

**Департамент образования администрации г. Иркутска
Муниципальное автономное образовательное учреждение дополнительного
образования города Иркутска «Дворец детского и юношеского творчества»**

**Трехмерные головоломки как устройства для
визуализации движений и музыки**

Направленность: естественно-научная

Автор/разработчик, команда проекта:

Вейнберг Максим Денисович,

10 лет, 4 класс

МБОУ г. Иркутска СОШ №19,

МАОУ ДО г. Иркутска

«Дворец творчества»

Руководитель (наставник):

Тимофеев Алексей Сергеевич,

МАОУ ДО г. Иркутска

«Дворец творчества»

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Теоретическая часть.....	5
1.1 История и классификация головоломок	5
1.2 Общие сведения и термины	5
1.2 Трехмерные головоломки	6
2. Практическая часть	8
2.1 Язык вращений на примере пирамидки Мефферта.....	8
2.2 Алгоритм сборки пирамидки Мефферта	9
2.3 Программы сборки трехмерных головоломок	9
2.4 Взгляд в будущее: программирование движений робота с помощью трехмерных головазломков.....	10
2.5 Взгляд в будущее: музыка сборки трехмерных головоломок	11
Заключение.....	12
Список литературы.....	14
Приложения.....	15

Введение

Люди издревле увлекаются решением разнообразных интересных задач и заданий. Первые логические головоломки появились еще в Древнем Египте. С тех пор интерес к решению и изучению головоломок не иссякает, а сами головоломки трансформируются, усложняются, меняют цвета и формы, позволяют человеку проверить свои способности.

В этом учебном году я увлекся трехмерными головоломками, такими как известные кубик Рубика, пирамидка Мефферта и другие. Именно поэтому темой моей научной работы стали трехмерные головоломки, сведениями о которых я хотел бы поделиться.

Трехмерная головоломка – это игра, задача или игрушка, имеющая три измерения – длину, ширину и высоту, и которая проверяет изобретательность или знания человека. Необходимо логически сложить все части вместе, чтобы прийти к правильному решению головоломки.

Зачастую решить головоломку непросто, особенно если в ней много деталей, а время на решение ограничено. Необходимы внимательность, логика, зрительная память, навыки пространственного мышления. Таким образом, трехмерные головоломки тренируют ум, логику и мелкую моторику, и решать их, на мой взгляд, не только интересно, но и полезно.

Также я занимаюсь программированием, изучаю языки программирования Scratch и Python, поэтому, решая очередную трехмерную головоломку, я подумал, что возможно связать такие интересные занятия, как головоломки с компьютерными программами. На мой взгляд, это задача будущего, которая позволит не просто перенести сборку головоломки в компьютер, но и связать решение головоломки с различными управляемыми программами.

Выбранная мной тема актуальна, поскольку понимание решений сборки трехмерных головоломок полезно для учащихся любых возрастов и может использоваться для:

- Развития пространственного мышления и логики человека;
- Создания программируемых виртуальных головоломок;
- Программирования движений роботов и музыки в будущем.

Все родители хотят, чтобы их дети росли умными и сообразительными. Для развития таких качеств, несомненно, помогает навык решения головоломок. При этом сборка трехмерных головоломок может стать еще более увлекательной для детей и взрослых, если связать поиск решения головоломки, например, с музыкой или движениями робота.

Цель работы: показать, что трехмерные головоломки – это не только игрушки для мозга и рук, но могут быть использованы и как устройства для программирования движений роботов и музыкальных инструментов.

Задачи:

1. Изучить историю и классификацию головоломок.
2. Раскрыть основные понятия сборки трехмерных головоломок.
3. Найти и записать алгоритм сборки головоломки на примере пирамидки Мефферта.
4. Связать язык вращений с задачами будущего (движение роботов, музыка).

Гипотеза: я предполагаю, что если больше людей будут уметь собирать головоломки, то в мире будет больше полезных устройств и сложных роботов, таких как человекоподобный робот Илона Маска (Приложение 1), помогающих людям.

Объект исследования: шарнирные трехмерные головоломки с изменяемой конфигурацией.

Предмет исследования: установление связи движений сборки трехмерных головоломок с другими задачами и дисциплинами, такими как программирование роботов и создание музыкальных мелодий.

Методы исследования: поиск, изучение и анализ информации в сети Интернет, практическая работа с трехмерными головоломками, программами Scratch и Python, анализ полученных данных и построение гипотезы для дальнейшего исследования.

Результатами моего исследования, помимо описания истории и классификации головоломок, описания метода сборки пирамидки Мефферта и практического эксперимента, будут являться новые знания о построении взаимосвязей между трехмерными головоломками и научными дисциплинами.

1. Теоретическая часть

1.1 История и классификация головоломок

Первые математические головоломки появились в древнем Египте 2000 лет до нашей эры (Приложение 2). Интерес к новым головоломкам возрастал благодаря росту образованности людей в мире. Около 600 года нашей эры в Индии были придуманы шахматы, подтолкнувшие людей к созданию новых игр (Приложение 3).

Другой популярный и в настоящее время вид головоломок – словесные, то есть ребусы, возникшие во Франции в 15 веке, во время эпохи Возрождения. Они включают в себя комбинации слов, рисунков или символов, которые не так легко разгадать.

В работе я буду говорить про математические головоломки, которые бывают логическими, арифметическими, геометрическими. Мир интересных математических задач в Европе в 9-ом веке открыл ирландский богослов и ученый Алкуин, автор сборника головоломок «Задачи для развития молодого ума» (Приложение 4).

Итальянец Фибоначчи в 13-ом веке придумал задачу о домашних кроликах, ставшую известной на весь мир. Каждый математик знает про числа Фибоначчи, используемые в информатике, программировании, искусстве: каждое последующее число равно сумме двух предыдущих (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55...). В основе закономерности Фибоначчи лежит решение задачи о кроликах: кто-то купил пару кроликов и оставил их в закрытом загоне. Сколько будет пар кроликов в конце года, если ежемесячно пара рождает новую парочку приплода, способную размножаться уже на следующий месяц? (Приложение 5).

Мне интересны геометрические головоломки. Они бывают двух- и трехмерные. Пример двухмерной, то есть плоской, имеющей длину и ширину, головоломки - «Игра в 15» или «пятнашки», придуманная в 1878 году американцем Ноем Чепменом. Многие ее знают. В коробке есть одно пустое квадратное поле и нужно упорядочить цифры по возрастанию, перемещая их внутри коробки, сделав как можно меньше перемещений (Приложение 6).

1.2 Общие сведения и термины

Для понимания теоретической части работы нужно привести основные термины, которые будут встречаться на протяжении работы и могут вызвать затруднения у слушателей, сталкивающихся с головоломками впервые.

Двухмерная (2D) головоломка – игра, задача или игрушка, имеющая два измерения – длину и ширину, то есть плоская головоломка, которая проверяет изобретательность или знания решающего. Нужно сложить все части вместе, чтобы прийти к правильному решению головоломки.

Трёхмерная (3D) головоломка – игра, задача или игрушка, имеющая три измерения – длину, ширину и высоту, которая проверяет изобретательность или знания решающего. Используя логику, нужно правильно сложить все части головоломки.

Шейпмод (англ. Shape Mode) – трёхмерная головоломка необычного вида с измененной формой элементов, разработанная на основе какой-либо классической или более простой головоломки (в работе я расскажу про шейпмоды “Груша” и “Зеркальный куб”). Для решения требуют хорошего пространственного воображения.

Язык вращений – это язык сборки, буквенные обозначения поворотов, движений граней или уголков головоломки, при помощи которых можно записать алгоритм сборки текстом. Обычно на латинице.

Число Бога – минимально необходимое число поворотов для сборки головоломки из произвольной начальной конфигурации.

Алгоритм Бога – это один из алгоритмов сборки трёхмерной головоломки с минимальным количеством вращений.

1.2 Трёхмерные головоломки

Я хотел бы рассказать про известные трёхмерные головоломки на примере тех, которые есть в моей коллекции и которые я умею собирать. Давайте познакомимся с каждой головоломкой.

Пирамидка Мефферта (англ. Rubik's Revenge). Изобретена Уве Меффертом (Германия) в 1972 году, за 2 года до появления кубика Рубика. У пирамидки есть 4 грани: желтая, синяя, красная, зеленая. Число Бога, то есть минимальное количество поворотов, за которое можно собрать пирамидку – 11 (Приложение 7).

Кубик Рубика (венг. bűvös kocka, англ. Rubik's Cube). Головоломка, изобретённая в 1974 году (и запатентованная в 1975 году) венгерским скульптором и преподавателем архитектуры Эрнё Рубиком. Представляет собой пластмассовый куб $3 \times 3 \times 3$, на котором 54 цветные наклейки. Доказано, что каждая конфигурация кубика Рубика может быть решена не более чем в 20 ходов, то есть Число Бога для кубика Рубика – 20 поворотов (Приложение 8).

Груша (англ. Pear cube). Это шейпмод классического кубика Рубика с элементами разных размеров. Отличается от кубика тем, что она выполнена в одном цвете и собирать ее нужно, подбирая элементы по форме, а не по цветам. Думаю, что число Бога такое же, как и для стандартного кубика Рубика, 20 поворотов (Приложение 9).

Зеркальный куб (англ. Mirror cube). Одноцветный шейпмод кубика Рубика. В его основе лежит такой же механизм, что и в кубике, однако он чуть смещен в сторону, поэтому зеркальный кубик имеет разную форму элементов на каждой грани. Собирается по формам элементов, как и груша (Приложение 10).

2. Практическая часть

2.1 Язык вращений на примере пирамидки Мефферта

Языком вращений или языком сборки называют запись алгоритма сборки трехмерных головоломок. Это международный язык, его понимают любители трехмерных головоломок из разных стран мира.

Команды языка вращения записывают буквами и знаками, и они указывают на:

- Поворачиваемую грань;
- Направление поворота (по/против часовой стрелки);
- Угол поворота.

Чем сложнее головоломка, тем сложнее язык сборки и длиннее код.

Рассмотрим язык сборки на примере пирамидки Мефферта. Все повороты производятся по/против часовой стрелки на 120 градусов, в то время как в кубике Рубика 90 градусов.

Команды языка вращений

С заглавных букв начинаются команды поворота граней:

Обозначение	Полное название	Значение
R	Right	правая сторона
L	Left	левая сторона
U	Up	верхняя сторона
B	Back	задняя сторона

Строчными буквами записывают команды поворота уголков пирамидки:

Обозначение	Полное название	Значение
r	right	правый уголок
l	left	левый уголок
u	up	верхний уголок
b	back	задний уголок

Движения сборки записываются в соответствии со следующими правилами:

1. Если написана только буква, необходимо крутить сторону по часовой стрелке, как если бы мы смотрели на грань в лицо.
2. Если после буквы стоит штрих «'», крутим сторону против часовой стрелки, как если бы мы смотрели на грань в лицо.

2.2 Алгоритм сборки пирамидки Мефферта

Как и другие головоломки пирамидку Мефферта можно собирать различными методами, рекорды по скорости сборки ставят любым из них. Разберем так называемый послойный метод, или LBL (layer by layer, «слой за слоем»).

Сборка пирамидки методом LBL состоит из четырех простых этапов, которые не требуют запоминания большого количества формул (Приложение 11).

1. Сборка уголков. Это самый простой этап: нужно развернуть каждый уголок пирамидки, чтобы совпали цвета с цветами центральных элементов.
2. Сборка креста. Этот этап аналогичен такому же в кубике Рубика 3x3x3, только крест на пирамидке состоит из 3 центральных элементов, нужно расположить все 3 элемента в одной грани. Собрать крест можно не на каждой стороне для любого цвета, ведь центральные элементы фиксированы.
3. Сборка первого слоя. Для сборки первого слоя нужно поставить все реберные элементы этого слоя на свое место. Таким образом мы поочередно ставим все три ребра.
4. Сборка последнего слоя. На последнем этапе может выпасть 5 ситуаций, для каждой из которых существует свой алгоритм. В первой ситуации два элемента развернуты на своем месте. Во второй и третьей элементы нужно поменять местами против или по часовой стрелке. А в четвертой и пятой есть 2 блока, которые соединяются с первым слоем в так называемую палку.

Если сделать все верно, то пирамидка будет собрана, каждая из четырех граней будет своего цвета.

2.3 Программы сборки трехмерных головоломок

Поскольку я занимаюсь программированием на языке Scratch и недавно начал осваивать Python, меня заинтересовало, возможно ли сделать компьютерную программу по сборке трехмерных головоломок, таких, как пирамидка Мефферта. Изучив вопрос, я узнал, что существуют онлайн-симуляторы для сборки пирамидки Мефферта и кубика Рубика (Приложение 12), например, <https://rubiks-cube-solver.com/pyraminx/> или <https://rubikscu.be/> и мобильные приложения, например, Magic Cube или Rubiks Connected. Существуют и роботы, собирающие кубик Рубика. Так, в 2018 году специалист по робототехнике Бен Кац и разработчик программного обеспечения Джаред Ди Карло создали робота, который способен собрать кубик Рубика за 0,38 секунды.

На основе изученного материала можно сделать вывод, что команды сборки любой головоломки можно записать не только языком букв, но и на языках программирования, например, Scratch или Python.

Scratch – это визуальный язык программирования, позволяющий создавать интерактивные игры и анимацию. Python подходит для всего, включая создание игр.

Я нашел подтверждение тому, что трехмерные головоломки возможно перенести в компьютер и любители головоломок уже занимаются программированием. После этого мне стало интересно, можно ли каким-либо образом связать сборку головоломок с другими дисциплинами, например, программированием движения роботов или даже музыкой. Далее я расскажу, к каким выводам и планам на будущее я пришел.

2.4 Взгляд в будущее: программирование движений робота с помощью трехмерных головоломок

Каждый поворот головоломки, например, пирамидки Мефферта, можно записать командой и запрограммировать. Таким образом сборку головоломки можно связать с движениями робота, меняющего положение тела в соответствии с командами.

Пример программирования движений робота с помощью поворотов головоломки

R	Right	Движение вправо по часовой стрелке
L	Left	Движение влево по часовой стрелке
U	Up	Движение вверх
B	Back	движение назад

Команды можно усложнять, добавляя движения против часовой стрелки, а команды для поворотов уголков пирамидки могут означать шаги, прыжки на месте, паузы или поворот какой-либо части робота.

Таким образом, алгоритмы сборки можно превратить в набор движений робота или даже танец. Интересно было бы посмотреть, как выглядит алгоритм Бога (11 поворотов для пирамидки Мефферта) в виде танца робота.

Сборка головоломки может быть использована как джойстик для управления роботом (на фото: робот NAO компании Aldebaran, который танцует Макарену, Приложение 13).

2.5 Взгляд в будущее: музыка сборки трехмерных головоломок

Как мы поняли, каждый ход в головоломке можно записать набором команд. Мне кажется, было бы интересно связать их с музыкой или различными музыкальными инструментами, например, обозначение поворотов пирамидки Мефферта можно записать таким образом.

Обозначение	Команда и значение	Нота	Инструмент
R	Right, вправо	До	пианино или другой
L	Left, влево	Ре	пианино или другой
U	Up, вверх	Ми	пианино или другой
B	Back, вниз	Фа	пианино или другой
r	right, уголок вправо	Соль	пианино или другой
l	left, уголок влево	Ля	пианино или другой
u	up, уголок вверх	Си	пианино или другой
b	back, уголок вниз	До следующей октавы	пианино или другой

Таким образом можно будет послушать мелодию сборки всех головоломок – пирамидки Мефферта, кубика Рубика, Груши и других. Может получится целый оркестр, если использовать разные инструменты!

Интересно, какая музыка будет у успешных сборок пирамидок и кубиков? Какая у змейки?

Я провел эксперимент:

1. Собрал пирамидку по послойному алгоритму LBL и записал последовательно все повороты, получился следующий набор команд: r' L' B R B' R' B L' B L B'2 R' B R U B' U' B' U B' U' B.
2. Переложил команды на ноты и получилась мелодия, которую я записал с помощью музыкального онлайн-редактора <https://flat.io/> (Приложение 14).
3. Подготовил аудиозапись звуков успешной сборки пирамидки Мефферта в соответствии с послойным алгоритмом LBL, о котором рассказывал ранее.

В будущем я хотел бы запрограммировать язык сборки трехмерных головоломок для разных конфигураций, нот и инструментов.

Заключение

В работе я использовал научные методы поиска и анализа информации, поглядел на мир трехмерных головоломок через их классификацию на виды, изучил хронологический порядок появления головоломок и развития на протяжении истории. Также, я изучил и сделал описание одного из алгоритмов решения головоломки Мефферта, размышлял на тему установления связей между решениями трехмерных геометрических головоломок и другими дисциплинами – программированием, робототехникой и таким видом искусства как музыка.

На мой взгляд, решение головоломок может стать еще более увлекательным для решающих любых возрастов, если дать возможность увидеть, какие движения делает робот, пока вы собираете задачу или послушать музыку, которая получается при сборке головоломки. Невероятно интересно, что человек сможет узнать, как выглядит алгоритм Бога (сборка головоломки за минимальное количество поворотов) в движении или как алгоритм Бога звучит в музыке! Наверное, получится очень красивая мелодия.

В ходе выполнения работы я выполнил следующие задачи:

1. Изучил историю и классификацию головоломок.
2. Раскрыл основные понятия сборки трехмерных головоломок.
3. Нашел и записал алгоритм сборки головоломки на примере пирамидки Мефферта.
4. Связал язык вращений с задачами будущего (движение роботов, музыка) и провел эксперимент по связыванию успешной сборки по алгоритму LBL с музыкой.

Цель данной работы достигнута – я показал, что головоломки могут быть использованы не только в качестве логических игрушек, но и в качестве устройств для программирования движений роботов, а также для программирования мелодий, в том числе на разных музыкальных инструментах.

На мой взгляд, гипотеза работы подтвердилась, поскольку чем больше людей будет увлекаться сборкой головоломок, тем быстрее в нашем развивающемся мире и науке мы сможем совместить решение головоломок с другими дисциплинами и превратить, например, сборку головоломок в танец или музыку.

Возможно, будут изобретены устройства, помогающие обучать, развлекать или ускорять процессы выздоровления пожилых людей, детей или пациентов больниц, находящихся на реабилитации. Возможно, что логические математические задачи можно будет решать наглядно, используя музыку и роботов. На данном этапе не очевидно, в каких именно функциях будут использоваться головоломки, программирующие музыку

или движения, но ясно, что развитие взаимосвязей между такими дисциплинами, как математика, логика, музыка, программирование, робототехника и другими является большим шагом в будущее.

Все задачи выше я считаю невероятно увлекательными и хотел бы заниматься исследованием программирования, трехмерных головоломок, связей между разными дисциплинами и в будущем.

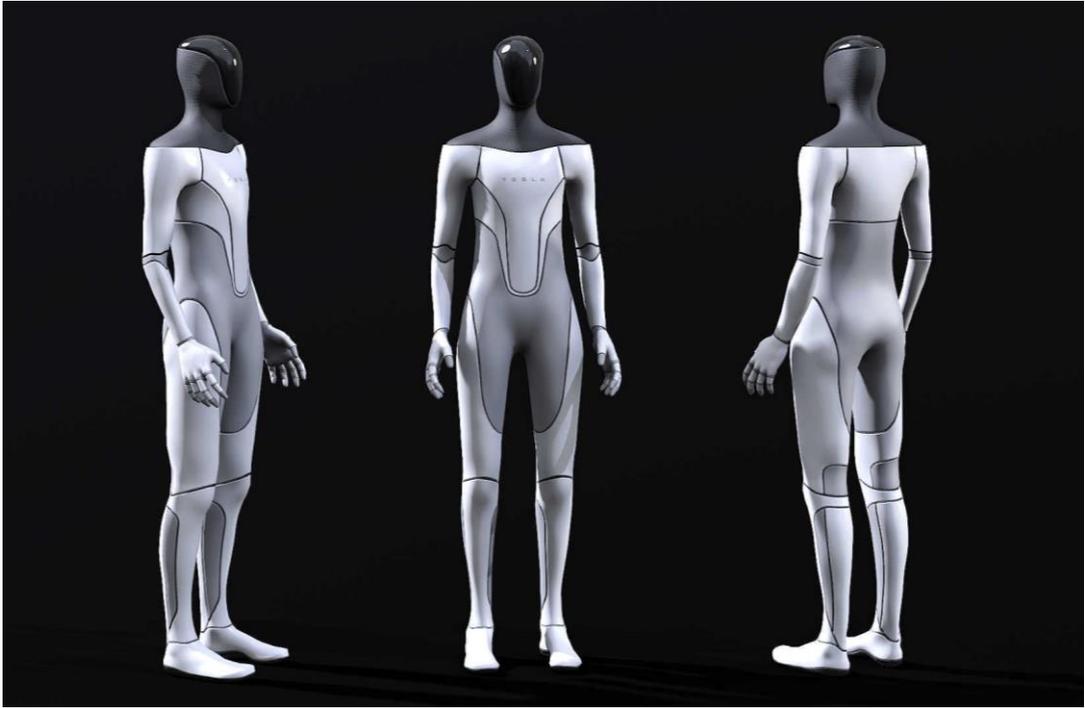
Список литературы

1. *Алгоритм Бога — язык вращений кубика Рубика 3x3* [Электронный ресурс]. <https://algoritm-boga-kubika-rubika.ru/yazyik-vrashheniy-kubika-rubika-3x3.html> (дата обращения: 06.04.2023).
2. *Алгоритм Бога — Как собрать пирамидку Рубика* [Электронный ресурс]. <https://algoritm-boga-kubika-rubika.ru/kak-sobrat-treugolnyj-kubik-rubika.html> (дата обращения: 06.04.2023).
3. *Виды кубиков Рубика или 25 способов себя развлечь* [Электронный ресурс] <https://neskuchayu.ru/puzzles/vidy-kubikov-rubika/> (дата обращения: 06.04.2023).
4. *Головоломка Пирамидка Мефферта (Meffert's Pyraminx)* [Электронный ресурс] https://vsova.ru/catalog/nastolnye_igry/piramidka_meffert_s_pyraminx (дата обращения: 06.04.2023).
5. *История появления головоломок, их создание и развитие* [Электронный ресурс]. <https://solunsun.ru/istoriya-poyavleniya-golovolomok/> (дата обращения: 06.04.2023).
6. Перельман Я.И. Головоломки и развлечения – М.: СЗКЭО, Серия: Дом занимательной науки, 2020.
7. *Как собирать треугольный кубик Рубика - описание, схемы и рекомендации* [Электронный ресурс]. <https://fb.ru/article/348383/kak-sobirat-treugolnyiy-kubik-rubika---opisanie-shemyi-i-rekomendatsii> (дата обращения: 06.04.2023).
8. *Кубик Рубика: За гранями головоломки, или Природа творческой мысли / Эрнэ Рубик; Пер. с англ. – М.: Интеллектуальная Литература, 2021.*
9. Литвинцева Л. В. Искусственный интеллект. Беседы со школьниками – СПб.: БХВ-Петербург, 2019.
10. *Онлайн-симулятор по сборке пирамидки Мефферта* <https://rubiks-cube-solver.com/pyraminx/> (дата обращения: 06.04.2023).
11. *Онлайн-симулятор по сборке кубика Рубика* [Электронный ресурс]. <https://rubikscu.be/> (дата обращения: 06.04.2023).
12. *Пирамидка Мефферта* [Электронный ресурс] Википедия (дата обращения: 06.04.2023).
13. *Собираем Пирамидку* [Электронный ресурс]. <http://ipuzzles.ru/rubik-cube/sobiraem-piramidku/> (дата обращения: 06.04.2023).
14. *NAO – робот с эмоциями* [Электронный ресурс] https://www.prorobot.ru/13/robot_nao.php (дата обращения: 06.04.2023)

Приложения

Приложение 1

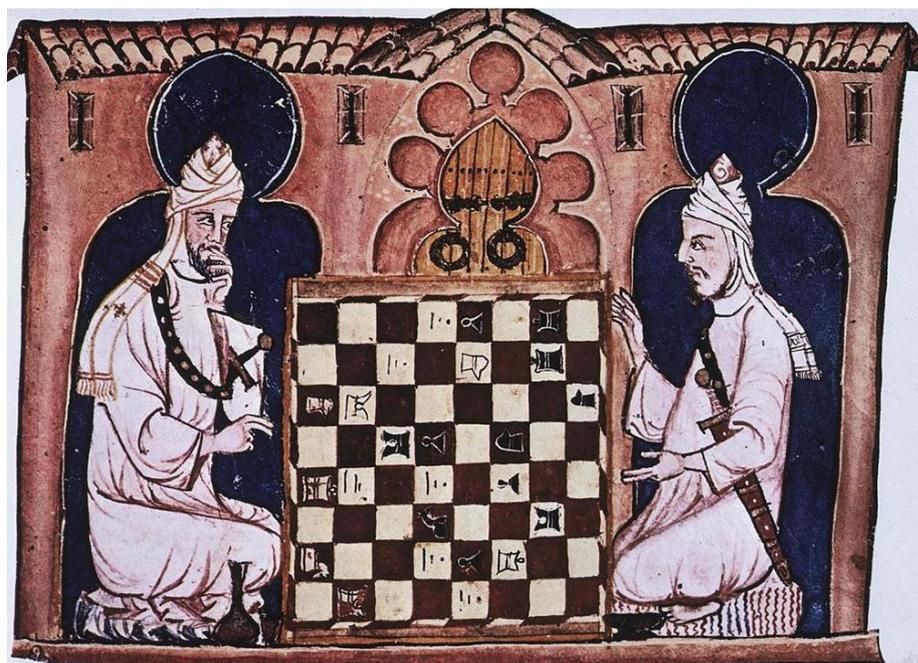
Человекоподобный робот Илона Маска,
который будет выполнять за человека рутинную и опасную работу



Иероглифы и головоломки в Древнем Египте



Шахматы были придуманы в Индии примерно в 600-е года нашей эры

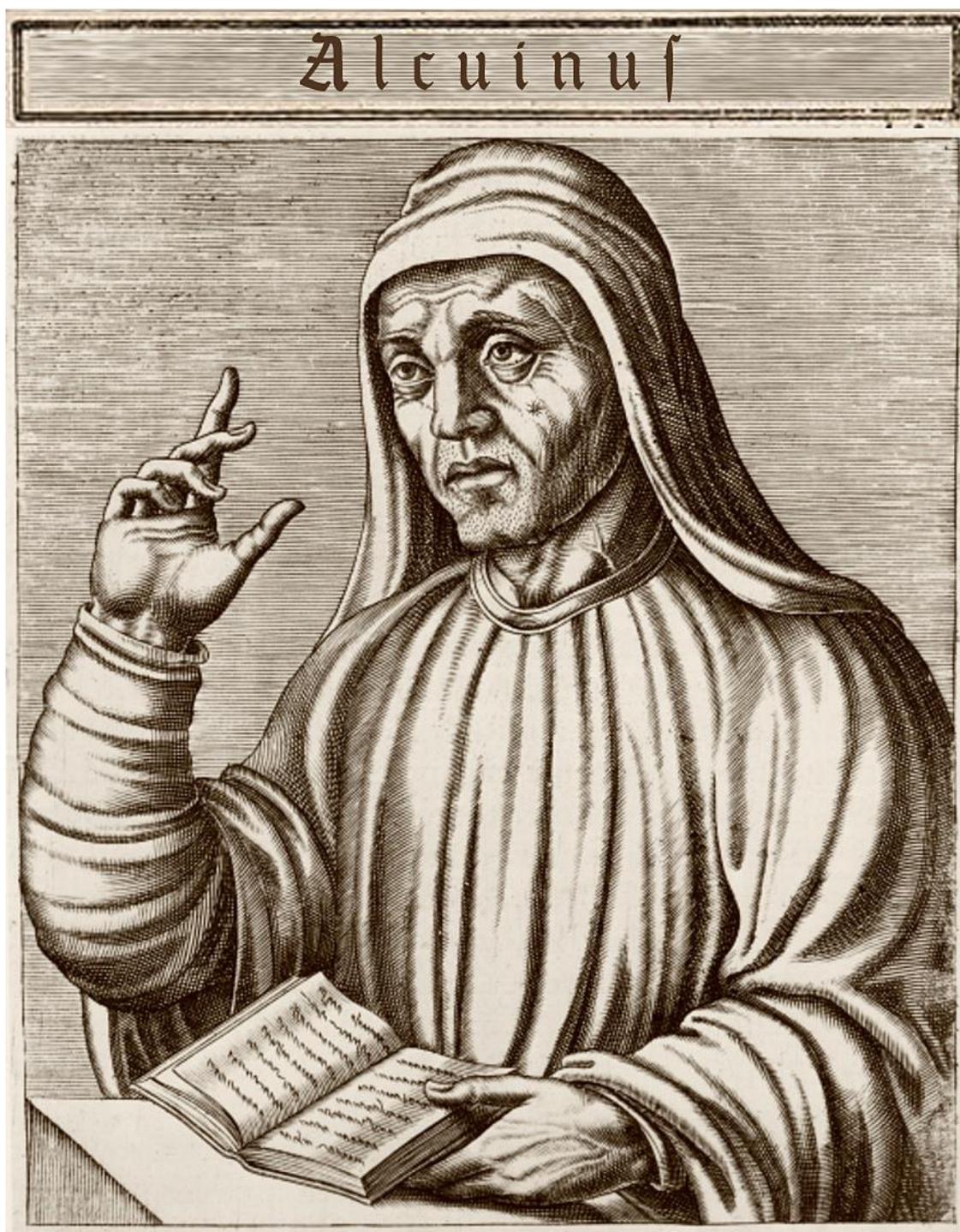


Шахматы стали невероятно популярны в Европе в средние века



Лукас ван Лейден. «Игра в шахматы» (1508 г.)

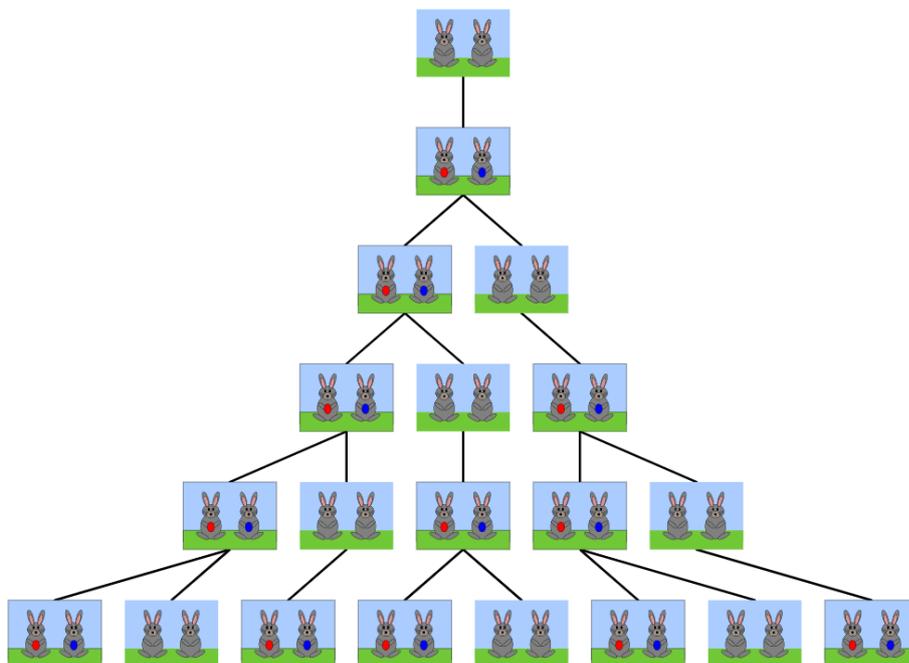
Алкуйн (лат. Alcuinus, около 735 – 19 мая 804) – англо-саксонский учёный, богослов и поэт, автор первого сборника головоломок «Задачи для развития молодого ума» (9 век)



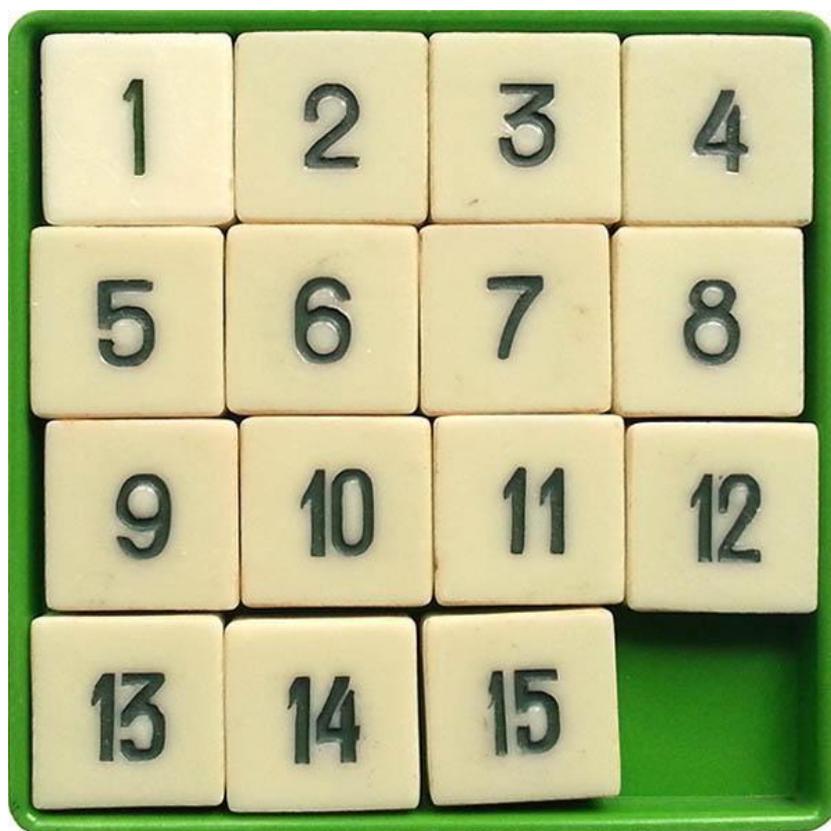
Леона́рдо Пиза́нский (лат. *Leonardus Pisanus*, 1170 - 1250) – первый крупный математик средневековой Европы. Наиболее известен под именем Фибоначчи



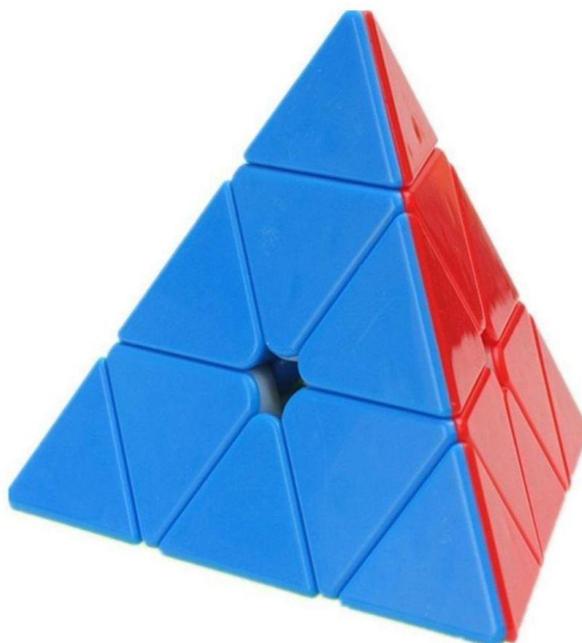
Задача Фибоначчи. Количество пар кроликов образуют последовательность Фибоначчи



«Игра в 15» или «пятнашки» - популярная головоломка, придуманная в 1878 году Ноем Чепмэном



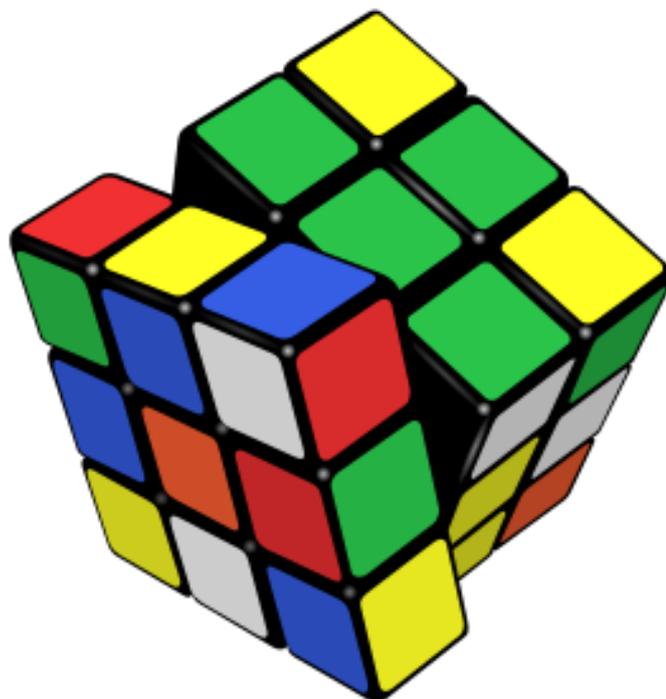
Трехмерная головоломка пирамидка Мефферта, изобретенная Уве Меффертом в 1972 г.



Уве Мефферт и Эрне Рубик



Трёхмерная головоломка кубик Рубика, изобретённая в 1974 году Эрнё Рубиком



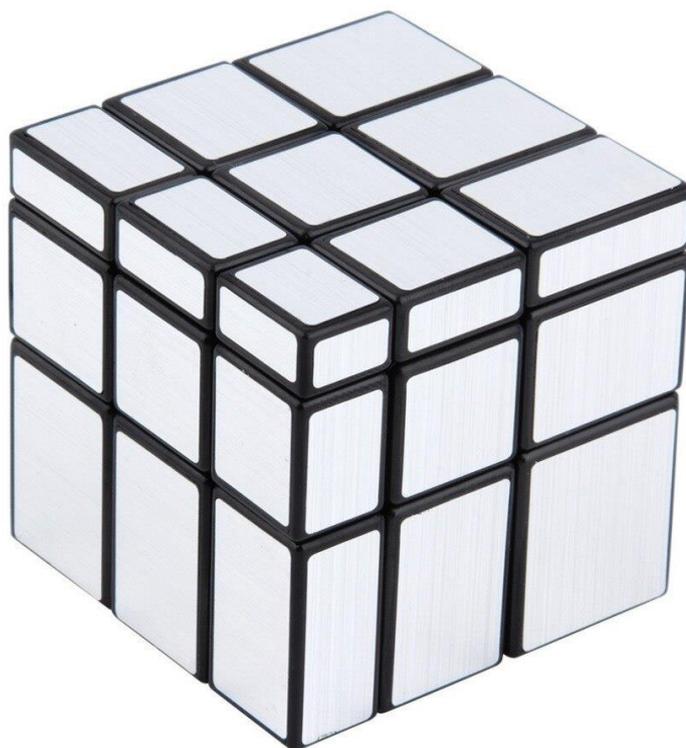
Груша (англ. Pear cube) – шейпмод классического кубика Рубика с элементами разных размеров в собранном виде



Шейпмод Груша в разобранном виде



Зеркальный куб (англ. Mirror cube).
Одноцветный шейпмод кубика Рубика в собранном виде

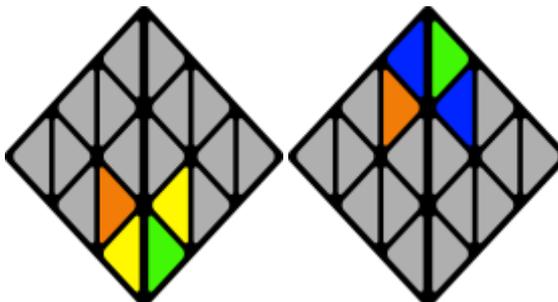


Зеркальный в разобранном виде

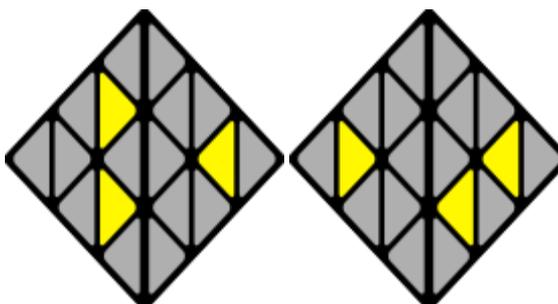


Послойный метод сборки пирамидки Мефферта LBL состоит из четырех простых этапов.

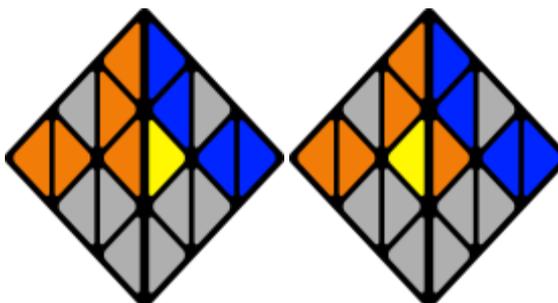
1. Сборка уголков. Нужно развернуть каждый уголок пирамидки.



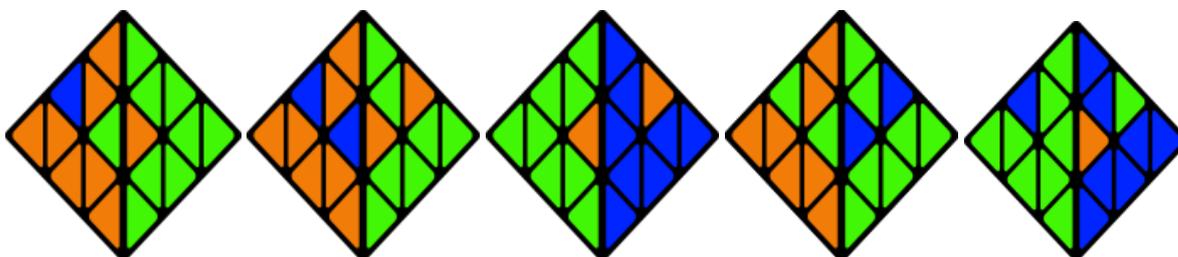
2. Сборка креста. Крест на пирамидке состоит из 3 центральных элементов, нужно расположить все 3 элемента в одной грани.



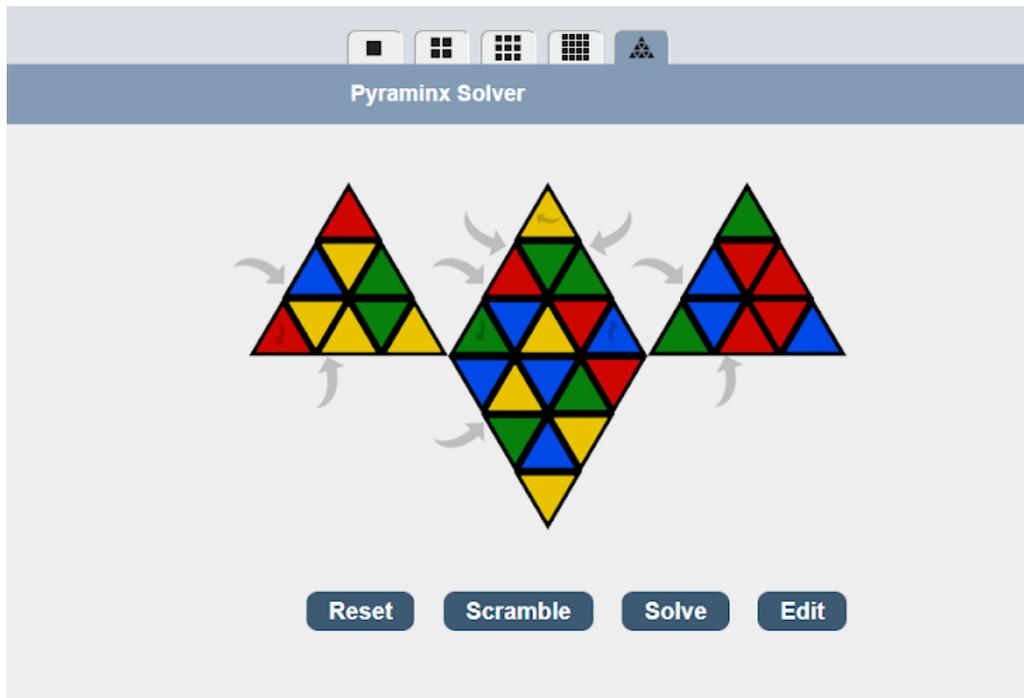
3. Сборка первого слоя. Для сборки первого слоя нужно поставить все реберные элементы этого слоя на свое место. Таким образом мы поочередно ставим все три ребра.



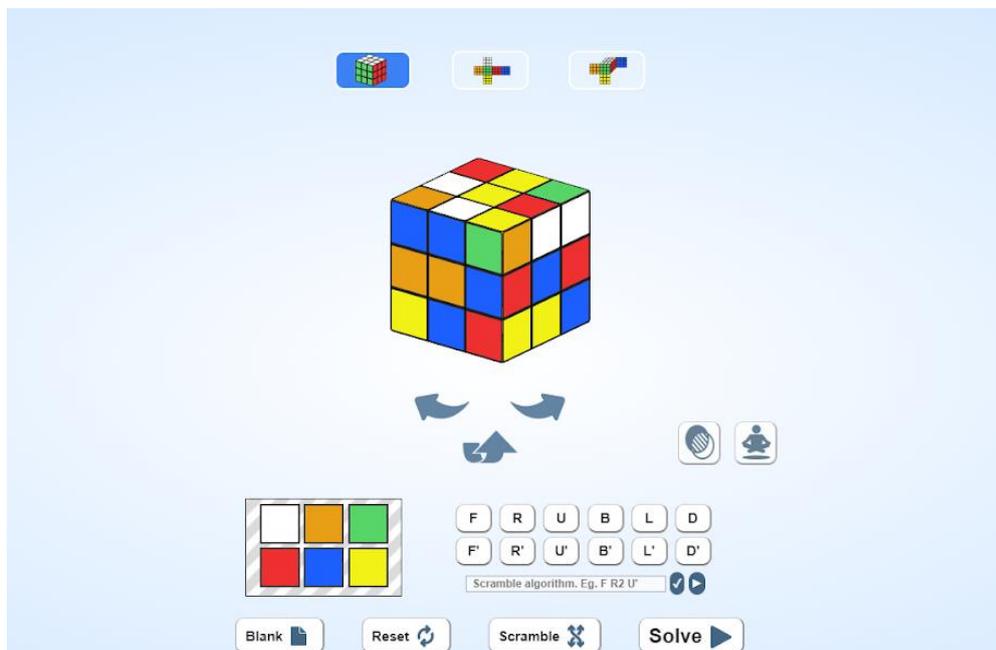
4. Сборка последнего слоя. Может выпасть 5 ситуаций. В первой ситуации два элемента развернуты на своем месте. Во второй и третьей элементы нужно поменять местами против или по часовой стрелке. А в четвертой и пятой есть 2 блока, которые соединяются с первым слоем в так называемую палку.



Онлайн-симулятор для сборки пирамидки Мефферта
<https://rubiks-cube-solver.com/pyraminx/>



Онлайн-симулятор для сборки кубика Рубика
<https://rubikscu.be/>



Человекоподобный робот NAO компании Aldebaran, танцующий Макарену



