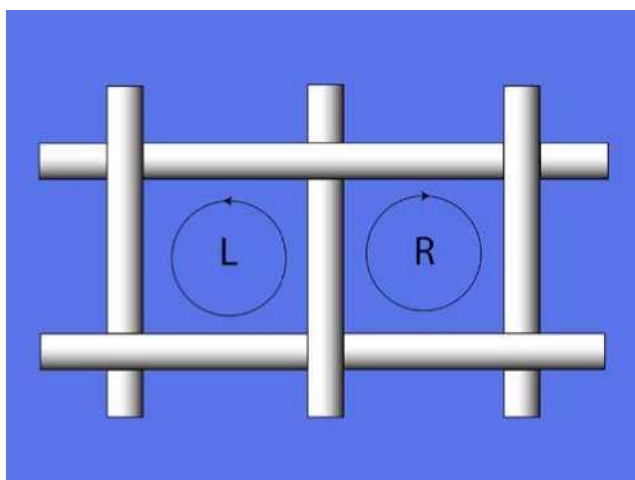


РИС. 10. КВАДРАТНОЕ ПЛЕТЕНИЕ

Подобно тому, как отдельные пересечения нитей имеют чередующиеся спиральные оси, так и каждый квадрат в простом переплетении чередуется со своими соседями, подобно клеткам шахматной доски. Чтобы доказать, является ли клетка переплетения правосторонней или левосторонней, представьте, что ваши пальцы скользят по рамке клетки. Ваша рука будет двигаться «вниз» по часовой/против часовой стрелки в соответствии с «вращением» клетки.

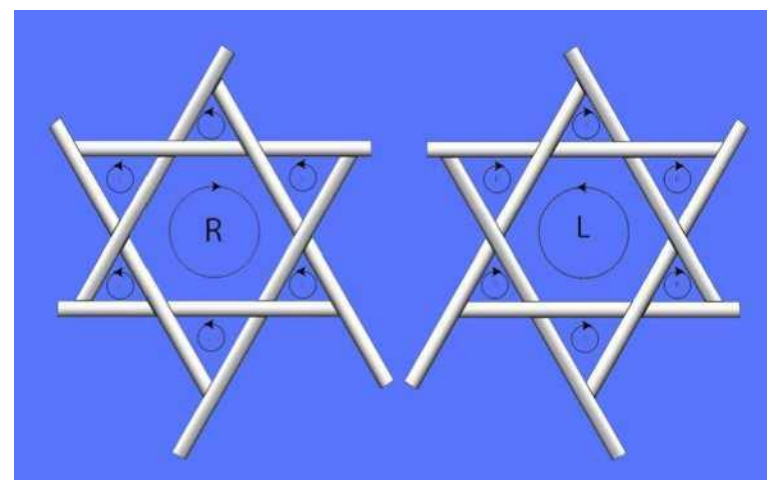
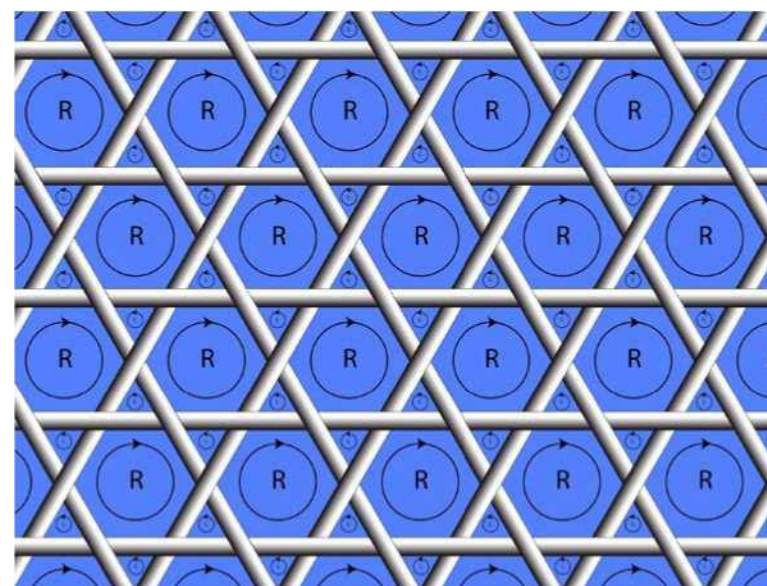
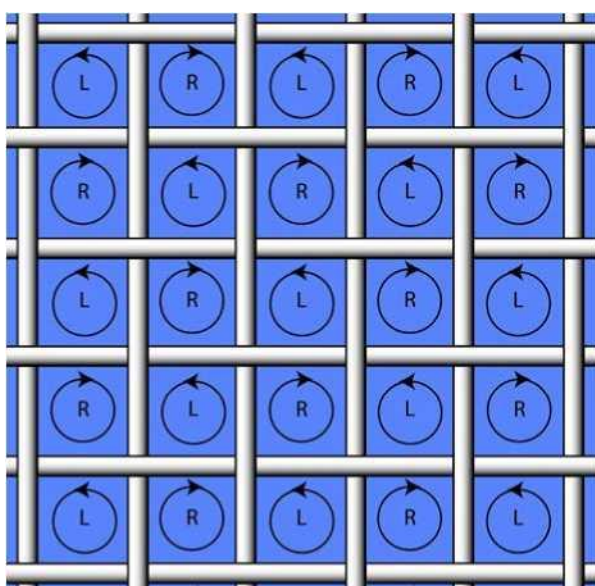


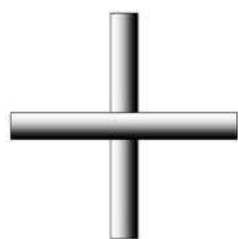
РИС. 11. ТРЕХСТОРОННЕЕ ПЛЕТЕНИЕ КАГОМЕ

В трехстороннем плетении, или плетении кагоме, шестиугольники чередуются с треугольниками. Если шестиугольники имеют спираль, вращающуюся по часовой стрелке, то треугольники вращаются против часовой стрелки. Если шестиугольники вращаются против часовой стрелки, то треугольники вращаются по часовой стрелке.



ПЯТЬ БАЗОВЫХ КЛЕТОК ПЛЕТЕНИЯ

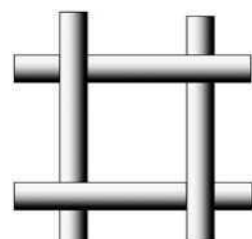
Ниже представлены пять основных типов ячеек плетения. Пятисторонний пятиугольник используется только в корзиноподобных плетеных сферах или корзинах со сложной кривизной.



Двусторонний
ПЕРЕКРЕЩИВАЮЩИЙСЯ
УЗЕЛ



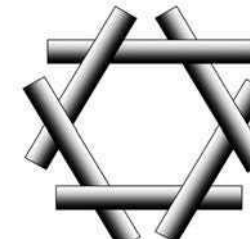
ТРЕХСТОРОННИЙ
ТРЕУГОЛЬНЫЙ
УЗЕЛ



Двусторонний плоский
УЗЕЛ ПЛЕТЕНИЯ



Пятисторонний
ПЕНТАГОНАЛЬНЫЙ УЗЕЛ
ПЛЕТЕНИЯ, ТРЕБУЮЩИЙСЯ ДЛЯ
КОРЗИНОПОДОБНЫХ ПЛЕТЕННЫХ
СФЕР



ТРЕХСТОРОННИЙ
ГЕКСАГОНАЛЬНЫЙ
УЗЕЛ ПЛЕТЕНИЯ



РОТАНГОВЫЙ ШАР, ВЫПОЛНЕННЫЙ
В ТЕХНИКЕ КОРЗИННОГО ПЛЕТЕНИЯ,
ОЧЕРЧЕННЫМИ ТРЕУГОЛЬНЫМИ,
ПЯТИУГОЛЬНЫМИ И
ШЕСТИУГОЛЬНЫМИ ЯЧЕЙКАМИ,
ТАИЛАНД.



РЕЗНОЙ ШАР ИЗ
СЛОНОВОЙ КОСТИ С
УЗОРОМ КОРЗИННОГО
ПЛЕТЕНИЯ.
КИТАЙ, XIX ВЕК.

ПЛЕТЕННЫЕ КОЛОННЫ

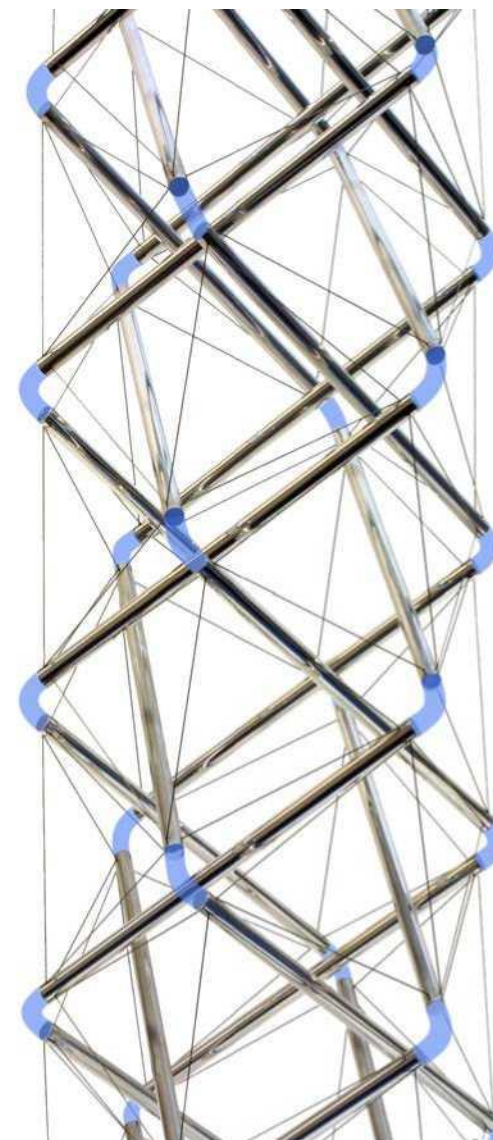
Три показанные здесь колонны имеют сходство с плетением кос [braiding] или заплетанием [plaiting]. Распорки тенсегрити-колонны (Башня Е. Q. [E. Q. Tower) имеют узор плетения, хотя и не соединены напрямую друг с другом.



КОЛОННА ИЗ ПЛЕТЕНОГО ВИНИЛА

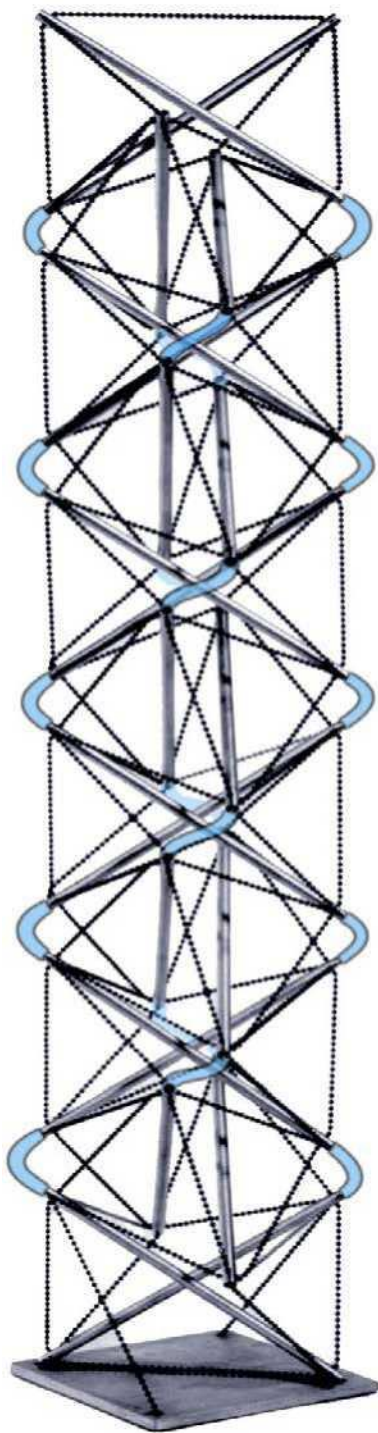


ЗАХВАТ КЕЛЛУМА;
ПЛЕТЕННЫЙ ПРОВОЛОЧНЫЙ КАНАТ



КОЛОННА Е. Q. [E. Q. COLUMN], ТЕНСЕГРИТИ СТРУКТУРА ПОКАЗАНА ЗДЕСЬ С НАЛОЖЕННЫМИ СИНИМИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫМИ ЛИНИЯМИ МЕЖДУ СТОЙКАМИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЗОРА ПЛЕТЕНИЯ

ДВУСТОРОННЕЕ ПЛЕТЕНИЕ, X-МОДУЛЬ, КОЛОННА



X-МОДУЛЬНАЯ КОЛОННА

Колонна с X-образными модулями также определяется плетением. Слева показана двусторонняя колонна «плавающего сжатия» с x-модулями³ с наложенными синими соединительными линиями для обозначения путей плетения сжатых элементов. На рисунке справа показана секция колонны из виниловых трубок, сплетенных таким образом, что для имитации тенсегрити-структуры X-образных модулей требуется четыре переплетенные трубки. Выражение «двусторонняя» относится к набору из двух распорок каждого X-образного модуля.



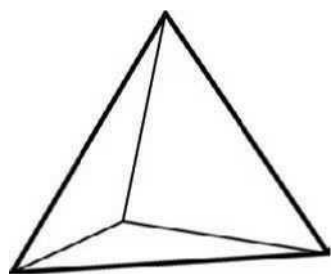
ПЛЕТЕНАЯ КОЛОННА ИЗ ВИНИЛОВЫХ ТРУБОК

3. В оригинале – «floating compression», термин К. Снельсона, синонимичный «tensegrity» Р.Б. Фуллера, в котором раскрывается видение Снельсоном природной сути этого типа несущих систем. Имеет значение в смысле спора Снельсона и Фуллера о приоритете их изобретения. В одних случаях в этой работе используется «floating compression», в других – «tensegrity», без кавычек. (Примечание переводчика.)

ПРАВИЛЬНЫЕ МНОГОГРАННИКИ И МНОГОГРАННИКИ ПЛЕТЕНИЯ

Представленные до сих пор ячейки плетения относятся к многоугольникам; к треугольникам, квадратам и т. д., ребра которых обходят друг друга. Также возможно преобразование трехмерных тел, тетраэдров, октаэдров и т. д., в ячейки, подобные ячейкам плетения, с использованием стержней в качестве ребер многогранников. Я называю эти гибридные конфигурации «многогранниками плетения». Ниже

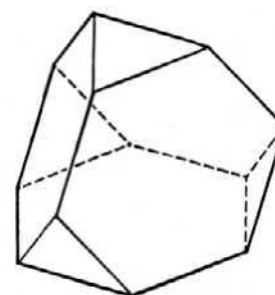
показаны: тетраэдр плетения, усеченный тетраэдр плетения, октаэдр плетения и кубоктаэдр плетения. Благодаря спиральному обходу в углах эти трехмерные структуры обладают всеми характеристиками ячеек ткацкого плетения, за исключением того, что каждая из них представляет собой пространственную фигуру, подобную своему родительскому многограннику.



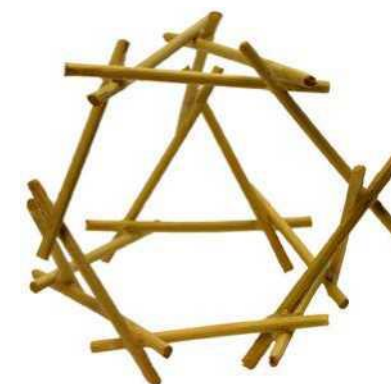
ПРАВИЛЬНЫЙ ТЕТРАЭДР



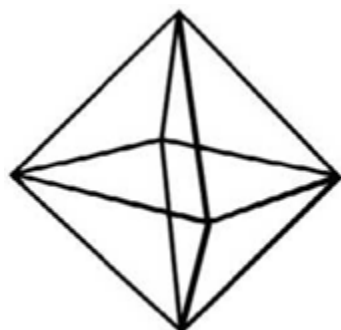
ПЛЕТЕННЫЙ ТЕТРАЭДР



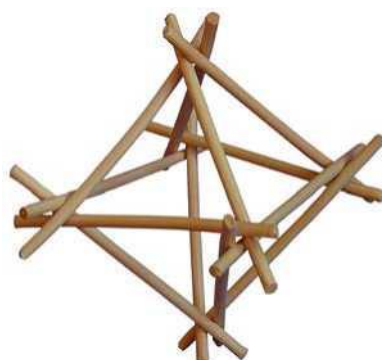
УСЕЧЕННЫЙ ТЕТРАЭДР



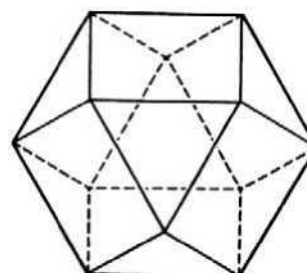
УСЕЧЕННЫЙ ПЛЕТЕННЫЙ
ТЕТРАЭДР



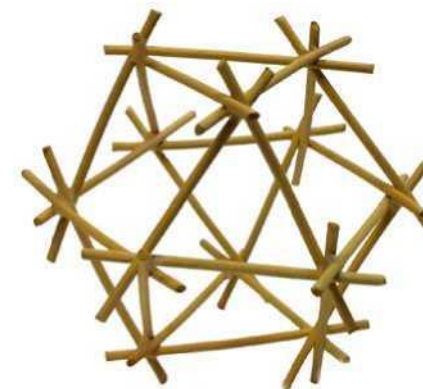
ПРАВИЛЬНЫЙ ОКТАЭДР



ПЛЕТЕННЫЙ ОКТАЭДР



КУБОКТАЭДР



ПЛЕТЕННЫЙ КУБОКТАЭДР

ПЛЕТЕННЫЕ ТРЕХМЕРНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КАРКАСЫ



Искусство плетения/ткачества существовало с самого начала цивилизации. Археологи обнаружили свидетельства ткачества в Египте еще в 4000 году до нашей эры. Изобретение этого универсального ремесла, должно быть, было поистине удивительным.

В 1965 году, экспериментируя с модульно повторяющимися системами тенсегрити, я начал понимать, что существует несомненная родственная связь между тенсегрити и ткачеством.

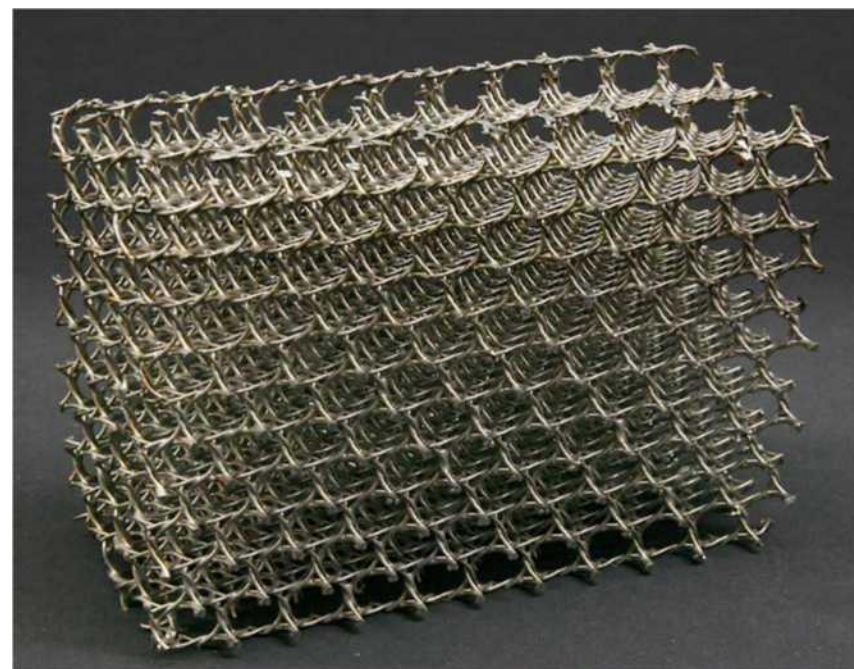
На фотографии выше я в Сагапонке, штат Нью-Йорк, с моими первыми конструкциями из деревянных стержней, представляющими собой тетраэдрические (слева) и октаэдрические (справа) пространственные каркасы. Третья форма (в центре), состоящая из кубов, не имеет триангуляции, что исключает её из числа устойчивых пространственных каркасов. Невозможно сказать, было ли моё открытие действительно новым или всего лишь повторным открытием чего-то известного ранее, возможно, в другую эпоху и в другой цивилизации. Патентное ведомство США не смогло найти ни одного более раннего примера. [Патент] № 6 739 937

Трехмерное плетение/ткачество можно рассматривать как расширение традиционного плоского плетения/ткачества. В трехмерном ткачестве

двусторонние и трехсторонние плоские грани упорядоченно пересекаются, образуя «многогранники плетения», как описано на следующих страницах.

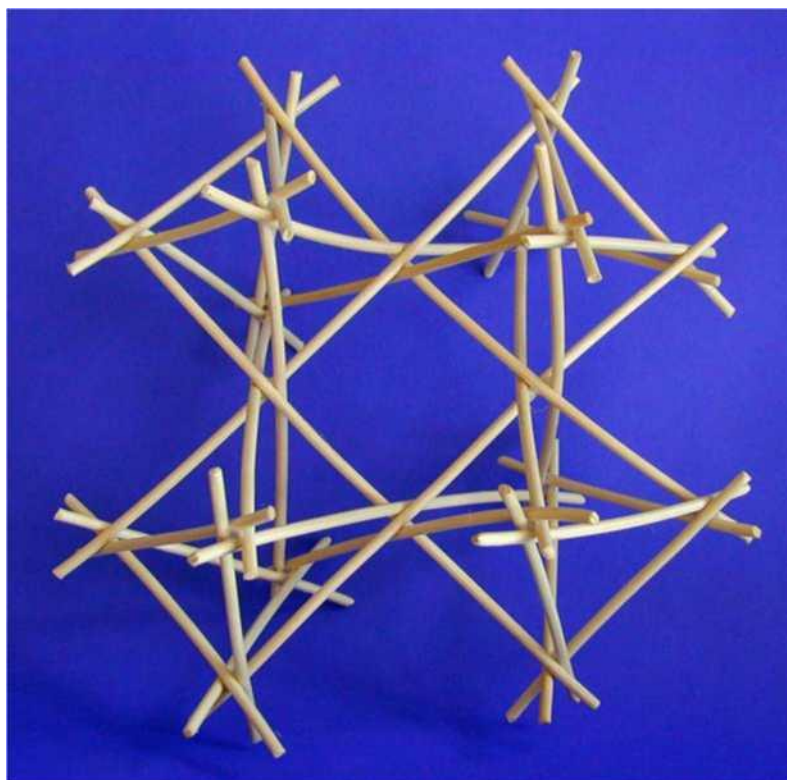
Вероятная причина того, что пространственное плетение до сих пор не было открыто и не практиковалось заключается в том, что, несмотря на бесчисленные возможности применения ткачества и плетения корзин, не было необходимости в пространственном каркасном плетении.

Корейский инженер Ки Джу Кан [Ki Ju Kang] разрабатывает приложение для трехмерных пространственных каркасов. Он экспериментирует с трехмерным плетением, которое назвал «проволочно-плетеными объемными фермами Кагеме». Ки Джу надеется, что его плоские проволочные фермы будут адаптированы для производства высокопрочных стальных сэндвич-панелей для судостроения и авиационной техники.

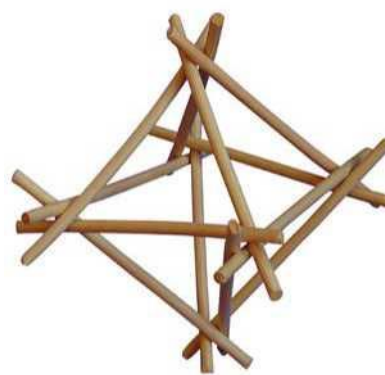


Ки Джу Кан, МОДЕЛЬ КОСМИЧЕСКОГО
КАРКАСА ИЗ ПРОВОЛОКИ, 7x7x2,5
ДЮЙМА. ПОДАРОК СНЕЛЬСОНУ, 2012.

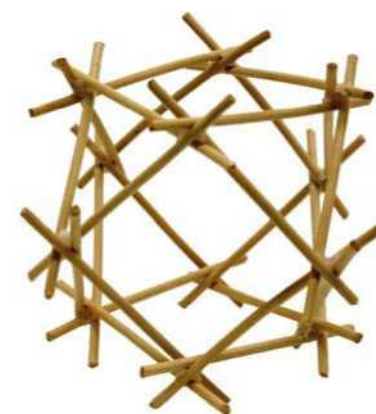
ОКТАЭДРИЧЕСКИЕ/КУБОКТАЭДРИЧЕСКИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КАРКАСЫ



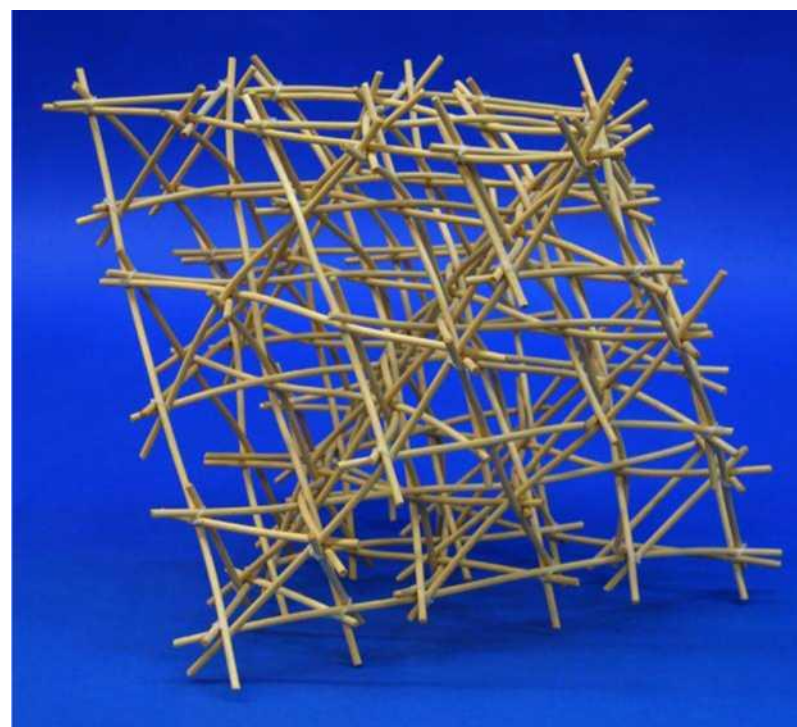
Четыре октаэдра, иллюстрирующие основной трехмерный октаэдро-кубооктаэдрический узор плетения. В центре группы находится квадрат, знаменующий кубоктаэдр; в этом примере с четырьмя ячейками он выполнен лишь наполовину.



ПЛЕТЕННЫЙ ОКТАЭДР



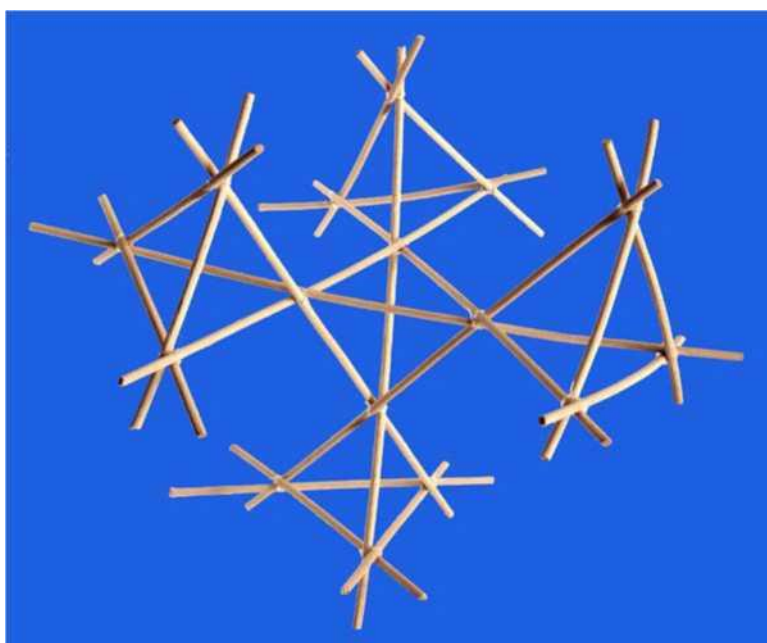
ПЛЕТЕННЫЙ КУБОКТАЭДР



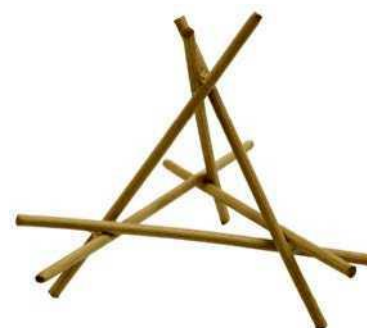
Пространственный каркас из ротанга, сотканный из октаэдров/кубооктаэдров.

ТЕТРАЭДРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-КАРКАСНОЕ ПЛЕТЕНИЕ

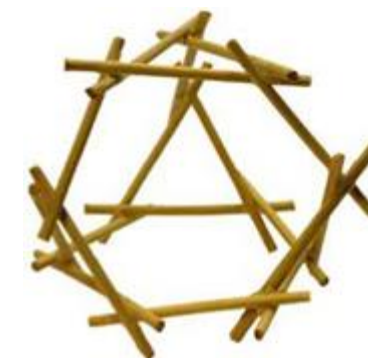
Этот пространственный узор плетения имеет четыре различных направления плоских треугольно/шестиугольных граней плетения. Эти повторяющиеся грани совпадают с лицевыми гранями нормального тетраэдра. Чередующиеся, более крупные формы, усеченные тетраэдры плетения, занимают полости между тетраэдрами плетения.



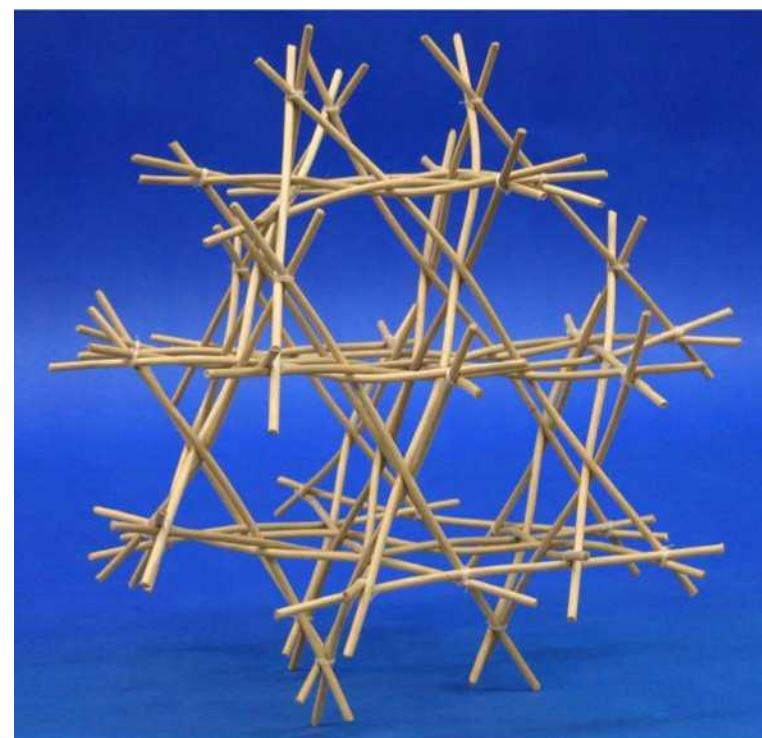
Пять тетраэдров плетения демонстрируют основной трехмерный тетраэдрический узор плетения, состоящий из тетраэдров плетения и усеченных тетраэдров плетения, чередующихся в пространстве друг с другом.



ПЛЕТЕННЫЙ ТЕТРАЭДР



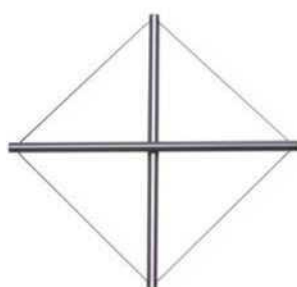
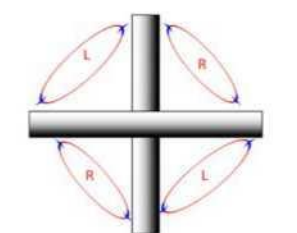
ПЛЕТЕННЫЙ УСЕЧЕННЫЙ
ТЕТРАЭДР



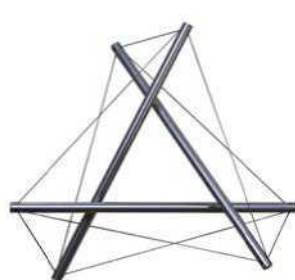
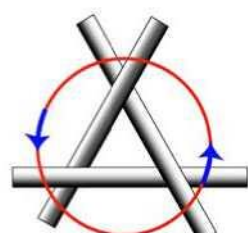
Пространственный каркас из ротанговых тетраэдров/усеченных тетраэдров.

ОТ ПЛЕТЕНИЯ
К ТЕНСЕГРИТИ

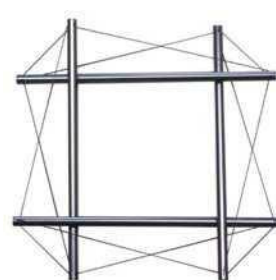
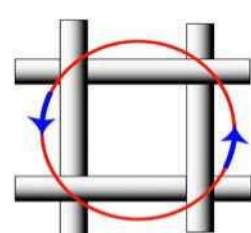
ЯЧЕЙКИ ПЛЕТЕНИЯ – В ЯЧЕЙКИ ТЕНСЕГРИТИ



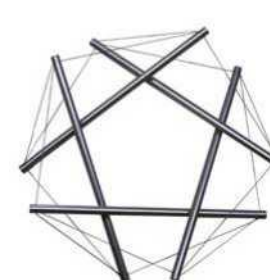
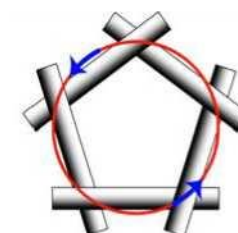
X-модуль;
полная триангуляция



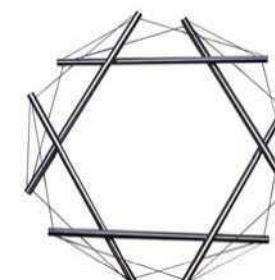
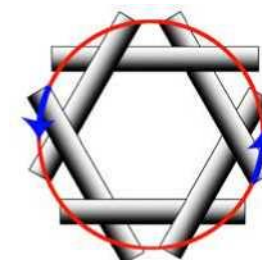
Трехсторонняя призма;
полная триангуляция



Квадратная призма;
квадраты не триангулированы



Пятиугольная призма;
пятиугольники
не триангулированы



Шестиугольная призма;
шестиугольники
не триангулированы

В верхнем ряду показаны пять основных фигур плетения. Ниже них расположены эквивалентные модули тенсегрити. Отдельные натяжные линии – нити, проволока или веревка – прикреплены к концам стоек, как показано на рисунке, таким образом, что каждая сборка представляет собой замкнутую систему, состоящую из элементов натяжения и сжатия. Каждая натяжная линия соединяется индивидуально с концами двух стоек. Они не продеваются насквозь как нить бусин. Их натяжение необходимо регулировать как при настройке струнного инструмента или накачивании автомобильной шины.

Подтягивание системы натяжения и сжатия накапливает равные величины как растягивающих, так и сжимающих, сил, и это состояние инженеры называют «предварительным напряжением» [prestressing]⁴. Энергия остается внутри конструкции до тех пор, пока она не будет разобрана.

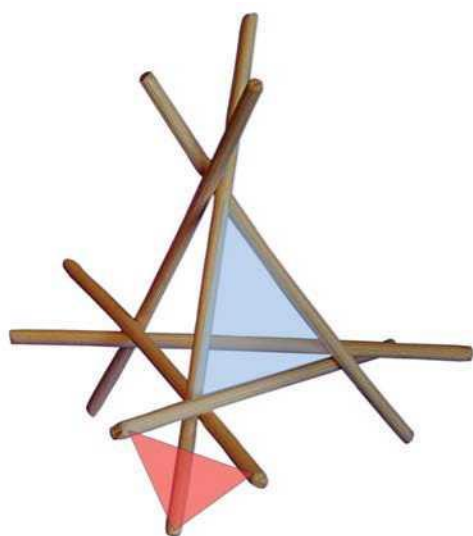
На приведенных выше рисунках только двухстержневой «х-образный модуль» и трехстержневая призма имеют сети натяжения с полной триангуляцией. Сети квадратной призмы, пятиугольной призмы и шестиугольной призмы не состоят из треугольников. В тенсегрити-структурах триангуляция в сети натяжения имеет важное значение, поскольку она определяет, будет ли конструкция прочной или нет.

Структуры тенсегрити являются эндоскелетными, как у людей и других млекопитающих, чьи «мышцы», отвечающие за натяжение, расположены снаружи костей – элементов, подвергающихся сжатию.

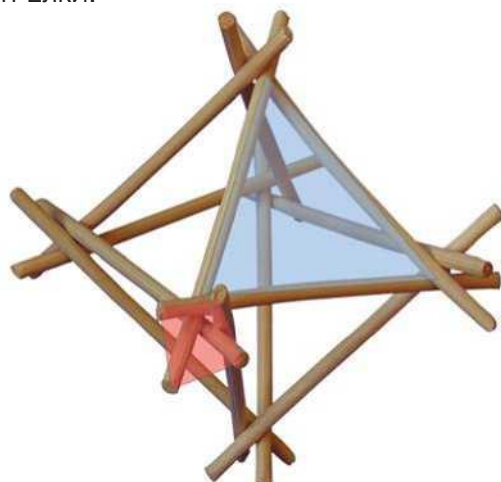
Уникальной особенностью тенсегрити является то, что стойки, работающие на сжатие, отделены друг от друга, не соприкасаясь в пределах своей зоны натяжения. Исключением является двухстоечная X-образная конструкция, или традиционная рама воздушного змея. По сути, эта плоская фигура не имеет силы сжатия в направлении оси «z». Для разделения перекрещенных стоек необходимо добавить третью стойку или дополнительный х-модуль, чтобы раздвинуть две стойки.

4. Слово «prestressing» содержит в своем корне отсылку к натяжению (и, таким образом, к «предварительному натяжению»), однако когда в переводах «натяжение» заменяется «напряжением», утрачивается значительная часть смысла – а именно та, что связана с прямым указанием Р.Б. Фуллером в его работе “Tensegrity” от 1961 года на принципиальное эволюционное изменение в инженерном мышлении человека, когда от привычных первично сжатых и вторично натяженных механических систем вроде конструкций корабельной мачты и артиллерийского колеса человечество пришло к идее проволочного велосипедного колеса и систем тенсегрити. (Примечание переводчика.)

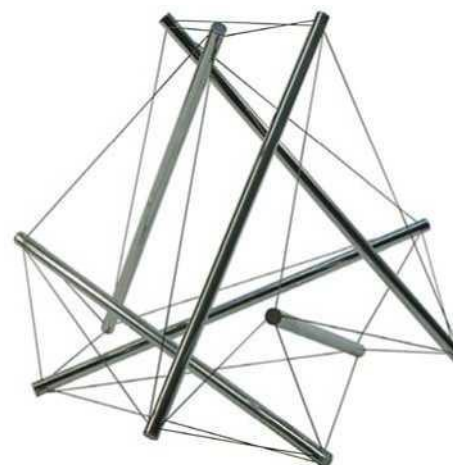
МНОГОГРАННИКИ ПЛЕТЕНИЯ И МНОГОГРАННИКИ ТЕНСЕГРИТИ



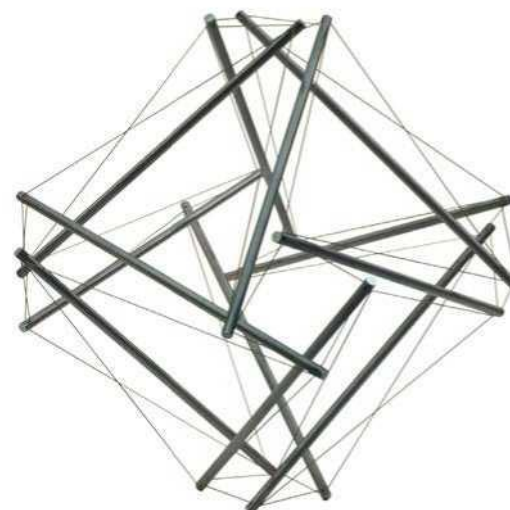
ТЕТРАЭДР ПЛЕТЕНИЯ; ВЕРШИНЫ (КРАСНЫЕ)
ИДУТ СПИРАЛЬНО ПО ЧАСОВОЙ СТРЕЛКЕ.
ГРАНИ (ГОЛУБЫЕ) – ПРОТИВ ЧАСОВОЙ
СТРЕЛКИ.



ОКТАЭДР ПЛЕТЕНИЯ; ТО ЖЕ, ЧТО И ВЫШЕ:
ВЕРШИНЫ (КРАСНЫЕ) ИДУТ СПИРАЛЬНО
ПО ЧАСОВОЙ СТРЕЛКЕ. ГРАНИ (ГОЛУБЫЕ)
– ПРОТИВ ЧАСОВОЙ СТРЕЛКИ.



ТЕТРАЭДР ТЕНСЕГРИТИ;
ПОЛНАЯ ТРИАНГУЛЯЦИЯ.



ОКТАЭДР ТЕНСЕГРИТИ; СЕТЬ
ТРИАНГУЛИРОВАНА ЗА
ИСКЛЮЧЕНИЕМ ШЕСТИ ЕЕ
КВАДРАТНЫХ ГРАНЕЙ.

ПРАВАЯ СПИРАЛЬ / ЛЕВАЯ СПИРАЛЬ СОЕДИНЯЮТ МОДУЛИ ВМЕСТЕ

Правосторонний тенсегрити-модуль можно преобразовать в левосторонний, но для этого его необходимо полностью перестроить, поменяв местами все части относительно друг друга, начиная с соотношения скручивания распорок сжатия. Правая и левая конфигурации являются зеркальным отражением друг друга. Каковы следствия из такой обратимости?

Дело в том, что в зеркальных фигурах направление всех предварительно напряженных сил натяжения и сжатия также меняется на противоположное. Силы натяжения, тянущие против часовой стрелки в левосторонней форме, тянут по часовой стрелке в правосторонней форме, и наоборот.

В колонных конструкциях чередование направлений спиралей от модуля к модулю имеет преимущество, поскольку присущая тенсегрити-структуре гибкость сама по себе является спиральной.

При надавливании правосторонний модуль слегка поворачивается влево и наоборот, так что вся конструкция башни изгибается при сжатии сверху вниз. Чередование модулей вправо-влево-вправо-влево сводит спиральное вращение колонны к нулю.

Верхний модуль
ПРАВАЯ СПИРАЛЬ



Вид СВЕРХУ

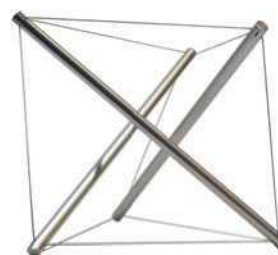


Вид СБОКУ

Средний модуль
ЛЕВАЯ СПИРАЛЬ



Вид СВЕРХУ



Вид СБОКУ

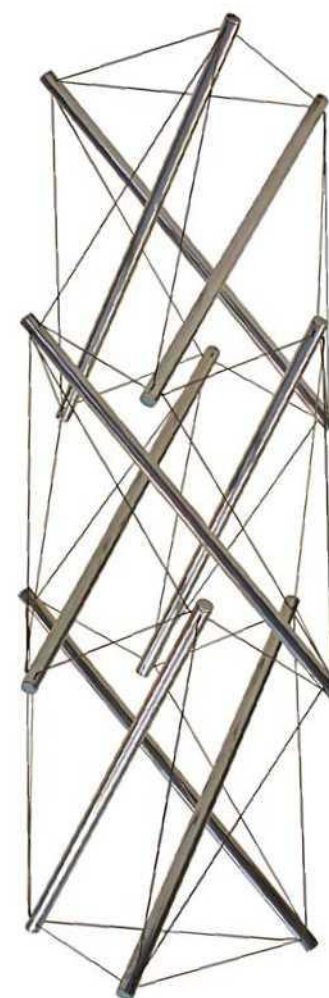
Нижний модуль
ПРАВАЯ СПИРАЛЬ



Вид СВЕРХУ



Вид СБОКУ

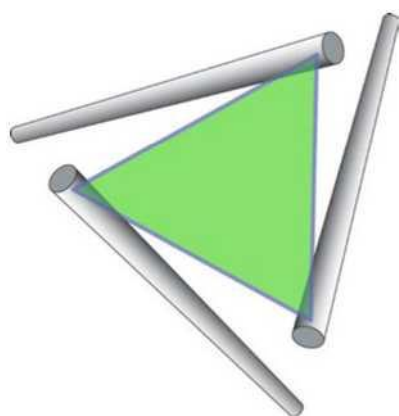
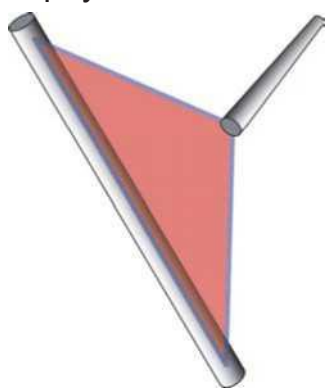


СЕТИ ТРИАНГУЛИРОВАННОГО НАТЯЖЕНИЯ

Можно построить любое количество разнообразных тенсегрити-конфигураций, от простых до очень сложных. Однако по-настоящему стабильными являются только те формы, чья сеть натяжения полностью состоит из треугольников.

Если сеть содержит квадраты, пятиугольники и т. д., структура будет непрочной. Это особенно верно для тенсегрити-сфер, ни одна из которых не имеет триангулированных сетей натяжения.

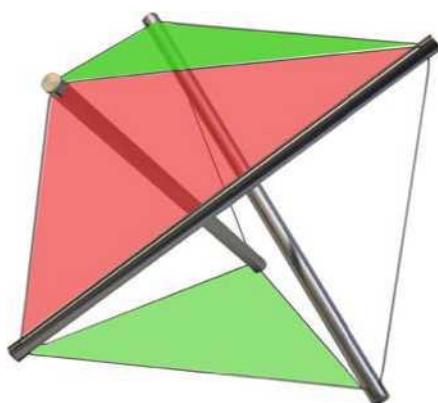
Треугольники в тенсегрити-сети образуются двумя различными способами, которые обозначаются как треугольники типа 1 и типа 2.



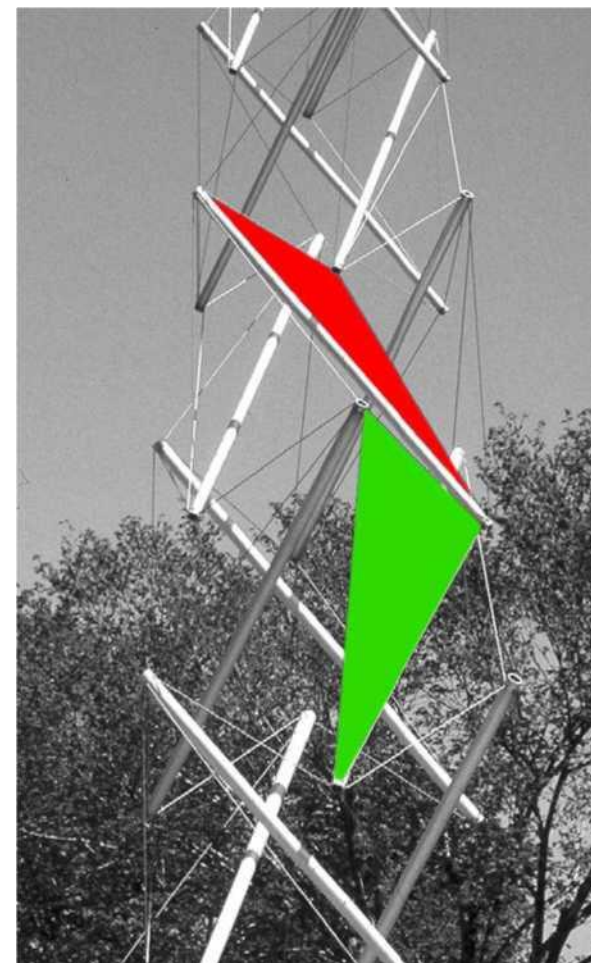
Тип 1: ТРЕУГОЛЬНИК НАТЯЖЕНИЯ/СЖАТИЯ.

Треугольные конструкции типа 1, работающие по аналогии с такелажными стропами, используемыми для подъема грузов, состоят из двух распорок и двух сухожилий [tendons]. Две линии натяжения проходят от конца одной распорки к двум концам второй распорки.

Тип 2: ТРЕУГОЛЬНИК ТОЛЬКО НАТЯЖЕНИЯ.
Треугольник тенсегрити также может быть образован тремя линиями натяжения, прикрепленными к трем различным распоркам.



Трехстоечная призма, изображающая треугольники типа 1 (красный) и типа 2 (зеленый).



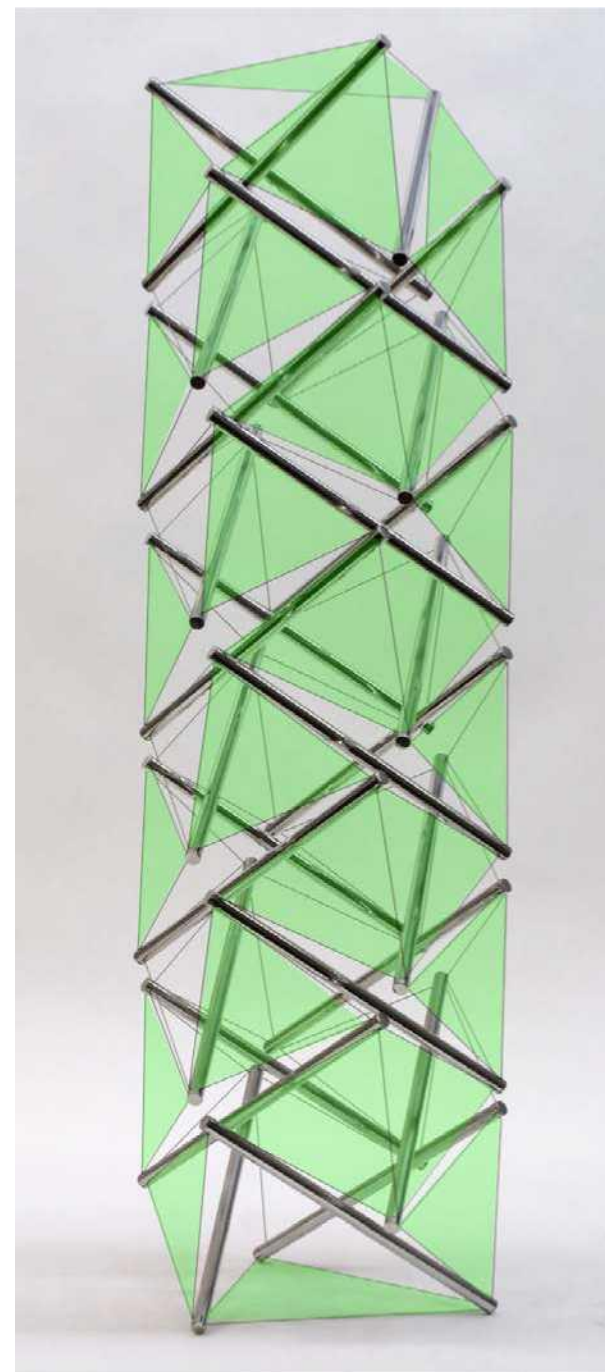
На фотографии башни Нидл в музее и саду скульптур Хиршхорна в Вашингтоне, округ Колумбия, обозначены два разных типа треугольников.

ТРЕУГОЛЬНИКИ НАТЯЖЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Поскольку все натяжные линии, струны, проволоки и кабели обладают определенной степенью упругого растяжения, сами тенсегрити-конструкции являются упругими и эластичными в зависимости от степени предварительного натяжения и характеристик натяжного материала.

Упругий изгиб тенсегрити-структуры, например, колонны, можно наблюдать в небольших поворотах правой или левой спиралей. Правосторонняя спираль сжимается при повороте влево, и наоборот.

Представленная здесь скульптура башни – отличный тому пример. Все линии натяжения – ребра, стропы, тросы – имеют одинаковую длину, так что все треугольники типа 2, выделенные зеленым цветом на рисунке, являются равносторонними. При нажатии и последующем отпуске колонна реагирует как сжатая пружина. Ее название – *Равносторонняя Дрожащая Башня* [*Equilateral Quivering Tower*].

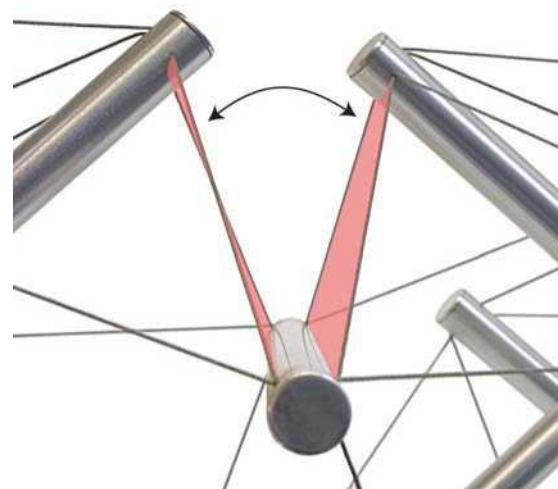


Модель РАВНОСТОРОННЕЙ ДРОЖАЩЕЙ БАШНИ

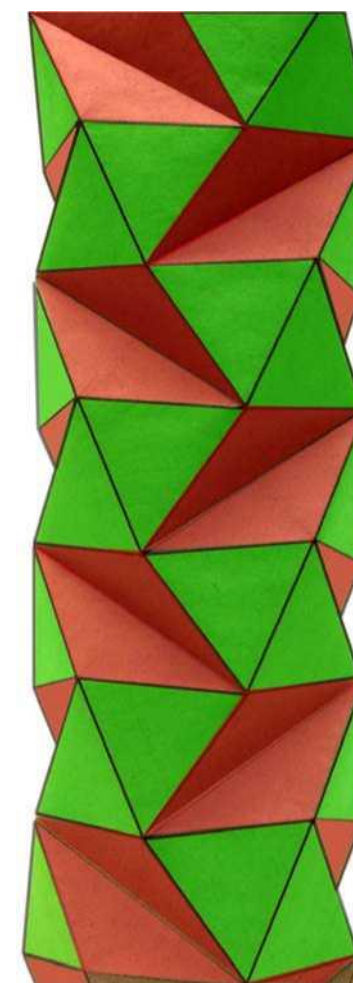
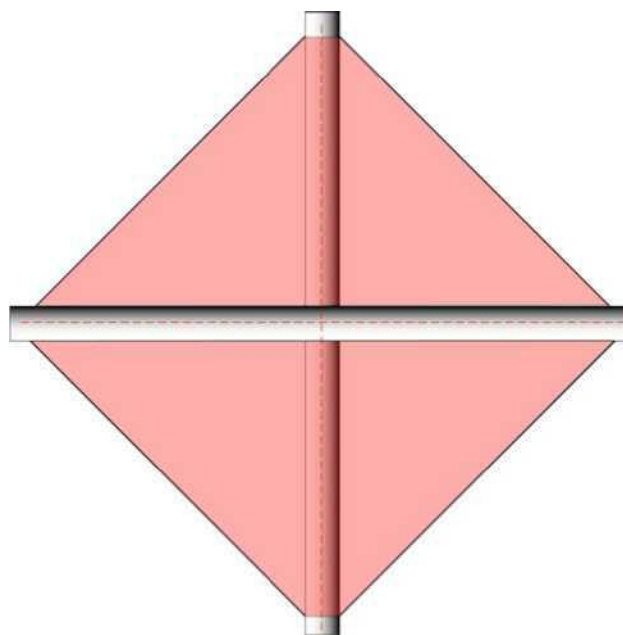
ТРЕУГОЛЬНИКИ НАТЯЖЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

ЛИНИИ СГИБА ТРЕУГОЛЬНИКОВ ТИПА 1.

Треугольники типа 1 всегда встречаются парами, подобно крыльям бабочки. Линия сгиба каждой пары треугольников, образующих такие крылья, похожа на складку в сложенной бумажной колонне справа. Упругость тенсегрити-структур обеспечивается за счет шарнирного соединения вдоль «линий сгиба».



Конструкция каркаса воздушного змея с двумя стойками и четырьмя линиями натяжения состоит только из треугольников типа 1. Треугольники типа 1 встречаются здесь также парами, образуя ромбовидную форму. В каркасе воздушного змея два расположенных друг напротив друга ромба имеют общие линии натяжения на противоположных гранях змея. Следует отметить, что эта наиболее экономичная конструкция фактически представляет собой сплюснутый тетраэдр.



Эта сложенная бумажная колонна имитирует геометрию трехсторонней тенсегрити-колонны. Треугольники типа 1 обозначены красным, а треугольники типа 2 — зеленым. В отличие от тенсегрити, эта бумажная копия не является предварительно натяженной конструкцией. Тем не менее, кажется вероятным, что складки в виде впадин и возвышений, даже на хаотично смятой бумаге, тесно связаны с характером распределения сил натяжения и сжатия в тенсегрити.

ТРИ ТИПА ЛИНИЙ НАТЯЖЕНИЯ

Вся сеть натяжения в тенсегрити-структуре находится вне распорок сжатия, так что это эндоскелетная структура, в которой силы сжатия действуют наружу, воздействуя на натяжную оболочку.

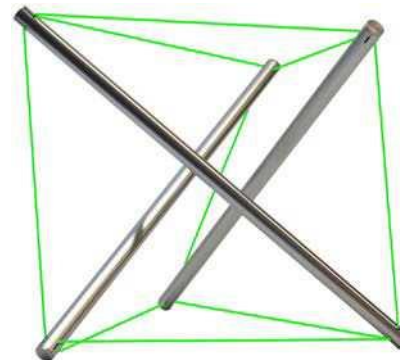
Каждая отдельная линия соединяет две точки: *ребра* [edges], *тяги* [draws] и *стропы* [slings], и каждый тип играет определенную роль в системе натяжения.

Реберные линии натяжения по краям определяют кромки и боковые стороны каждого модуля. Трехсторонняя колонна имеет три реберных линии натяжения по краям для каждого модуля. В большинстве случаев на реберные линии приходится меньшее натяжение, чем на строповые или тросовые линии.

Тяговые линии натяжения притягивают модули друг к другу. В трехсторонней колонне каждый модуль соединен с соседним тремя восходящими и тремя нисходящими линиями натяжения.

Строповые линии натяжения подвешивают модули, выполняя функцию, аналогичную стропам, используемым в такелажных работах. Они соединяют один модуль с другим и, как правило, направлены в противоположную сторону от тяговых линий. В трехсторонней колонне для соединения двух модулей требуется шесть строп.

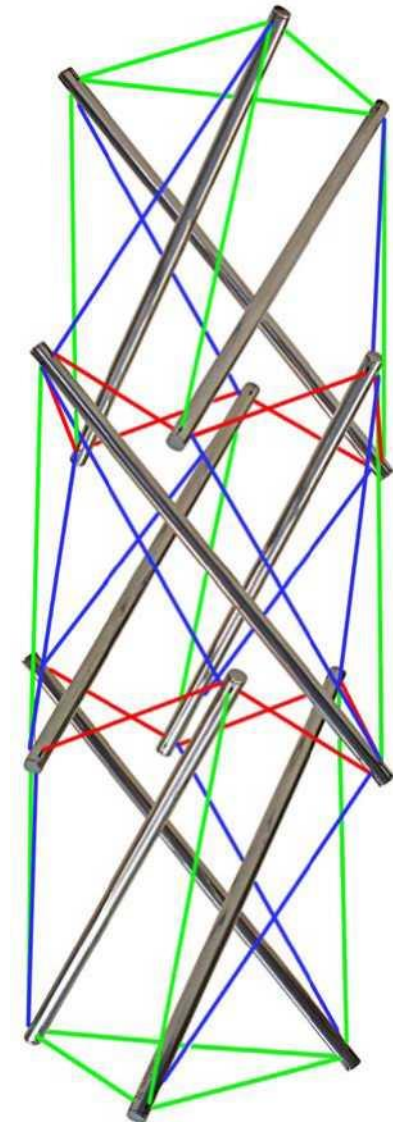
Справа изображен трехсторонний модуль. На этом простом рисунке все линии натяжения можно назвать ребрами: шесть концевых ребер и три боковых ребра. Они приблизительно описывают треугольную призму. При рассмотрении вдоль вертикальной оси модуль имеет спираль левостороннего вращения. При взгляде с другой стороны ситуация обратная: стойки расположены относительно друг друга по спирали, вращающейся по часовой стрелке или вправо.



ПРАВАЯ СПИРАЛЬ

ЛЕВАЯ СПИРАЛЬ

ПРАВАЯ СПИРАЛЬ



Три модуля, трехсторонняя колонна

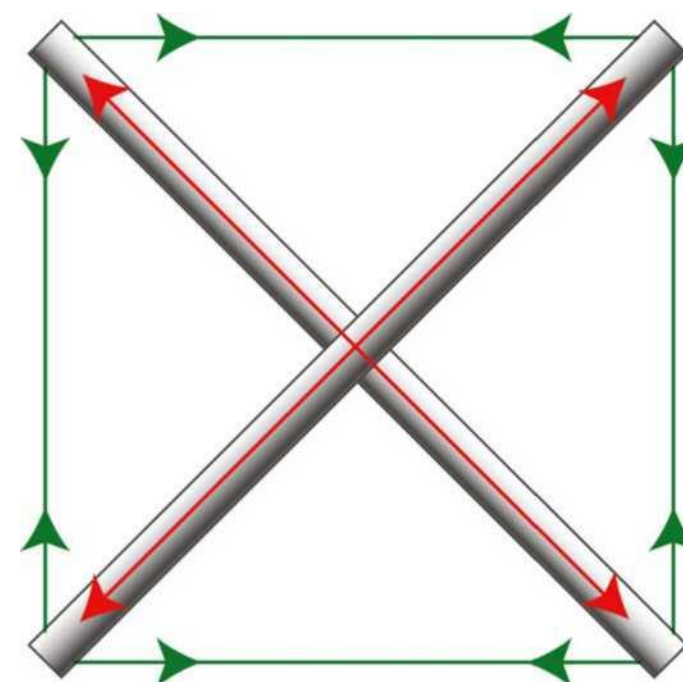
Х-ФОРМА КАРКАСА ВОЗДУШНОГО ЗМЕЯ – ПЕРВИЧНАЯ ФОРМА ТЕНСЕГРИТИ

Простой каркас воздушного змея, состоящий из двух перекрещенных распорок, прочно скрепленных четырьмя натяжными элементами, – это изобретение человека, которому, вероятно, тысячи лет. Задолго до того, как люди стали обклеивать его бумагой, чтобы использовать в качестве летающего объекта для подъема на ветру, каркас, скорее всего, использовался как легкий поддон, носилки для транспортировки вещей. Несмотря на свою простоту, предварительно натяженный каркас воздушного змея существует только в мире людей, а не как творение природы.

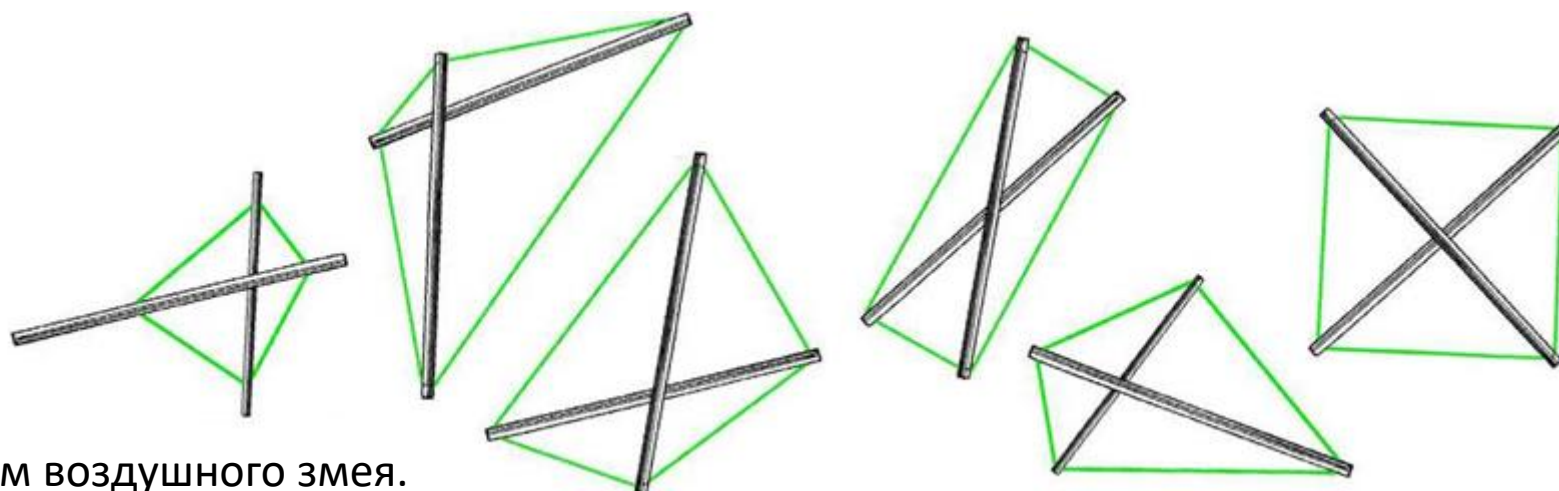
Каркас воздушного змея может быть изготовлен в различных пропорциях, как показано ниже. Принцип конструкции остается тем же, за исключением того, что распределение сил, как растягивающих, так и сжимающих, изменяется при изменении пропорций. Однако сумма сил сжатия, выталкивающих наружу, всегда равна сумме сил растяжения, затаскивающих внутрь.

Каркас воздушного змея является квазитенсегрити-структурой, поскольку две стойки, не обладающие силой в направлении «z», необходимой для их разделения, соприкасаются и давят друг на друга в местах пересечения. Конструкция воздушного змея представляет собой базовую предварительно натяженную ячейку растяжения-сжатия для x-модульных тенсегрити-структур.

Длина четырех сухожилий и длина распорок определяют форму.



Система натяжения и сжатия каркаса воздушного змея. Стойки выталкивают (сжатие), а сухожилия втягивают (натяжение).



Варианты форм воздушного змея.

КАРКАС ВОЗДУШНОГО ЗМЕЯ СТАНОВИТСЯ ТРЕХМЕРНЫМ

Каркас воздушного змея превращается в настоящую тенсегрители-конструкцию с третьей распоркой, которая добавляется путем замены одного из исходных *ребер* натяжения по краю (зеленого цвета) четырьмя новыми линиями, показанными красным цветом. Эти четыре линии выполняют функцию *строп*, подвешивающих новую распорку.

Трехстороннюю конструкцию теперь необходимо стабилизировать, добавив две дополнительные линии – *тяги* – те, что показаны синим цветом. *Тяги* идут от концов новой, третьей, стойки, к дальним концам исходной пары; к тем концам, которые будут раздвигать стойки воздушного змея друг от друга. Будучи соединенными с неправильными концами, тяговые линии лишь усилят плотность взаимного контакта стоек воздушного змея и не создадут конструкцию плавающего сжатия.

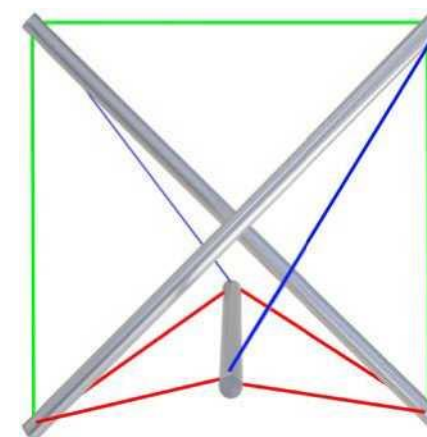
В этой простой конструкции, как и во всех тенсегрители-конструкциях, крайне важно установить оптимальную длину натягивающих элементов, чтобы конструкция была прочной и туго предварительно натяженной. Этого можно достичь только путем последовательных корректировок, методом проб и ошибок. Изменение длины одной линии приводит к изменению натяжения всех линий.

Как правило, *тяговые* линии являются основным средством увеличения или уменьшения предварительного натяжения тенсегрители-конструкции. Как и в случае с большинством правил, существуют различные исключения.

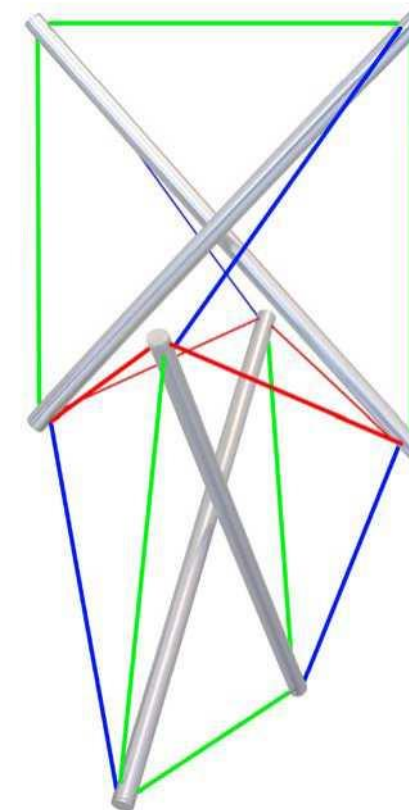
В результате этого процесса конструирования, когда детали добавлялись одна за другой, базовая конструкция каркаса воздушного змея превратилась в полноценный трехстоечный тенсегрители-модуль. По своей структуре он идентичен трехстороннему модулю, показанному на странице 15. Изменены лишь их форма и симметрия за счет регулировки размеров сухожилий и стоек.

Замена единичной стойки x-модулем

На рисунке справа третья стойка, показанная на рисунке выше, заменена вторым каркасом воздушного змея; стропы обозначены красным, тяги – синим цветами. Эта новая сборка из двух x-модулей представляет первый шаг в процессе строительства – добавления модуля за модулем – который может расширяться до бесконечности. Каждый открытый квадрант любого модуля предоставляет место для соединения еще одного x-модуля.



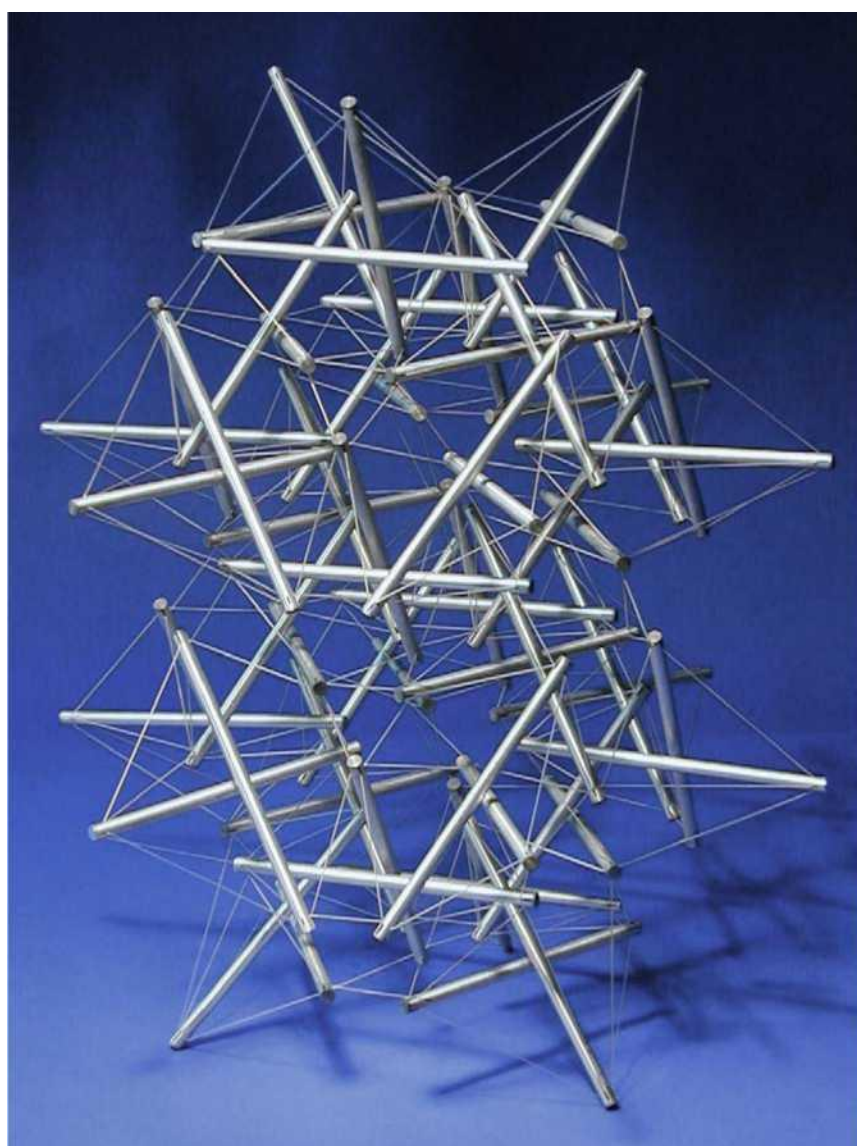
Каркас воздушного змея превращается в тенсегрители-структуру



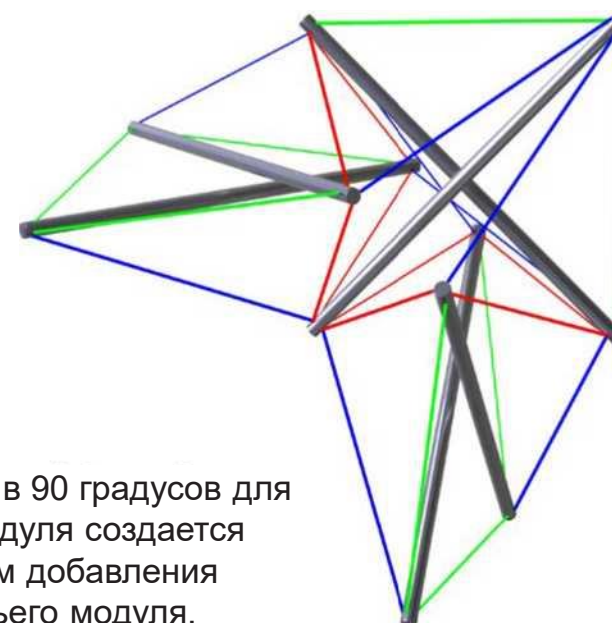
Двухмодульная x-колонна

РАСШИРЕННЫЙ X-МОДУЛЬ

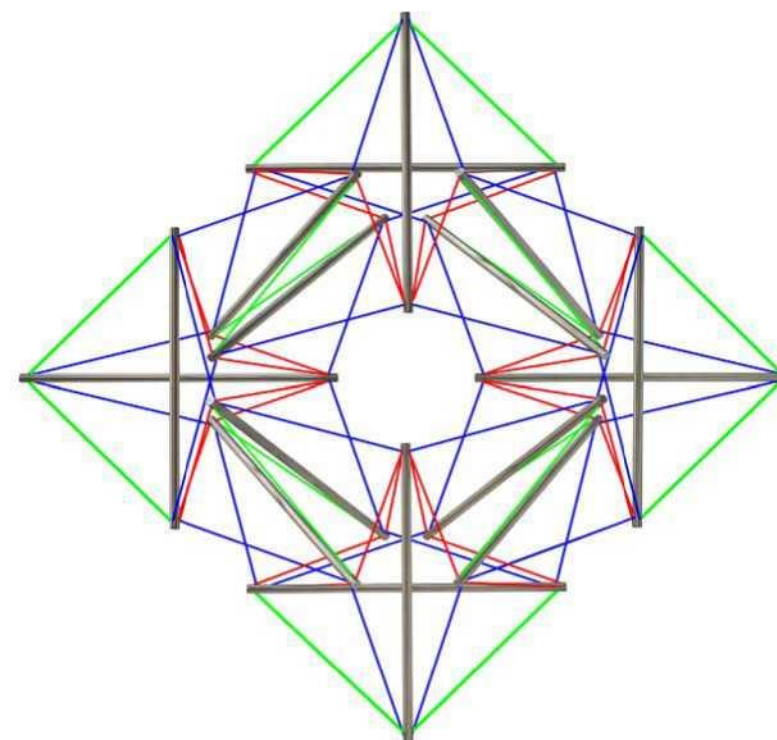
Термин «заполнение пространства» применим к таким системам, как, например, упакованные в коробку кубики сахара, или апельсины на рынке. X-модуль также может расширяться путем добавления модуля за модулем во всех направлениях. Ниже приведены примеры того, как x-модули могут повторяться бесконечно.



Двойная звезда 1950-2002



Угол в 90 градусов для X-модуля создается путем добавления третьего модуля.



Расширенная x-модульная грань.

ТЕНСЕГРИТИ АДАПТИРУЕТСЯ К РАЗЛИЧНЫМ ФОРМАМ



El Cordobes



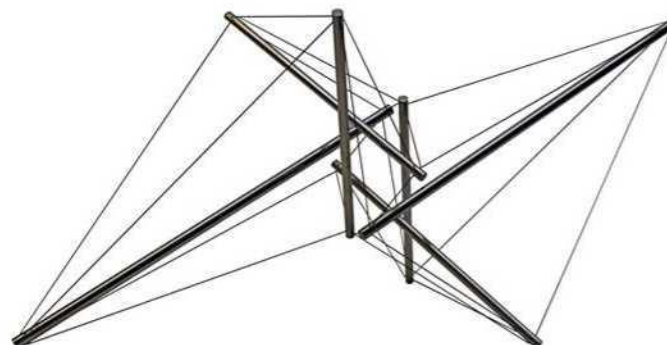
Ladle Piece



Six #2



Six #1



Northwood III



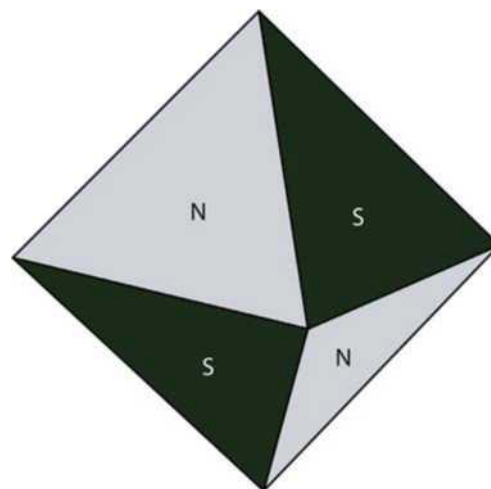
Osaka

Эти скульптуры состоят из шести опор.

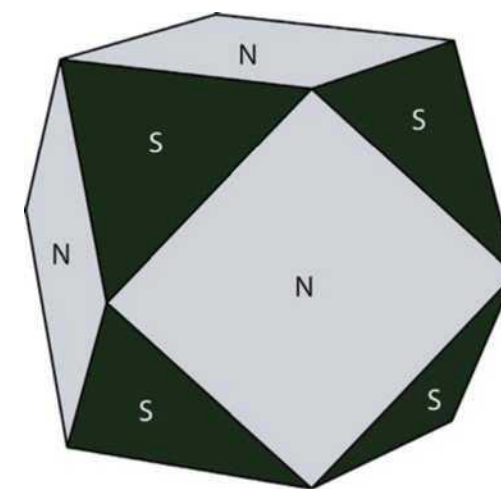
БИНАРНАЯ
ГЕОМЕТРИЯ
МАГНИТОВ

БИНАРНЫЕ МНОГОГРАННИКИ И МАГНИТЫ

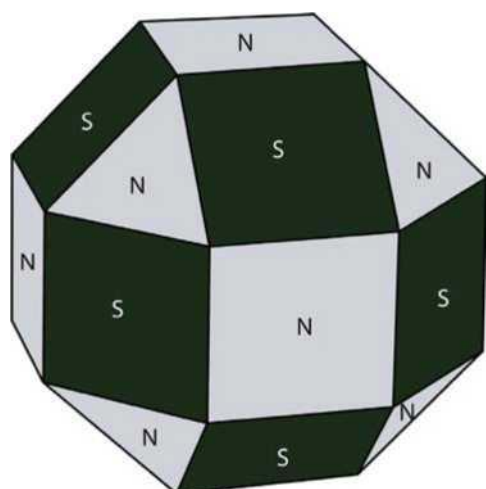
Уникальная группа из пяти многогранников обладает особым свойством: они допускают шахматное расположение смежных граней. Это естественное бинарное свойство позволяет создавать их с помощью многоугольных магнитов для холодильника, северный и южный полюса которых расположены на противоположных гранях, как орел и решка монеты. При сборке магниты сцепляются друг с другом ребро к ребру, образуя прочный магнитный многогранник.



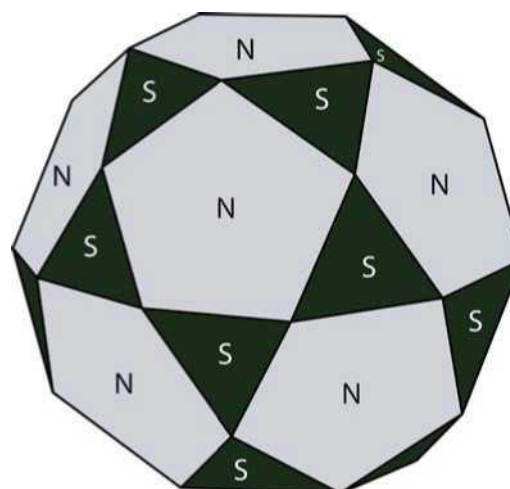
Октаэдр
8 треугольных магнитов



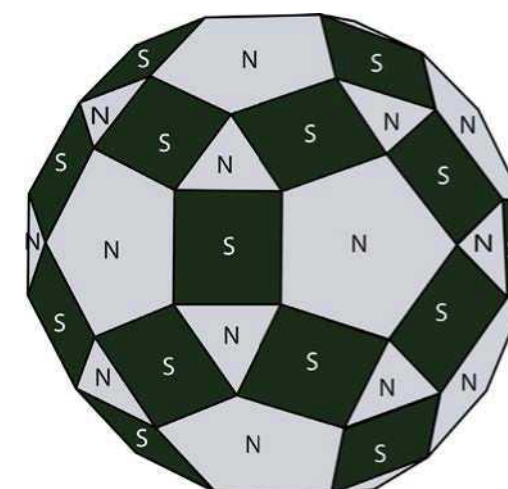
Кубоктаэдр
14 магнитов



Малый ромбокубоктаэдр
26 магнитов



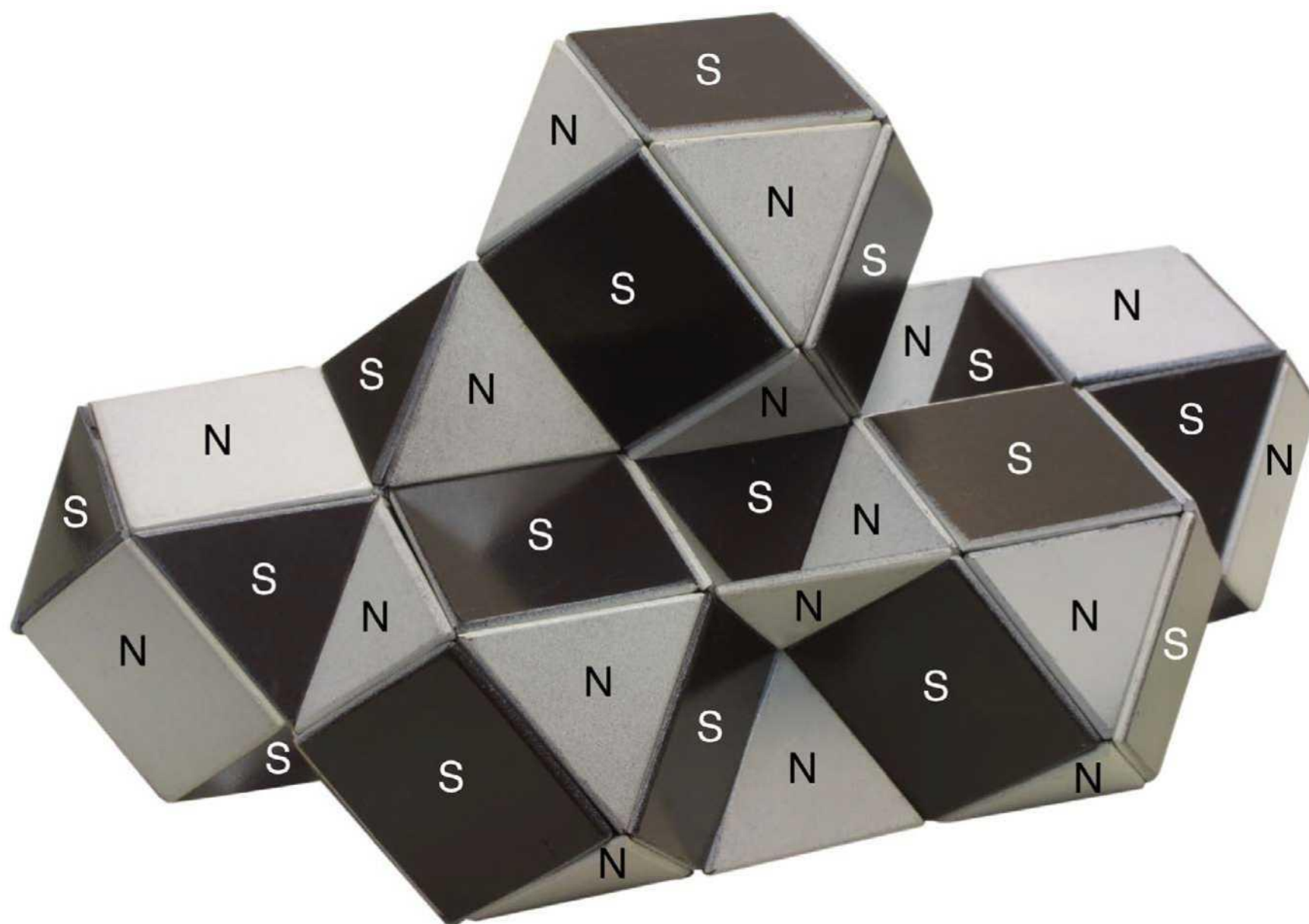
Икосододекаэдр
32 магнита



Ромбикосодекаэдр
62 магнита

МАГНИТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Восьмимагнитные октаэдр и четырнадцатимагнитные кубооктаэдр могут быть объединены для образования расширяющейся матрицы заполнения пространства с бинарной магнитной связью между ячейками.



СФЕРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ: МАГНИТНЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ

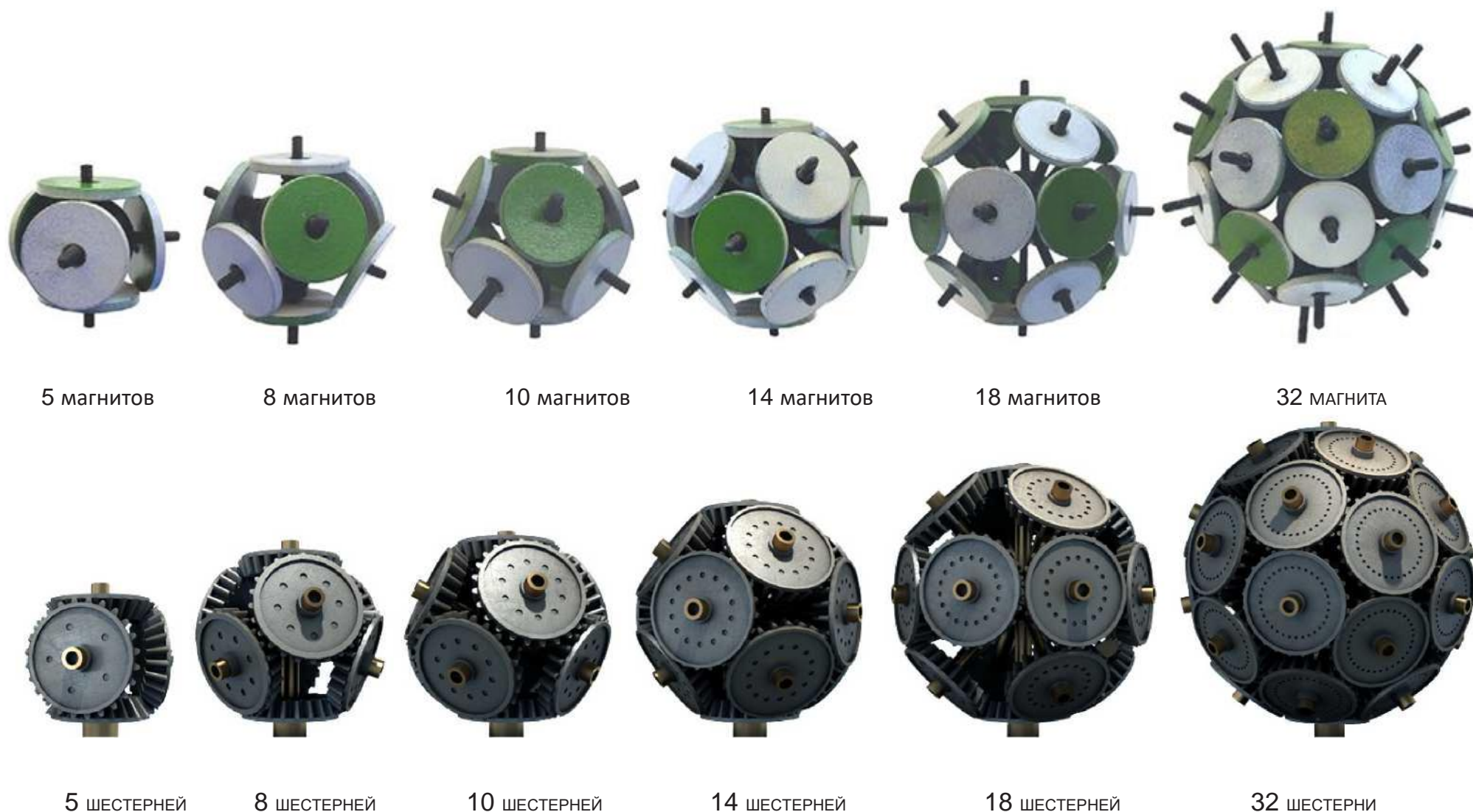
Ниже изображены два набора шестеренных передач. В верхнем ряду шестерни выполнены из дискообразных магнитов с северным и южным полюсами на противоположных гранях, подобно магнитным многогранникам на предыдущих двух страницах. Эти сферические бинарные мозаики имеют необычное число: 5, 8, 10, 14, 18 и 32.

Дискообразные магниты в верхнем ряду — это керамические магниты, установленные на немагнитных якорях. Они соединяются друг с другом по краям за счет притяжения север-юг, подобно многогранным магнитам, но поскольку они круглые и находятся в магнитном контакте, они могут вращаться как шестерни.

Если один магнит вращать вручную, остальные будут вращаться как шестерни.

В нижнем ряду представлены компьютерные изображения металлических шестерней, имеющих те же номера и геометрию, что и магнитные сферы в верхнем ряду.

Механические или магнитные, все эти бинарные явления являются основными принципами фундаментальной геометрии; законами, определяющими проектирование структур в природе.

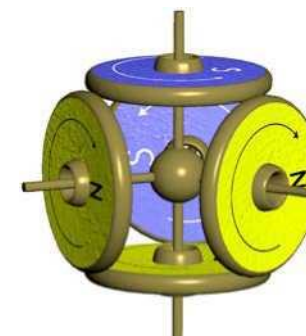
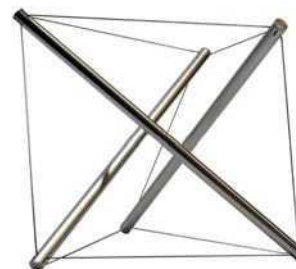


БИНАРНЫЕ ПРИНЦИПЫ СТАТИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ

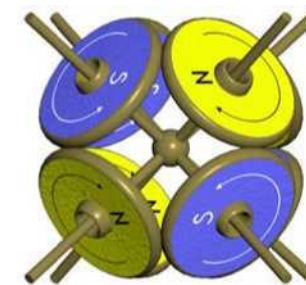
Вращение по часовой и против часовой стрелки, бинарный принцип, а также принцип симметрии, можно наблюдать во многих различных структурах. Когда я использую слово «вращение» для описания порядка нитей в узоре плетения или расположения распорок в тенсегрити-структуре, становится ясно, что на самом деле они неподвижны. Однако внутри конструкции силы действуют либо по часовой стрелке, либо против часовой стрелки. Тем не менее, эта спиральная тенденция может быть преобразована в реальное движение путем переноса статических областей тенсегрити-фигур в реальные колеса или шестерни. Здесь показаны три примера тенсегрити-структур вместе с наборами дискообразных магнитов. Эти сферические устройства созданы на основе той же геометрии, что и сети натяжения тенсегрити-структур.

Также, как в случае с многогранными магнитными мозаиками, показанные здесь дисковые магниты имеют северный полюс на одной стороне и южный на другой, так что, когда они соединены друг с другом по краям, образуя шахматную доску с противоположными полюсами, они смыкаются. Вращение одного магнита вручную заставляет остальные двигаться вместе, как шестеренная передача.

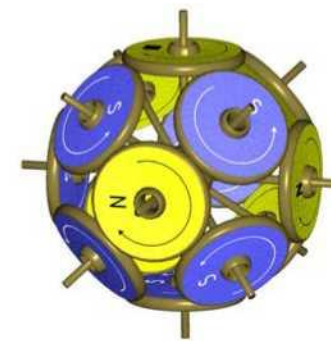
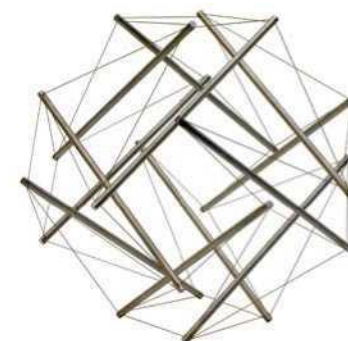
Магнитные структуры являются частью моего мультимедийного произведения «Портрет атома». Они также говорят нам о том, что мир структуры и геометрии — это зал множества зеркал, бесконечно отражающих сходства, взаимосвязи и числа. В случае с магнитами направления, указанные стрелками, описывают не только вращение и противовращение шестерен, но и определяют направление движения электронов, если бы это были электрические петли, а не постоянные магниты для создания магнитного притяжения север-юг. Хотя моя модель атома, «Портрет атома», спекулятивна, магнитные связи и их геометрия являются фактом природы⁷.



Трехстоечная тенсегрити-система и сферический передаточный механизм с пятью магнитами. Спираль на верхнем и нижнем треугольниках вращается против часовой стрелки; ребра — по часовой стрелке. Это соответствует чередованию магнитов и вращению колеса в сферическом наборе из пяти магнитов.



Шестистоечная тенсегрити-структура и восьмимагнитный сферический передаточный механизм. Угловые треугольники шестистоечной фигуры представляют собой спирали, расположенные попеременно по часовой и против часовой стрелки. В восьмиколесном сферическом наборе также имеются чередующиеся магниты, расположенные в шахматном порядке вокруг сферы.



На рисунке показана двенадцатистоечная тенсегрити-структура, изображенная рядом со своим аналогом — сферическим набором из четырнадцати магнитов. Места для размещения магнитов обозначены восемью трехсторонними угловыми треугольниками и шестью квадратными гранями двенадцатистоечной конструкции.

7. Здесь Снельсон выражает приверженность своей гипотезе атомной структуры, несмотря на то, что, как он сам отмечает в работе «Портрет атома», видные мировые ученые, которым он ее представил, отнеслись к ней скептически, высказывая в числе прочего тот аргумент, что она «слишком красивая», чтобы быть достоверной. (Примечание переводчика.)

РАСШИРЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Эти магнитные сборки, как и отдельные магнитные сферы, представляют собой шестеренные передачи: один из магнитов приводится в движение вручную, а остальные следуют за ним синхронно.



Объемно-центрированный массив из 8 магнитных сфер. Если этот массив продолжить бесконечно, каждая 8-магнитная единица будет иметь 8 соседей в своих угловых позициях.

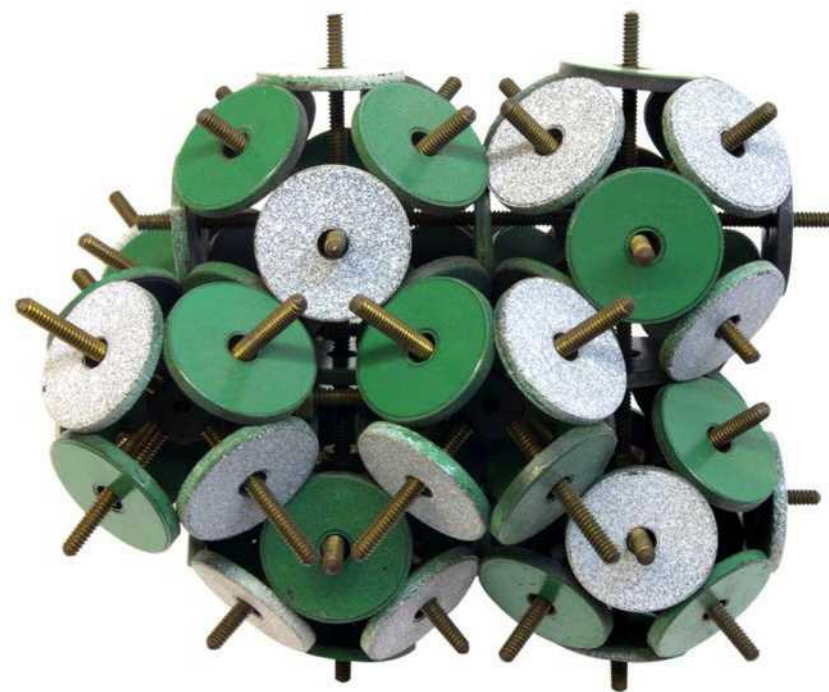
Я открыл эти магнитные структуры более пятидесяти лет назад, в 1962 году. Из этого открытия родилась моя увлеченность электронной архитектурой атома.



Объемно-центрированная кубическая структура из 14 магнитных сфер. Каждая сфера соединяется со своими соседями в угловых положениях куба.



Пять магнитных ячеек, расположенных в виде шестиугольного узора улья. Магнитная связь непрерывна. В моей модели атома это шестиугольное образование представляет собой расположение атомов углерода в плоскости графена.



Кубическая форма, состоящая из 8 магнитных сфер, чередующихся с 14 магнитными сферами, обладающими идеальной магнитной непрерывностью. Полюса соседних ячеек имеют обратную полярность.

Если у 14-магнитной сферы 8 **ЮЖНЫХ** полюсов угловых магнитов направлены наружу и 6 **северных** полюсов ее граневых магнитов направлены наружу, то соседний набор из 14 магнитов будет ориентировать эти полярности в обратном направлении.

Ознакомьтесь с этими интересными статьями:

PDF atom files at kennethsnelson.net/the-atom

<http://kennethsnelson.net/PortraitOfAnAtom.pdf>

<http://kennethsnelson.net/SnelsonAnArtistsAtom.pdf>

http://kennethsnelson.net/Snelson_CirclesSpheresAndAtoms.pdf

http://kennethsnelson.net/articles/KSnelson_Paper_FQXi_updated.pdf

<http://kennethsnelson.net/articles/IndustrialDesignFeb1963.pdf>