

**Пояснения к статье “Двумерные клеточные автоматы на  
треугольной сетке: фракталы, репликаторы и космические  
корабли”**

**Гущин Даниил Николаевич**

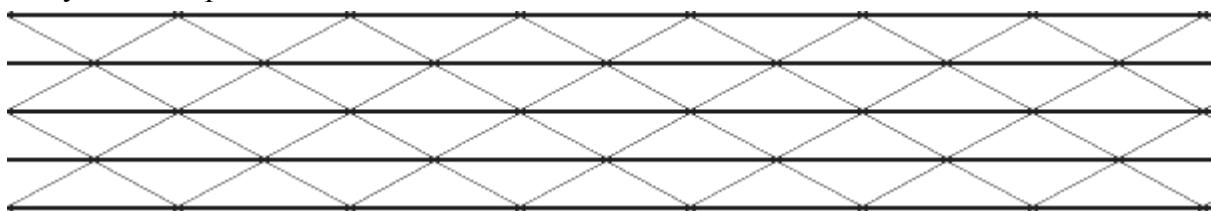
**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва, Россия**

# 1. Цель работы

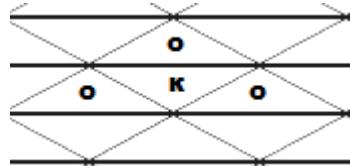
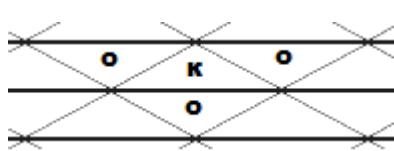
Изучение двумерных клеточных автоматов на сетке состоящей из треугольников.  
Подтверждение гипотезы о существовании космических кораблей у рассматриваемых  
клеточных автоматов.

## 2. Определение Elementary Triangular Automata

Будем рассматривать жизнеподобные клеточные автоматы с полем, которое выглядит следующим образом.



На это поле можно заметить два вида клеток: клетки “направленные вверх” и “направленные вниз”. Они будут иметь следующие окрестности.



к - клетка, о - клетка входящая в окрестность клетки к

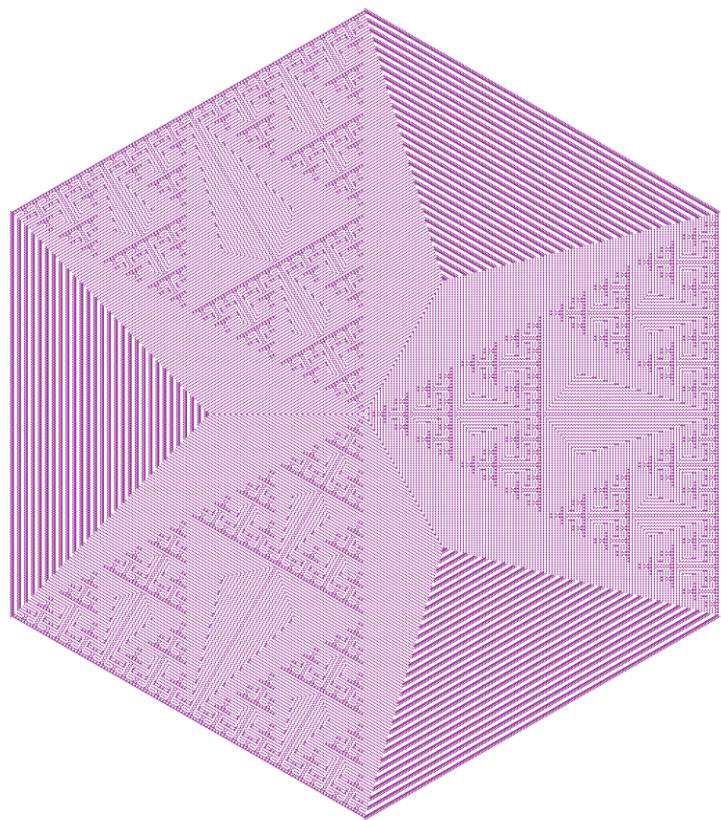
В этом разделе будут использоваться обозначения, демонстрации работы автоматов и информация о их поведении из [1], а также симулятор [2]. Автоматы описанные выше будем называть Elementary Triangular Automata (ETA) [1].

Из комбинаторики очевидно, что у ETA всего существует  $2^4 * 2^4 = 256$  возможных правил. Это означает, что можно перебрать все возможные правила. Однако в этом отчёте будут описаны только правила, являющиеся яркими представителями своего класса.

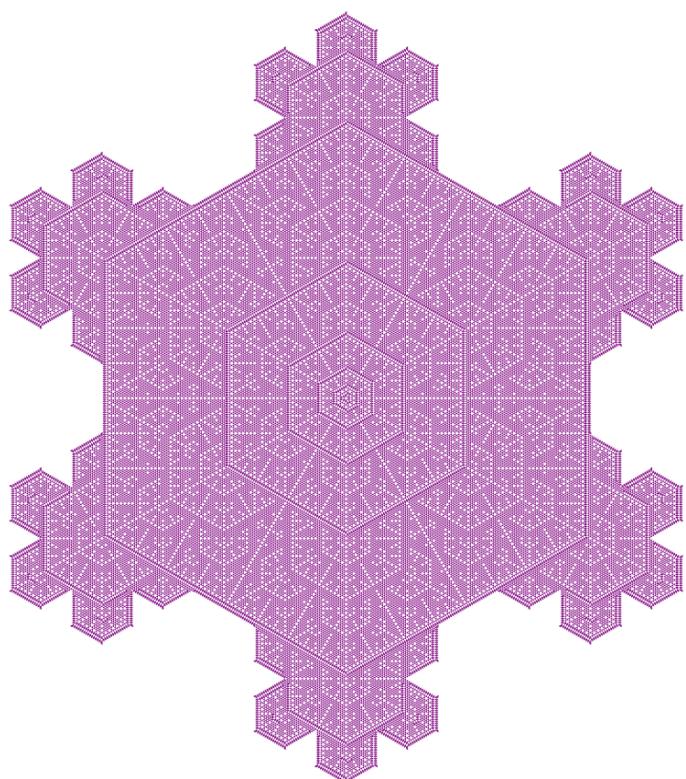
## 3. Фракталы

Среди ETA большая часть правил представляют собой правила, обеспечивающие разнонаправленный рост. Среди таких правил можно выделить правила образующие фракталы. Далее идут примеры таких фракталов полученных из одной живой клетки.

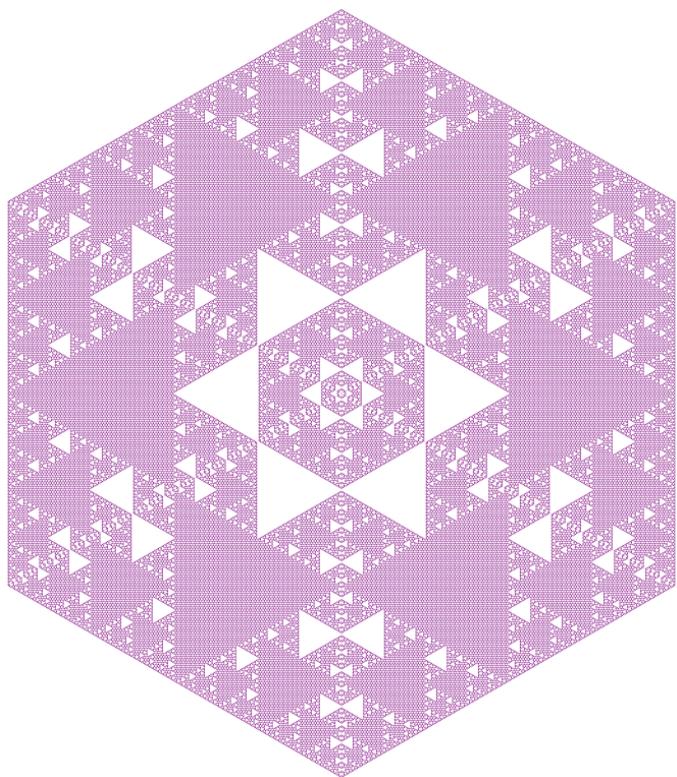
Правило B0/S2 при  $t = 512$  [1].



Правило B1/S01 при  $t = 352$  [1].

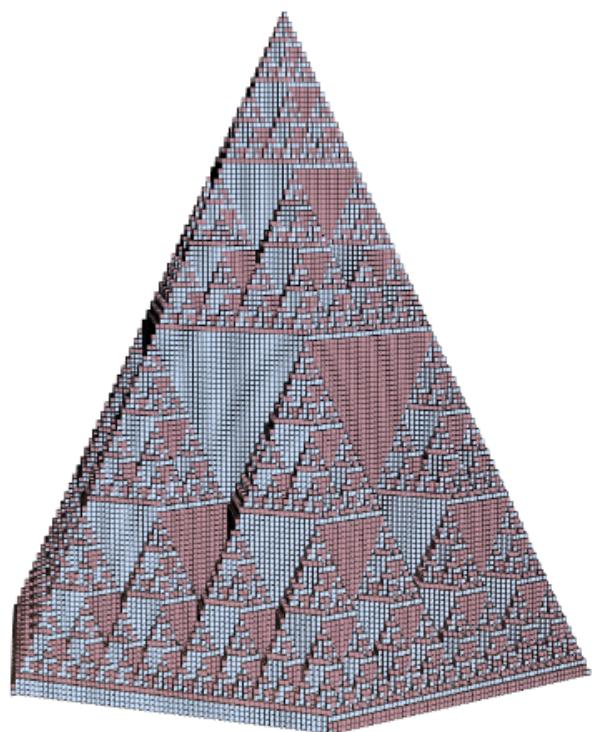


Правило B13/S12 при  $t = 510$  [1].

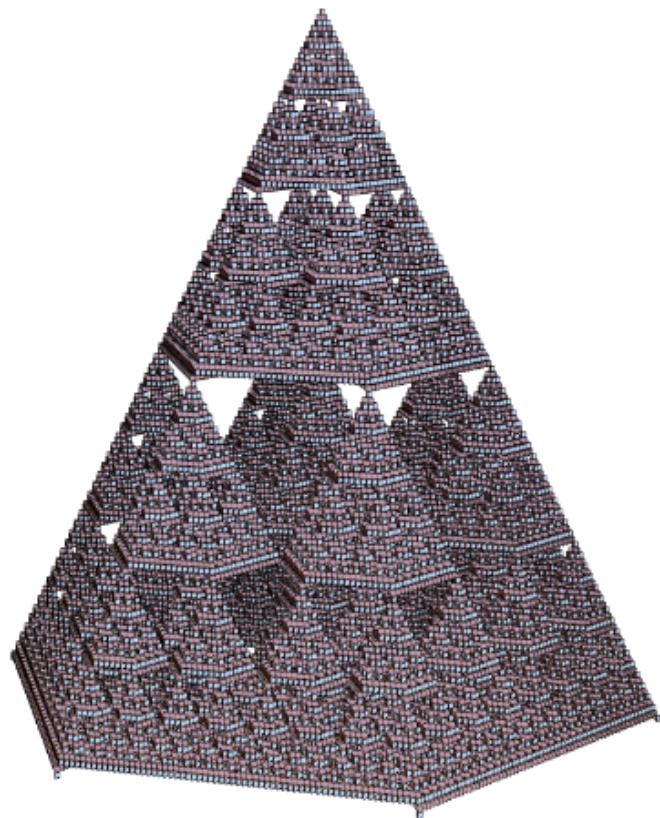


Интересно, что пространственно-временные развёртки правил B1/S01 и B13/S12 напоминают треугольник Серпинского.

B1/S01 при  $t = 126$

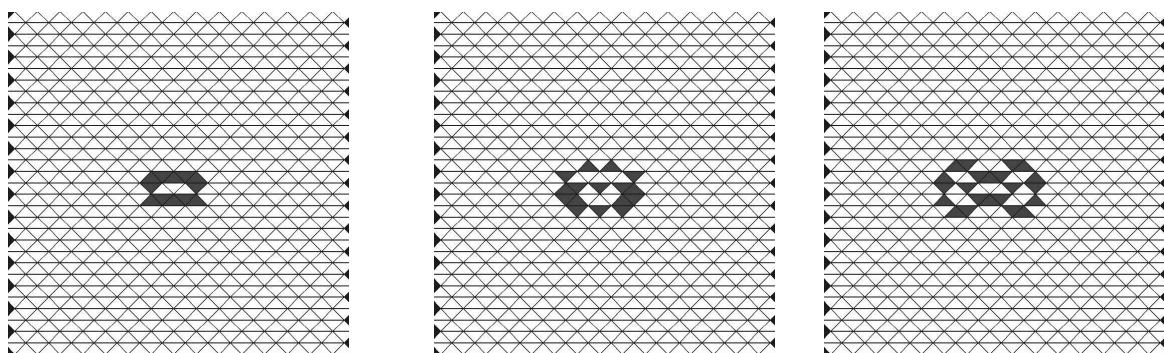


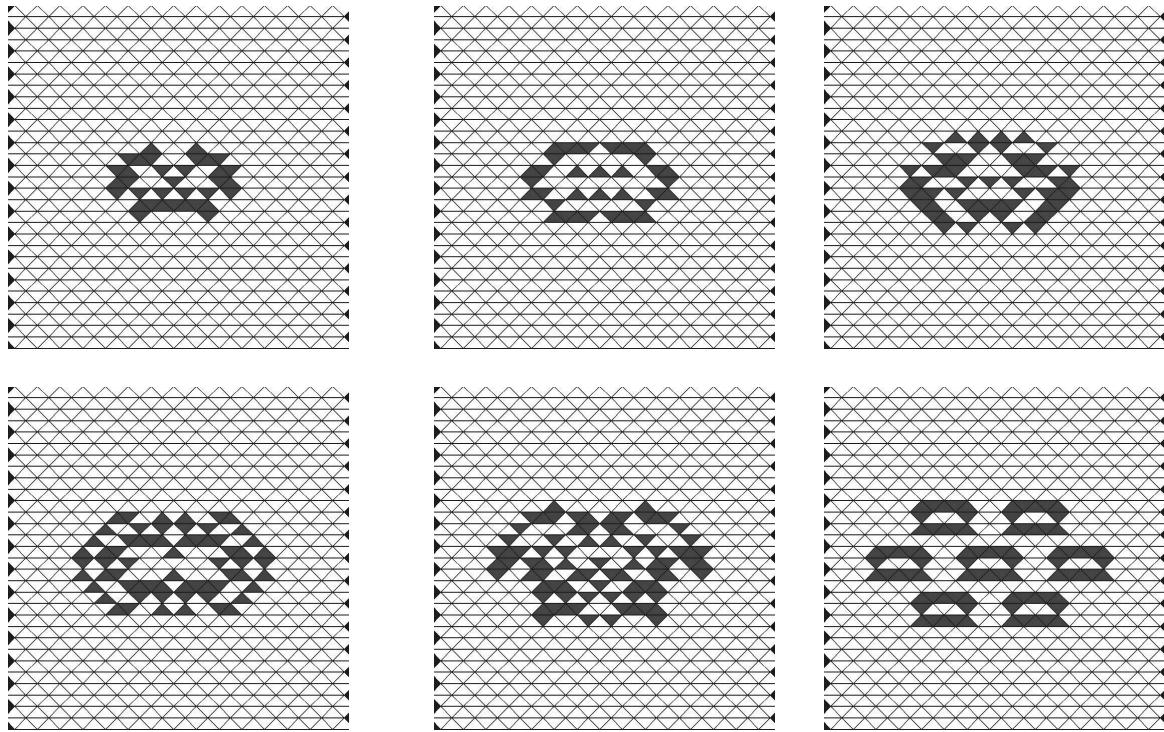
B13/S12 при  $t = 126$



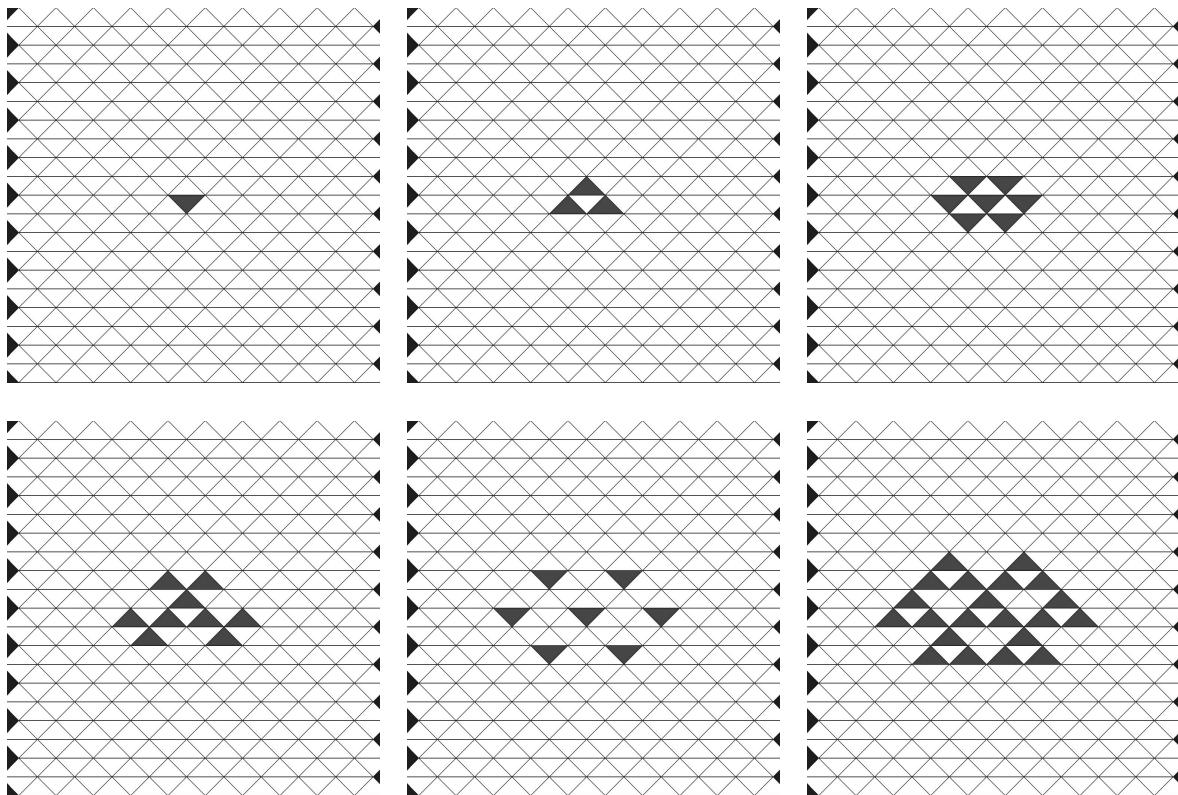
## 4. Репликаторы

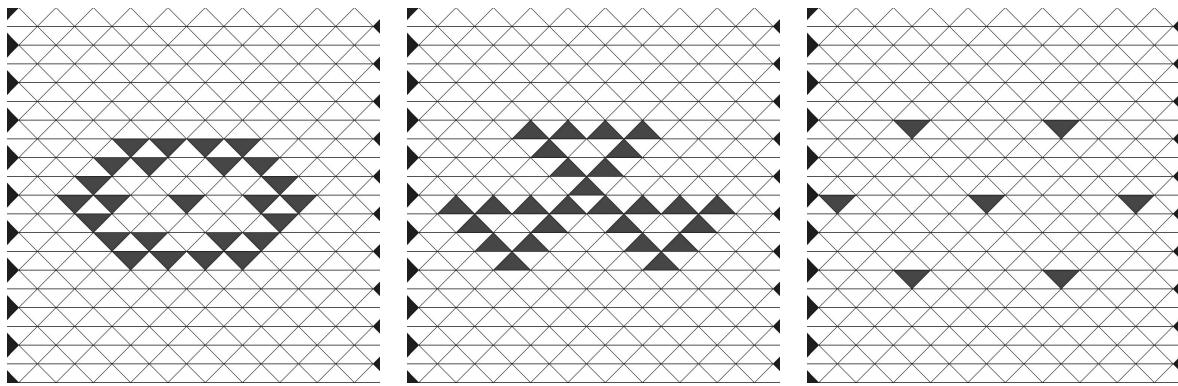
Правила B02/S02, B12/S02, B02/S13, B13/S13 представляют собой репликаторы, которые реплицируют любой конечный паттерн [1]. Это важное наблюдение, так как одной из целей изучения клеточных автоматов было создание математической модели самовоспроизведения [1]. Вот как это делает правило B13/S13.





Также упомянутое в разделе “фракталы” правило B13/S12 можно рассматривать как репликатор при начальной конфигурации из одной клетки.

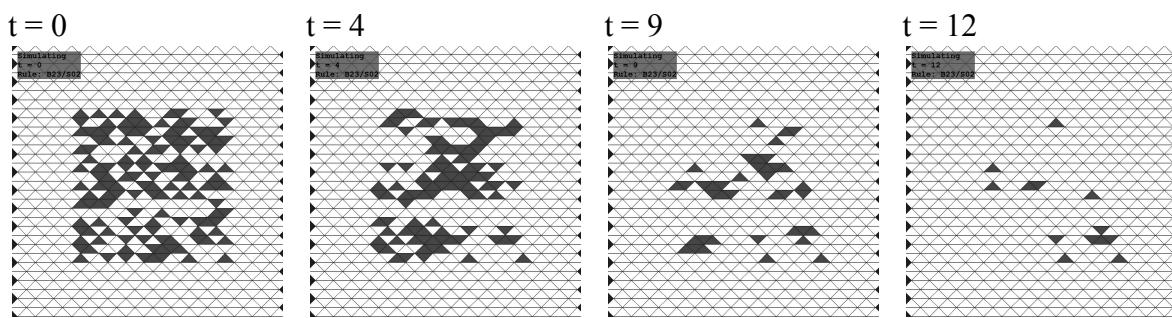


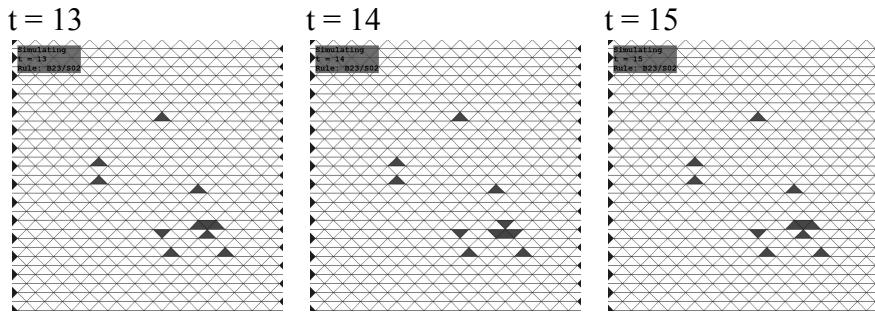


## 5. Уменьшение популяции и осцилляция

Некоторые правила для начальной конфигурации в виде случайного супа демонстрируют уменьшение популяции живых (или мёртвых, если рассматривать инверсные правила) клеток несколько ходов (в том числе и 0), после чего конфигурация клеток остается статичной или осциллирует с небольшим периодом. Если рассматривать такие правила с точки зрения классификации Элементарных Клеточных Автоматов Вольфрама, то такие правила бы принадлежали к первому классу - для тех правил, которые остаются статичными, и ко второму - для тех правил, которые осциллируют.

Ярким представителем ЕТА, демонстрирующим такое поведение, является правило B23/S02.

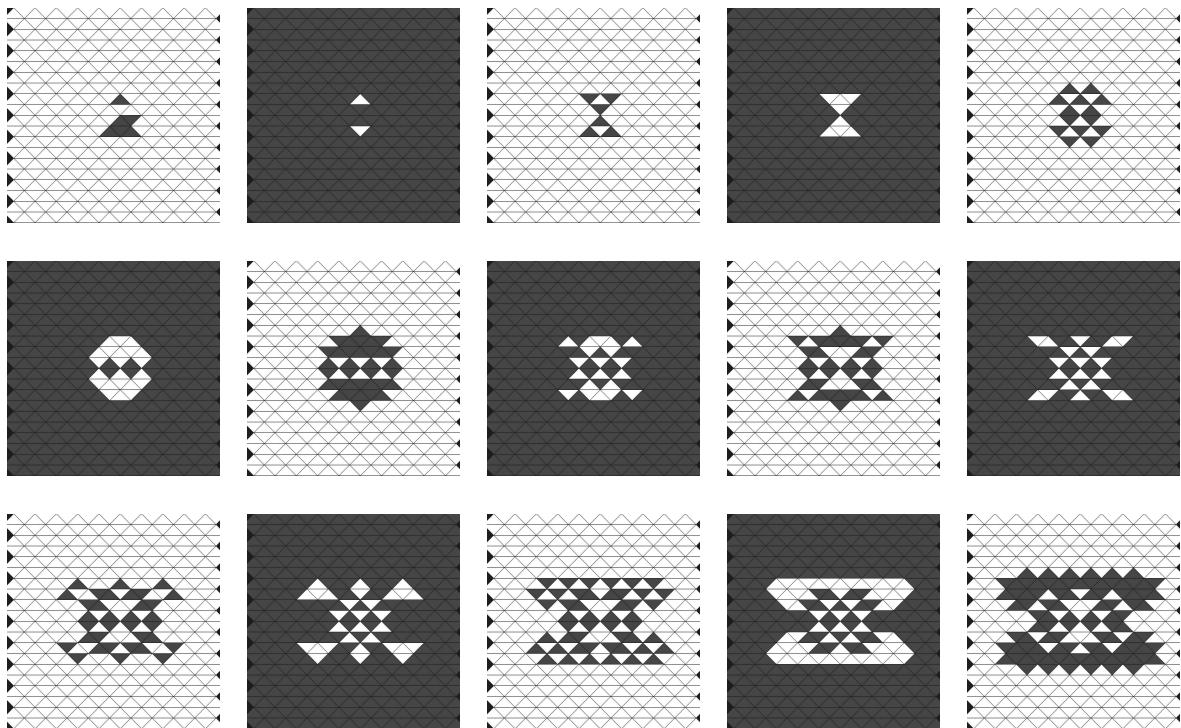




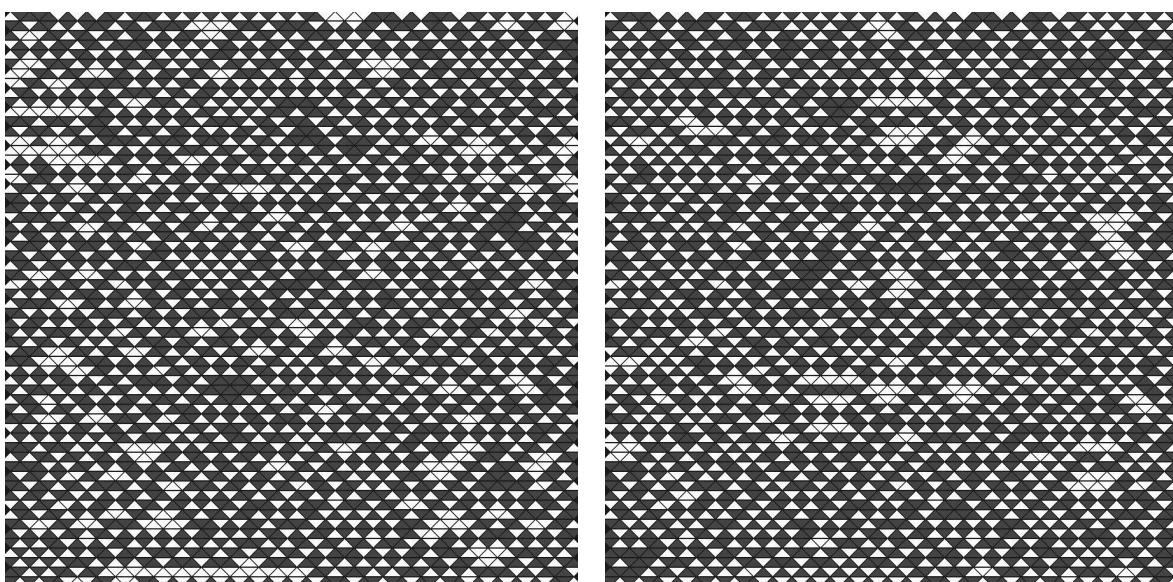
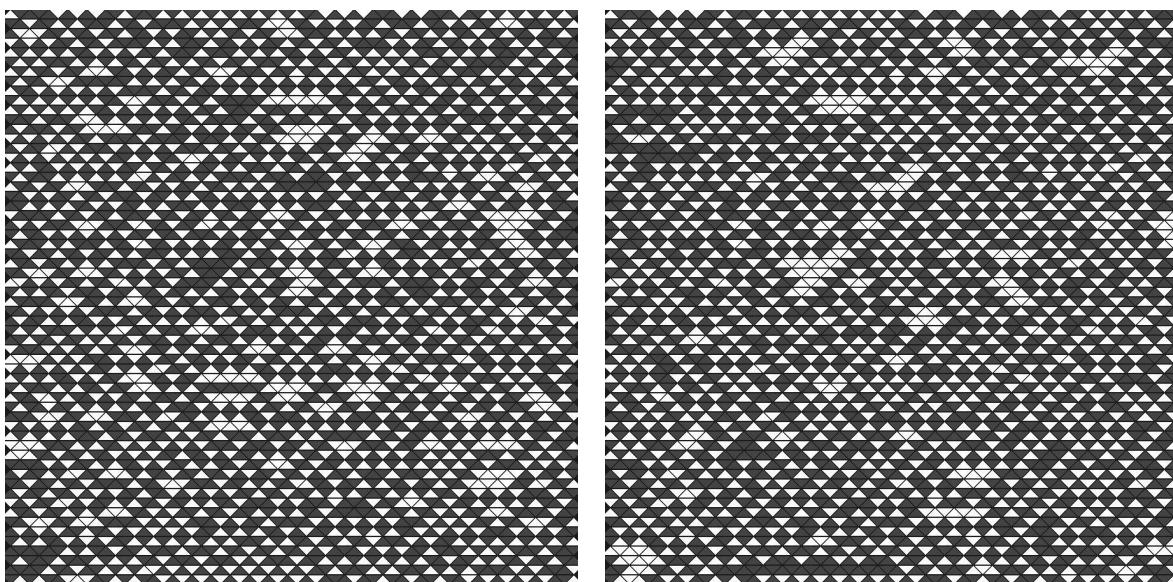
## 6. “Мерцающие” автоматы

Поле автомата с правилами, в которых рождение клетки происходит, когда в окрестности нет живых клеток, и в которых клетка не выживает, если у неё есть три соседа, “мерцает”. В таких автоматах в качестве “активных” клеток можно рассматривать то живые, то мёртвые клетки в зависимости от чётности хода.

Вот так, например, выглядят первые 15 шагов эволюции правила B01/S12 из случайной начальной конфигурации.



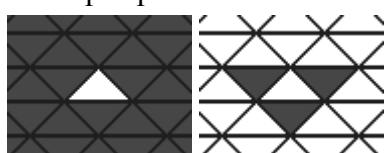
Это же правило превращается в осциллятор, при заполнении всего пространства. Ниже показан один цикл осцилляции.



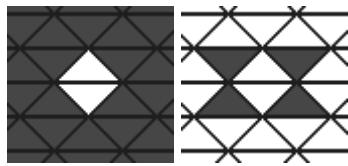
Отдельно стоит рассмотреть ETA с правилом B01/S02, так как, он демонстрирует большее разнообразие в сравнении с другими ETA. Поведение этого автомата не ограничивается только лишь одним типом поведения. Он не является автоматом, который показывает только квадратичный рост, или автоматом, который является только осциллятором, хотя подавляющее большинство начальных конфигураций инициируют бесконечную экспансию.

Далее идут различные конфигурации найденные при изучении этого автомата.

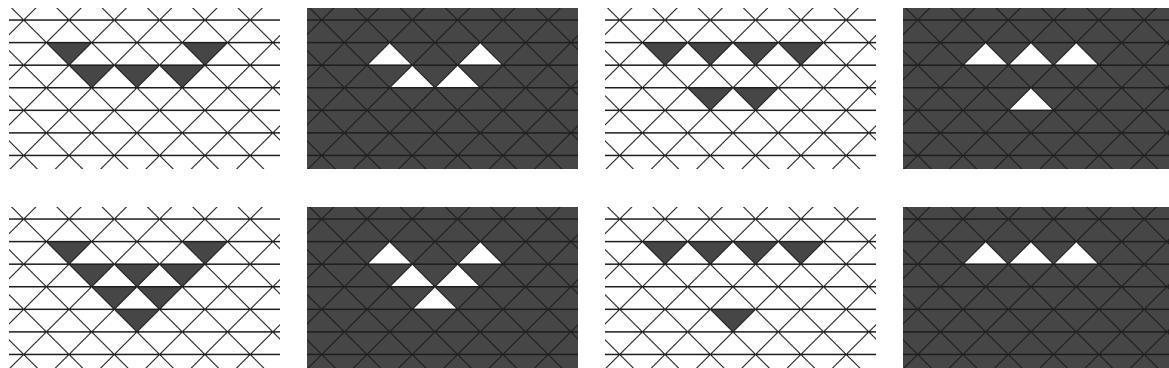
Натюрморт 1:



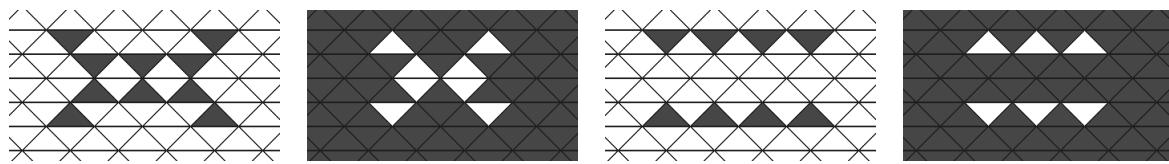
Натюрморт 2:



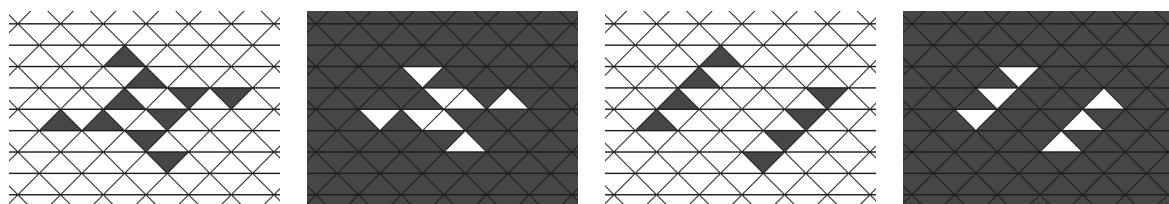
Осциллятор с периодом 8:



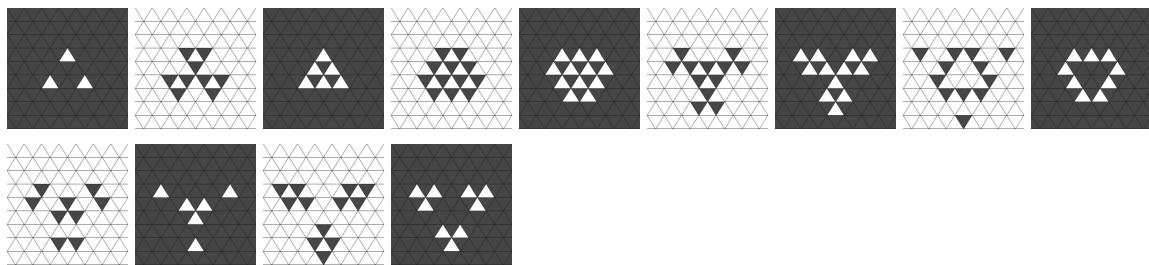
Если объединить два таких осциллятора, то получится осциллятор с периодом 4:



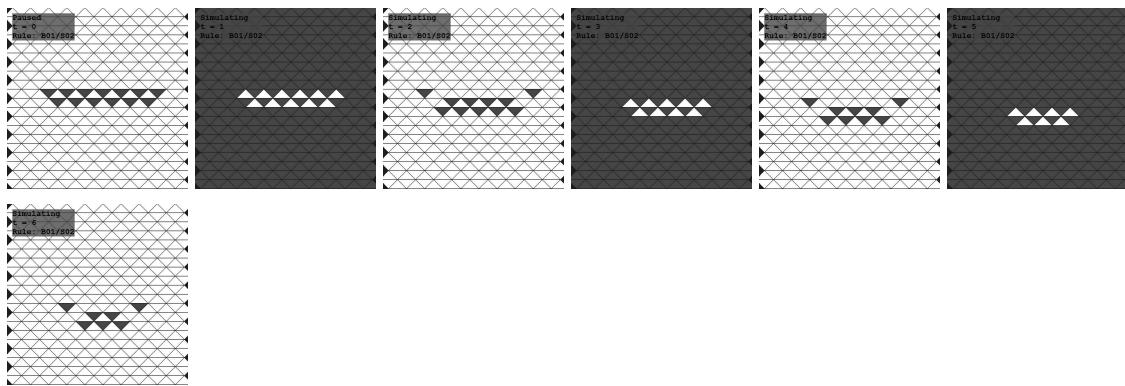
Естественно, в силу симметричности правил жизнеподобных автоматов, все конфигурации должны работать точно также при их повороте. Продемонстрируем на примере предыдущего осциллятора:



Осциллятор с периодом 14:

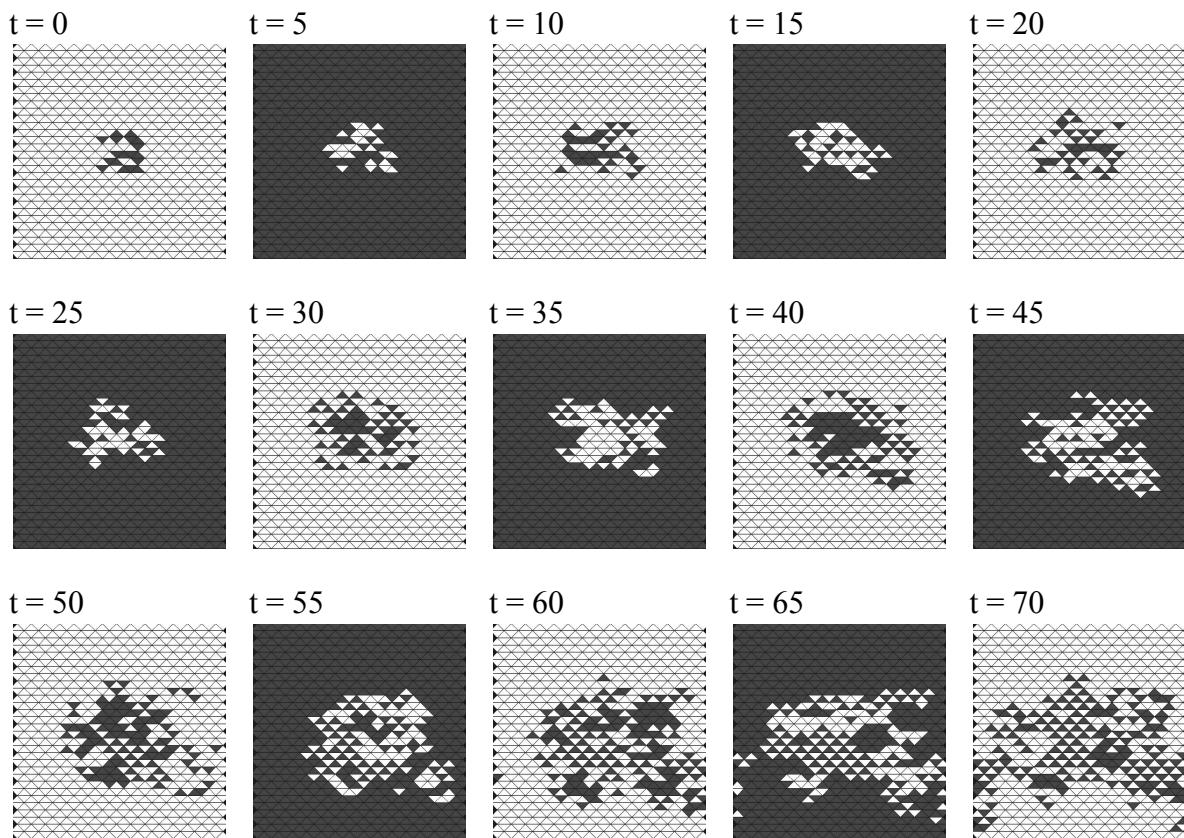


Конфигурация похожая на космический корабль, но уменьшается со временем:



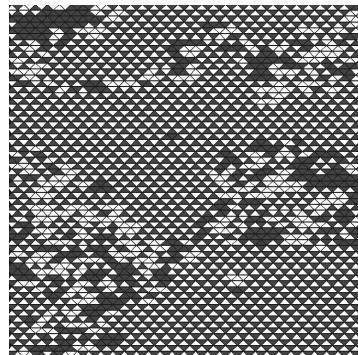
Видно, что крайние клетки отделяются и умирают. Естественно, если увеличить длину этой конфигурации до бесконечности (или замкнуть эту конфигурацию на себя, если рассматривать работу автомата не торе), то она никогда не умрёт. Тогда можно рассматривать эту конфигурацию как бесконечный космический корабль, но в этом случае применимость такого корабля для передачи информации остаётся под вопросом.

Как было сказано выше, большая часть начальных конфигураций представляют собой бесконечный рост. Рассмотрим такую конфигурацию.



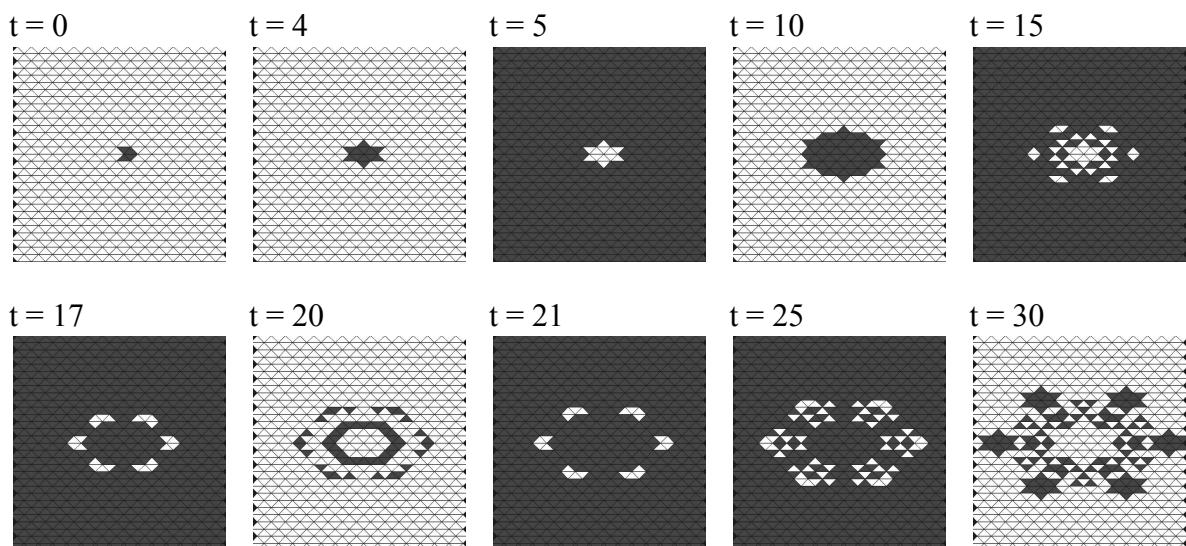
Хочется отметить хаотичность направления роста несвойственную другим ЕТА. Эта хаотичность достигается за счёт сравнительно большого количества вариантов поведения при различных конфигурациях.

По мере заполнения поля постепенно начинают образовываться статичные конфигурации - конфигурации представляющие собой чередование мёртвых и живых клеток. При этом остальные клетки продолжают хаотично передвигаться.



Такое поведение напоминает передвижение воды между статичными участками суши.

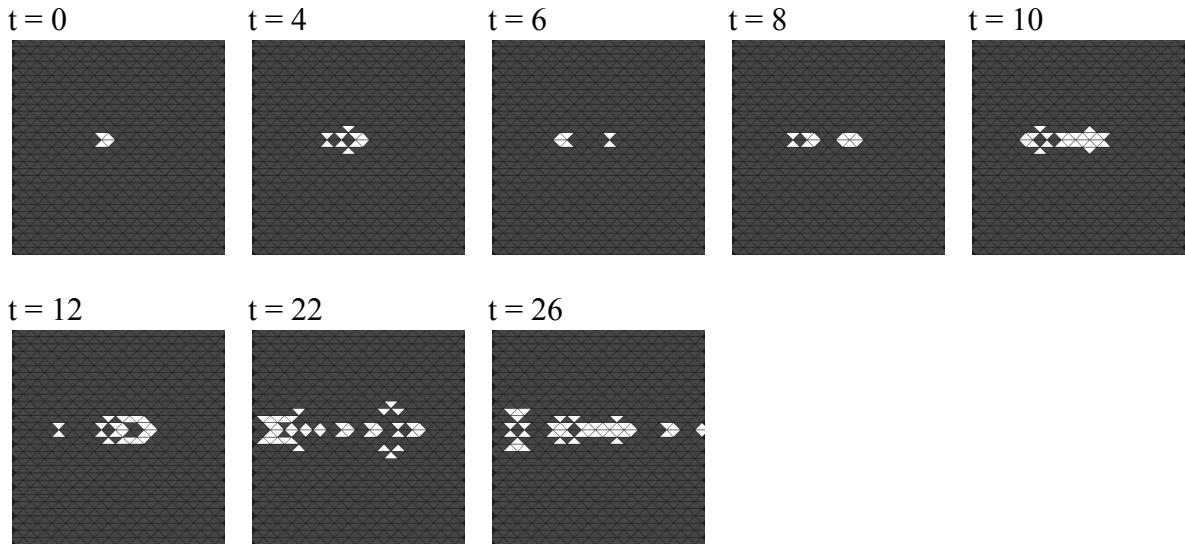
Помимо неконтролируемого роста, были найдены конфигурации с равномерным (по направлению) ростом и направленным ростом. Рассмотрим равномерный рост.



Можно заметить повторяющиеся конфигурации, саморепликация которых, как можно предположить, и является источником роста. Например конфигурацию при  $t = 4$  можно заметить на состоянии ETA при  $t = 30$ , а конфигурация представленная ниже встречается при  $t = 17$ ,  $t = 21$  и  $t = 25$ .



Эта конфигурация и является конфигурацией обеспечивающей направленный рост. Ниже представлены состояния эволюции этой конфигурации, в которых можно заметить саму конфигурацию.



Эту конфигурацию также как и уменьшающийся космический корабль можно попытаться использовать для передачи сигнала.

Ещё одно интересное наблюдение заключается в том, что из случайного супа в котором случайные значения принимают только те клетки, которые направлены вниз (или только те, которые направлены вверх) не было получено ни одной конфигурации, которая бы бесконечно разрасталась. Это может означать, что поиск стабильных конфигураций нужно производить именно среди конфигураций такого типа (все разрастающиеся конфигурации кроме одной, представленные выше, именно такие).

Правило B01/S02 проявляет высокое разнообразие, имеет конфигурацию похожую по функции на космический корабль и может претендовать на тьюринг-полноту, если в нем будут обнаружены поглотители и отражатели. В таком случае можно будет доказать тьюринг-полноту реализовав булеву алгебру на ETA, подобно тому как это было сделано с игрой жизнь. Однако их поиск может оказаться трудной задачей, так как огромное количество конфигураций не является стабильными и конфигурации поглотителей и отражателей могут не попадать под предположение высказанное в предыдущем абзаце (как например один из описанных ранее осцилляторов).

## 7. Заключение

В правиле B01/S02 была обнаружена конфигурация, которая может выполнять функцию космического корабля, но уменьшается со временем. А также бесконечный космический корабль, практическую пользу от которого ещё предстоит выяснить.

## 8. Список литературы

- [1] <https://paulcousin.net/triangular-automata>
- [2] [https://github.com/litc0x3B/triangular\\_life-like\\_CA](https://github.com/litc0x3B/triangular_life-like_CA)