

ИЕН СТУАРТ

ТАЙНЫ КАТАСТРОФЫ



Перевод с французского
Г. Е. Гусятинской

под редакцией
д-ра физ.-мат. наук А. В. Чернавского

Стьюарт И.

С88 Тайны катастрофы. Пер. с франц.— М.: Мир, 1987.
76 с., ил.

Имя автора хорошо известно советскому читателю по монографии «Теория катастроф», написанной им совместно с Т. Пустоном (М.: Мир, 1980). Данная книга посвящена изложению основных положений и практического применения теории катастроф в заманчивой форме, чему способствуют многочисленные забавные иллюстрации.

Для специалистов, работающих в различных областях науки и техники и в народном хозяйстве, а также для студентов вузов.

С 2101000000-274 150-87, ч. 1
041(01)-87

ББК 22.17

Рекомендуемая литература по информатике и электронике

С. L'Étalon-Clairmont: Éclairne, Béain, 1982.
С. Перевод на русский язык. «Мир», 1986.

ИЕН СТЮАРТ



Родился в 1945 г. на юго-восточном побережье Великобритании. Случись это 40 километрами восточнее, и он по праву мог бы считать себя французом. Сначала Стюарт изучает математику в Кембридже и Ворвике, а затем преподаёт её в том же Ворвике, а также в Германии, Новой Зеландии и Соединённых Штатах Америки.

Будучи студентом Ворвикского университета, он принимает активное участие в создании журнала "MANIFOLD", цель которого (кстати, часто достигаемая) состояла в популярном изложении математики. В этом журнале под псевдонимом Косгров была напечатана серия выполненных Стюартом математико-юмористических рисунков, которые в настоящее время печатаются в журнале "MATHEMATICAL INTELLIGENCER".

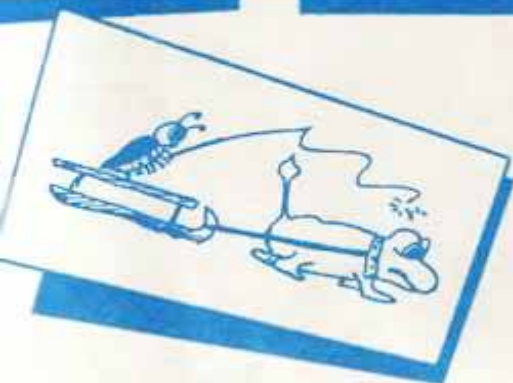
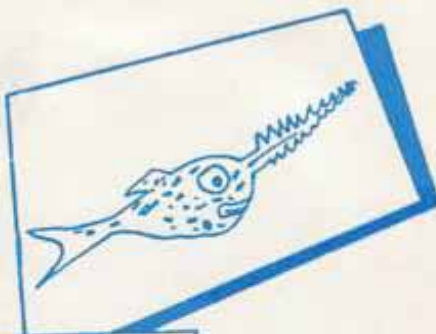
Благодаря невяному и тем не менее необычайно благотворному влиянию английского математика Кристофера Зимана Иену был поручен перевод на английский язык книги Жана-Пьера Петти "ПРИКЛЮЧЕНИЯ АНСЕЛЬМА ЛАНТЮРАНО". Одновременно Стюарт работает над созданием книги, главным персонажем которой является роза полимат, его любимая героиня — наивная, живая и экстравагантная толстушка. Иен Стюарт глубоко убежден, что можно увлекательно и доступно рассказать о самых сложных проблемах современной математики, хотя некоторые ученые весьма скептически относятся к такому изложению.

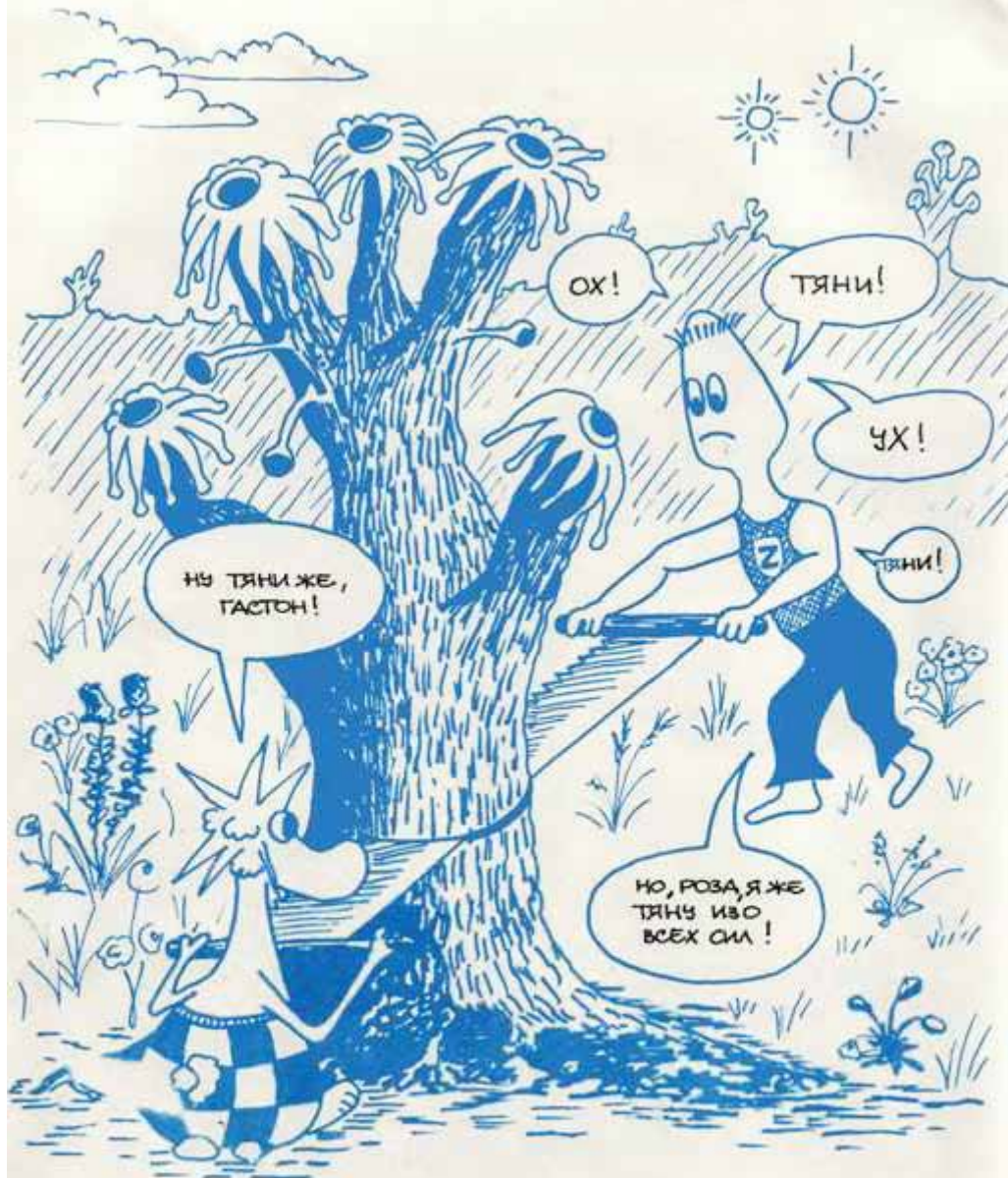
Иен Стюарт является автором учебных пособий для университета по теории галаз, понятиям современной математики, бесконечномерным алгебрам ли и теории катастроф (последняя работа, написанная совместно с Тимом Постоном, названа Американским журналом "CHOICE" в числе лучших книг по математике за 1978 г.), а также книг для детей "НАТ-КРАКЕРС И ГЕТ НОТЕД" и "ПИК, ПОК, БИТ И РЭМ". Ему принадлежит статья о Гausсе (журнал "SCIENTIFIC AMERICAN") и научно-фантастическая новелла, выпущенная в издательстве "ANALOG ET OMNI".

Иен Стюарт с женой и двумя детьми живет на юге регби — родине игры в мяч овальной формы. Он пытается, хотя и со скромными результатами, противопоставить регби крикет...
...разумеется, когда не занят рисунками.

Хроника розы полимат впервые публикуется на французском языке, и эта честь выпала на долю издательства "VELIN".







МАТЕРИК **ЧЕРНИЛЬНОЕ ПЯТНО:**

НА опушке леса ДВОЕ ОМБИЛИКУЛЯН ПИЛЯТ ДЕРЕВЬЯ — ГЛАЗАСТИКИ И СТВОЗЯТ ИХ В РАСПОЛОЖЕННЫЙ ПО СОСЕДСТВУ

КЛУЗИУСПОЛИС

ВСЕ-ТАКИ СПИИИИИ!

УФ!
НАКОНЕЦ-ТО!

ТЕПЕРЬ
МОЖНО
ОТДОХНУТЬ.

СМОТРИ-КА,
КАКОЕ
ОТЛИЧНОЕ
СИДЕНЬЕ.

СПОКОЙ-ОЙ-НО!

ДВИНЬ!

УВЫ,
НИЧТО НЕ
ПРОЧНО..

ТРАХ!

ИНТЕРЕСНО,
ПОЧЕМУ
Я ВСЕ-ТАКИ
УПАЛА?

ПОТОМУ, ЧТО ТЫ
СЛИШКОМ
ТЯЖЕЛАЯ!

И ВООБЕ
НЕ ПОЭТОМУ!

ГМ... ГМ... ГМ...

ГМ... ГМ... ГМ...

**ПРОШЛО
ДВА ДНЯ...**

ПРИВЕТ

Я ЖЕ ГОВОРИЛА ТЕБЕ,
ГАСТОН, ЧТО МОЕ ПАДЕНИЕ
ОБЪЯСНЯЕТСЯ ОЧЕНЬ
ПРОСТО.

СМОТРИ, Я ПОСТРОИЛА ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕГО ПРОГИБА ПИЛЫ ОТ ПРИЛОЖЕННОЙ К НЕЙ НАГРУЗКИ (СИЛЫ).

ПРОГИБ ВВЕРХ

НУЛЕВОЙ ПРОГИБ

ПРОГИБ ВНИЗ

ВЕЛИЧИНА ПРОГИБА ПИЛЫ ПРИЕЛИЗИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СРЕДНЕЙ ТОЧКИ, ТОЧНЕЕ, ЕЕ ОРДИНАТОЙ, ИЛИ ВЫСОТОЙ; ПРИ ЭТОМ ТОЧКА ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛЫ МОЖЕТ СЛЕТКА СМЕЩАТЬСЯ ВДОЛЬ ОСИ АБСЦИСС, Т.Е. ПО ГОРИЗОНТАЛИ.

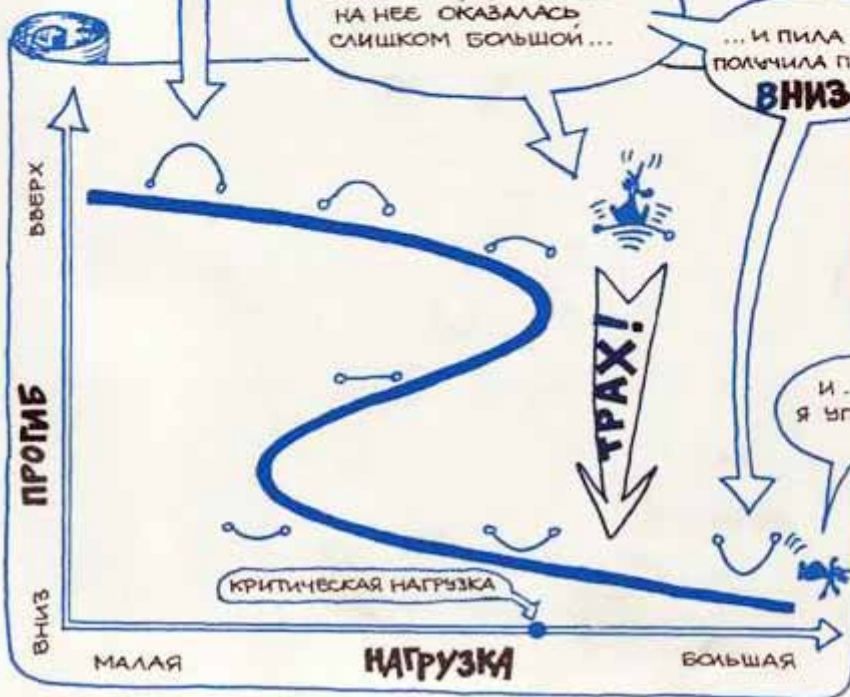
ОПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКЕ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА ПИЛУ, СООТВЕТСТВУЕТ ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ПРОГИБ ПИЛЫ.

ЕСЛИ НАГРУЗКА НА ПИЛУ НЕВЕЛИКА, ПИЛА ПРОГИБАЕТСЯ **ВВЕРХ...**

... КОГДА ЖЕ НА ПИЛУ УВЕЛИЧАСЬ Я, ТО НАГРУЗКА НА НЕЕ ОКАЗАЛАСЬ СЛИШКОМ БОЛЬШОЙ...

... И ПИЛА ПОЛУЧИЛА ПРОГИБ **ВНИЗ.**

И ... Я УПАЛА.





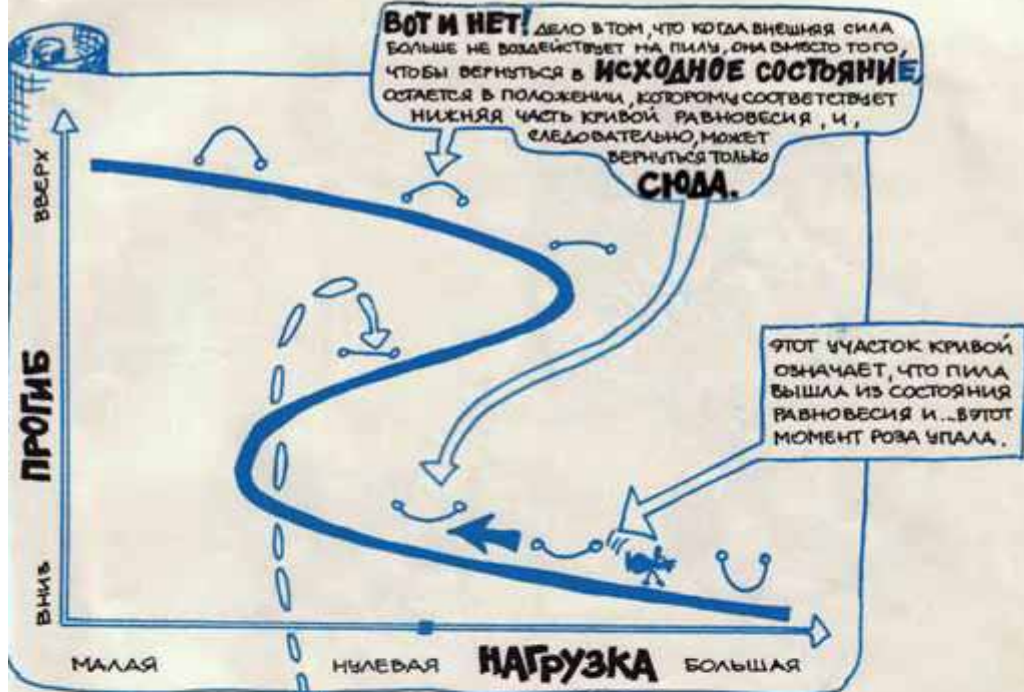
А ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ
**КРИТИЧЕСКАЯ
НАГРУЗКА?**

ЭТО ТАКАЯ НАГРУЗКА,
ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОТОРОЙ
ПИЛА ВНЕЗАПНО
ИЗМЕНЯЕТ СВОЮ
ФОРМУ.

ЗНАЧИТ, Я БЫЛ
ПРАВ—ТЫ СЛИШКОМ
ТЯЖЕЛАЯ!

ДОПУСТИМ, НО ПОЧЕМУ ЖЕ ТОГДА
ПИЛА НЕ ПРИНЯЛА ПРЕЖНЮЮ
ФОРМУ ПОСЛЕ ТОГО, КАК Я С НЕЕ
СВАЛИЛАСЬ?

ОЧЕВИДНО, ПОД
ДЕЙСТВИЕМ ТВОЕГО
ВЕСА ОНА ПОГНУЛАСЬ.





ТАК ЭТО ЖЕ
ПРОСТО!

ТАКОЕ СОС-
ТОЯНИЕ ПИЛЫ
ЯВЛЯЕТСЯ
НЕУСТОЙЧИВЫМ



НЕУСТОЙЧИВЫМ?
А ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ?

ЭТО ЗНАЧИТ... ЭТО
ЗНАЧИТ, ЧТО СНАЧАЛА
Я ДОЛЖНА ОБЪЯСНИТЬ
ТЕБЕ, ЧТО ТАКОЕ...

ЭНЕРГИЯ!



ЭНЕРГИЯ — это способность
тела выполнять **РАБОТУ**;
она может принимать различные формы.

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ—

это энергия движения; движущееся тело
выполняет какую-то работу.



ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ — это энергия положения;
она обусловлена гравитацией. Чем на большую высоту поднято тело,
тем большую работу оно может совершить.



одной из форм энергии
является **ТЕПЛОТА**.



УПРУГОЕ тело, находясь
в сжатом или растянутом
состоянии, накапливает
энергию...

мы являемся свидетелями
превращения тепловой энергии
в кинетическую.

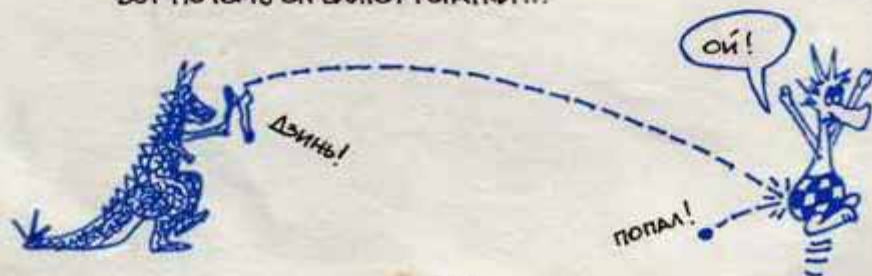




ВОТ ПОЧЕМУ ТЕЧЕТ ВОДА СО СКЛОНА ...



ВОТ ПОЧЕМУ СТРЕЛЯЮТ РОГАТКИ ...



ВОТЕ ЕЩЕ ОДНА **ЗАВИСИМОСТЬ**, КОТОРАЯ ПОКАЗЫВАЕТ, КАК ИЗМЕНЯЕТСЯ УПРУГАЯ ЭНЕРГИЯ ПИЛЫ ОТ ЕЕ ПРОГИБА ПРИ **ПОСТОЯННОЙ** НАГРУЗКЕ.

НАЗОВЕМ РАЗЛИЧНЫЕ ПРОГИБЫ ПИЛЫ **СОСТОЯНИЯМИ**. ТОГДА СОСТОЯНИЮ РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМЫ БУДЕТ СООТВЕТСТВОВАТЬ...

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ УЧАСТОК КРИВОЙ.

СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ — ЭТО СОСТОЯНИЯ, КОТОРЫЕ СООТВЕТСТВУЮТ **СТАЦИОНАРНЫМ** ЗНАЧЕНИЯМ ЭНЕРГИИ.

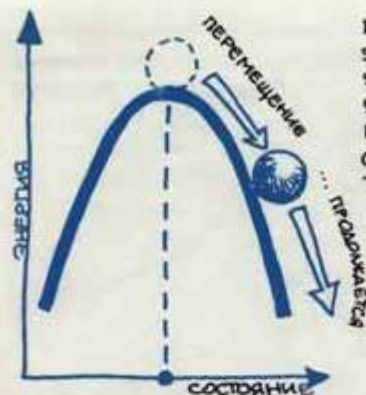
В СОСТОЯНИИ В ЭНЕРГИЯ **МИНИМАЛЬНА**, В СОСТОЯНИИ А И С ОНА **МАКСИМАЛЬНА**.

ПРЕДСТАВИМ СЕБЕ ШАРИК, КАТАЮЩИЙСЯ ВДОЛЬ ГРАФИКА. ТОГДА, ЧЕМ ВЫШЕ НАХОДИТСЯ ШАРИК, ТЕМ БОЛЬШЕ ЕГО ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ. ЧТОБЫ УМЕНЬШИТЬ ЭНЕРГИЮ, ШАРИК БУДЕТ КАТИТЬСЯ ВНИЗ ДО ТЕХ ПОР, ПОКА ЕГО ЭНЕРГИЯ НЕ СТАНЕТ МИНИМАЛЬНОЙ. ОН НЕ ДВИЖЕТСЯ ТОЛЬКО НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ.

ОДНАКО... СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ МОГУТ БЫТЬ РАЗЛИЧНЫМИ. РАВНОВЕСИЕ, ПРИ КОТОРОМ ЭНЕРГИЯ МИНИМАЛЬНА, — **УСТОЙЧИВО**: ЕСЛИ ШАРИК НЕМНОГО СМЕСТИТЬ ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ, ЕГО ЭНЕРГИЯ ВОЗРАСТЕТ И ОН ВЕРНЕТСЯ В ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ.

Я — В УСТОЙЧИВОМ РАВНОВЕСИИ. НИКАКОЙ ЭНЕРГИИ!



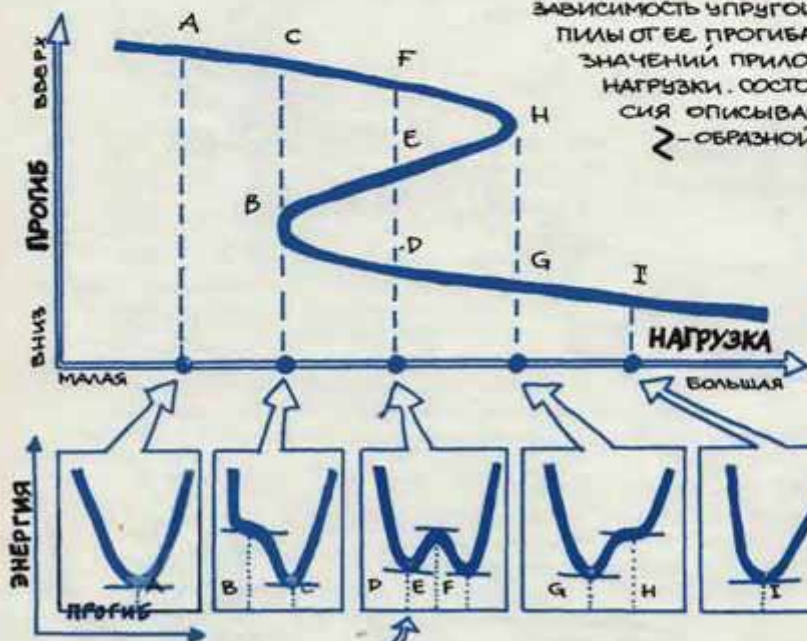


МАКСИМАЛЬНОЙ
 В СЛУЧАЕ СОСТОЯНИЯ С ЭНЕРГИЕЙ ДЕЛО ОБСТОИТ ИНАЧЕ. ЛЮБОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ УМЕНЬШАЕТ ЭНЕРГИЮ, И ПО МЕРЕ ТОГО КАК ШАРИК УДАЛЯЕТСЯ ОТ НАЧАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ, ОН ТЕРЯЕТ ВСЕ БОЛЬШЕ И БОЛЬШЕ ЭНЕРГИИ. НАЧАЛЬНОЕ СМЕЩЕНИЕ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ИМЕЕТ ТЕНДЕНЦИЮ К УВЕЛИЧЕНИЮ.



НЕУСТОЙЧИВОЕ РАВНОВЕСИЕ ХОТЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИ И ВОЗМОЖНО, НО ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ИМЕЕТ МЕСТА, ТАК КАК НАРУШАЕТСЯ ПРИ МАЛЕЙШЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗВНЕ.

ЗАВИСИМОСТЬ УПРУГОЙ ЭНЕРГИИ ПИЛЫ ОТ ЕЕ ПРОГИБА ДЛЯ ПЯТИ ЗНАЧЕНИЙ ПРИЛОЖЕННОЙ НАГРУЗКИ. СОСТОЯНИЯ РАВНОВЕСИЯ ОПИСЫВАЮТСЯ Σ -ОБРАЗНОЙ КРИВОЙ.



ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГИИ ОТ ПРОГИБА ДЛЯ ДАННОЙ НАГРУЗКИ.

НАПРИМЕР, ПРИ ДАННОЙ НАГРУЗКЕ УПРУГАЯ ЭНЕРГИЯ ПИЛЫ МОЖЕТ ПРИНИМАТЬ ТРИ ЗНАЧЕНИЯ: D, E И F. НА Σ -ОБРАЗНОЙ КРИВОЙ МОЖНО НАЙТИ ТРИ ТОЧКИ D, E, F, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЕННОМУ ПРОГИБУ ПИЛЫ.



СЛИШКОМ
СЛОЖНО!




ЭТО ТОЛЬКО КАЖЕТСЯ,
ГАСТОН! ПРЕДПОЛОЖИМ,

ЧТОТЫ **ВЫБРАМ**

КАКУЮ-ТО НАГРУЗКУ. ТОГДА
КАЖДОМУ ВОЗМОЖНОМУ ПРОГИБУ
ПИЛЫ ВУДЕТ СООТВЕТСТВОВАТЬ
НЕКОТОРАЯ ЭНЕРГИЯ. СОСТОЯНИЯ
РАВНОВЕСИЯ — ЭТО ТОЧКИ, КОТОРЫМ
НА КРИВОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ЭНЕРГИИ ПИЛЫ ОТ ЕЕ ПРОГИБА
СООТВЕТСТВУЮТ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ
УЧАСТКИ.



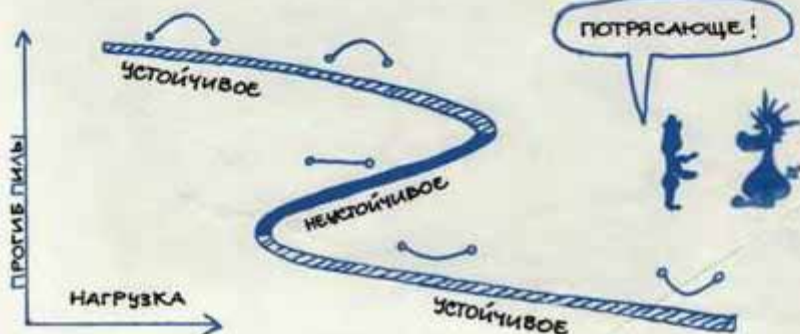
ПРИ НУЛЕВОЙ НАГРУЗКЕ ЗАВИСИМОСТЬ
ИМЕЕТ W-ОБРАЗНУЮ ФОРМУ
(КАК ПОКАЗАНО СПРАВА).

D (ВНИЗ) 
E (НУЛЕВОЙ) 
F (ВВЕРХ) 

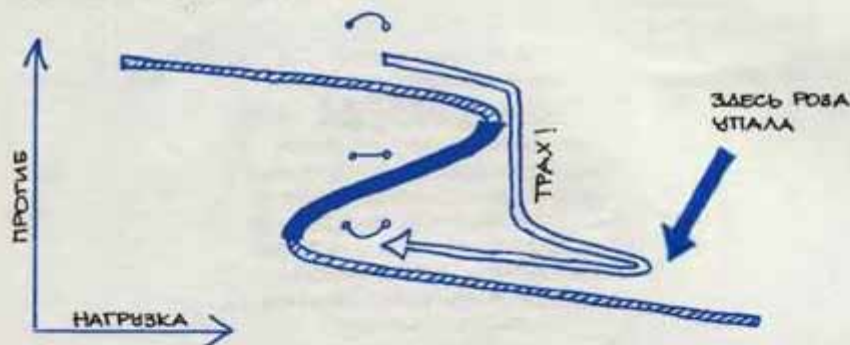
ХАРАКТЕР ЗАВИСИМОСТИ СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ
О ТОМ, ЧТО СОСТОЯНИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ
ТОЧКАМ D И F, УСТОЙЧИВЫ, А СОСТОЯНИЕ,
СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ ТОЧКЕ E,
НЕУСТОЙЧИВО.



ИТАК, КРИВУЮ РАВНОВЕСИЯ МОЖНО РАЗБИТЬ НА ТРИ ОБЛАСТИ.



ТЕПЕРЬ ПОНЯТНО, ПОЧЕМУ ПИЛА СОХРАНИЛА ПРОГИБ ВНИЗ ПОСЛЕ ТОГО, КАК РОЗА УПАЛА...



ПИЛА ПРОГИБАЕТСЯ ВНИЗ, ТАК КАК ДЛЯ ПРОГИБА ВВЕРХ ОНА ДОЛЖНА ПРЕОДОЛЕТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР.

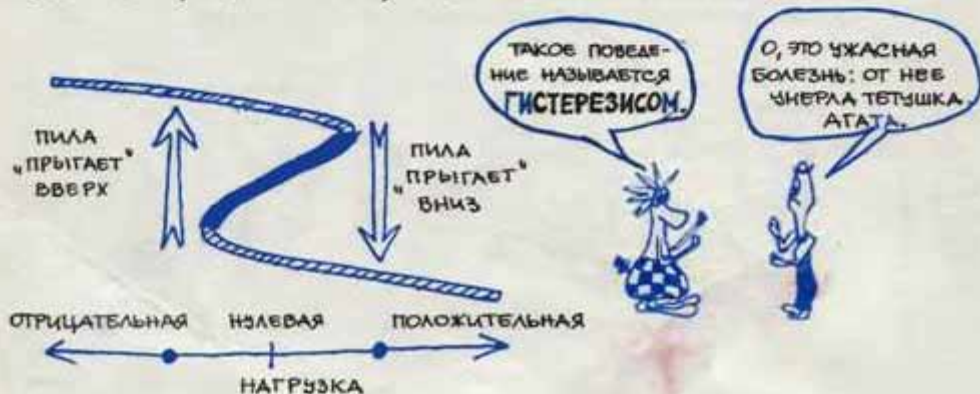


ПРИ ЭТОМ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ, ЧТО В РАССМАТРИВАЕМОМ СЛУЧАЕ НЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗВНЕ, БЛАГОДАРЯ КОТОРОМУ СИСТЕМА МОЖЕТ ПРЕОДОЛЕТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР. СИСТЕМА ПОДЧИНЯЕТСЯ

ПРАВИЛУ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

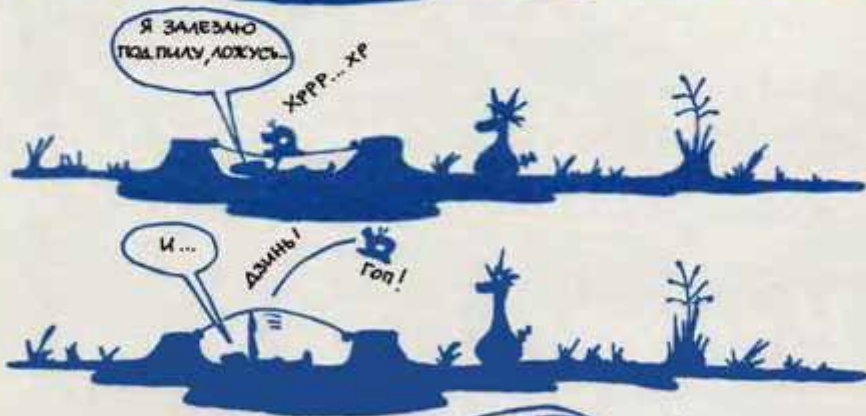
(или ПРОМЕДЛЕНИЯ).

ПИЛА МОЖЕТ, КОНЕЧНО, ВНОВЬ ПРОГНУТЬСЯ ВВЕРХ, НО ТОЛЬКО ПРИ УСЛОВИИ, ЧТО НА НЕЕ ДЕЙСТВУЕТ СИЛА, ТАКЖЕ НАПРАВЛЕННАЯ ВВЕРХ (ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ НАГРУЗКА).



ХАРАКТЕР ЗАВИСИМОСТИ ОБЪЯСНЯЕТ, ПОЧЕМУ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕСА РОЗЫ ПИЛА ВНЕЗАПНО ИЗМЕНИЛА СВОЮ ФОРМУ: ИЗМЕНИЛОСЬ ЕЕ СОСТОЯНИЕ — ОНО ПЕРЕСТАЛО БЫТЬ УСТОЙЧИВЫМ РАВНОВЕСИЕМ.





ГРРРРР!



ОСТОРОЖНО, РЫБА, УЖ
ОЧЕНЬ ОН РАЗГНЕВАН!

ПОЧЕМУ ТЫ
ТАК ДУМАЕШЬ?

ПОТОМУ
ЧТО У НЕГО
СВЕТИТСЯ
НОС.

ОПЫТНОМУ НАБЛЮДАТЕЛЮ НЕ СОСТАВЛЯЕТ ТРУДА ОПРЕДЕЛИТЬ, В КАКОМ СОСТОЯНИИ НАХОДИТСЯ КЛИПС: ЕСЛИ ОН РАЗГНЕВАН, У НЕГО СВЕТИТСЯ НОС; ЕСЛИ ЕМУ СТРАШНО, ОН ОТВОДИТ НАЗАД УСИКИ - АНТЕННЫ.



НОРМАЛЬНОЕ
СОСТОЯНИЕ



СОСТОЯНИЕ
ИСПУГА

В СОСТОЯНИИ ГНЕВА КЛИПС НАПАДАЕТ, А КОГДА ЕМУ СТРАШНО, ОН УБЕГАЕТ.



ПОНЯТНО. А КОГДА
ОН ВОТ ТАК ГРИМАС-
НИЧАЕТ, ЧТО
ЭТО ЗНАЧИТ?

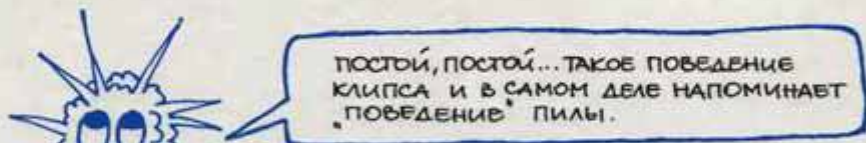
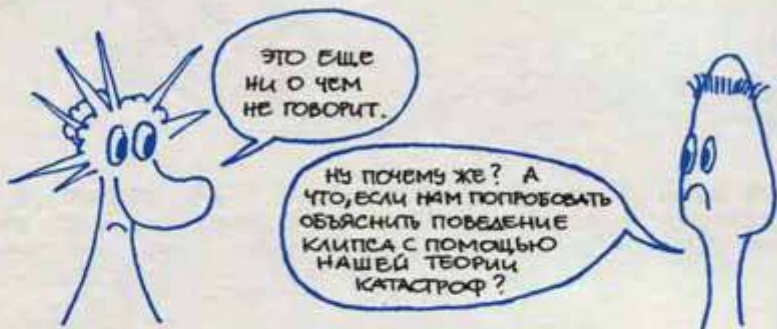
О!

В ТАКОМ
СОСТОЯНИИ
ОН ОЧЕНЬ
ОПАСЕН.

ПОВЕДЕНИЕ КЛИПСА, У КОТОРОГО СВЕТИТСЯ НОС, А УСИКИ-АНТЕННЫ ПРИЖАТЫ, СОВЕРШЕННО

НЕПРЕДСКАЗУЕМО.

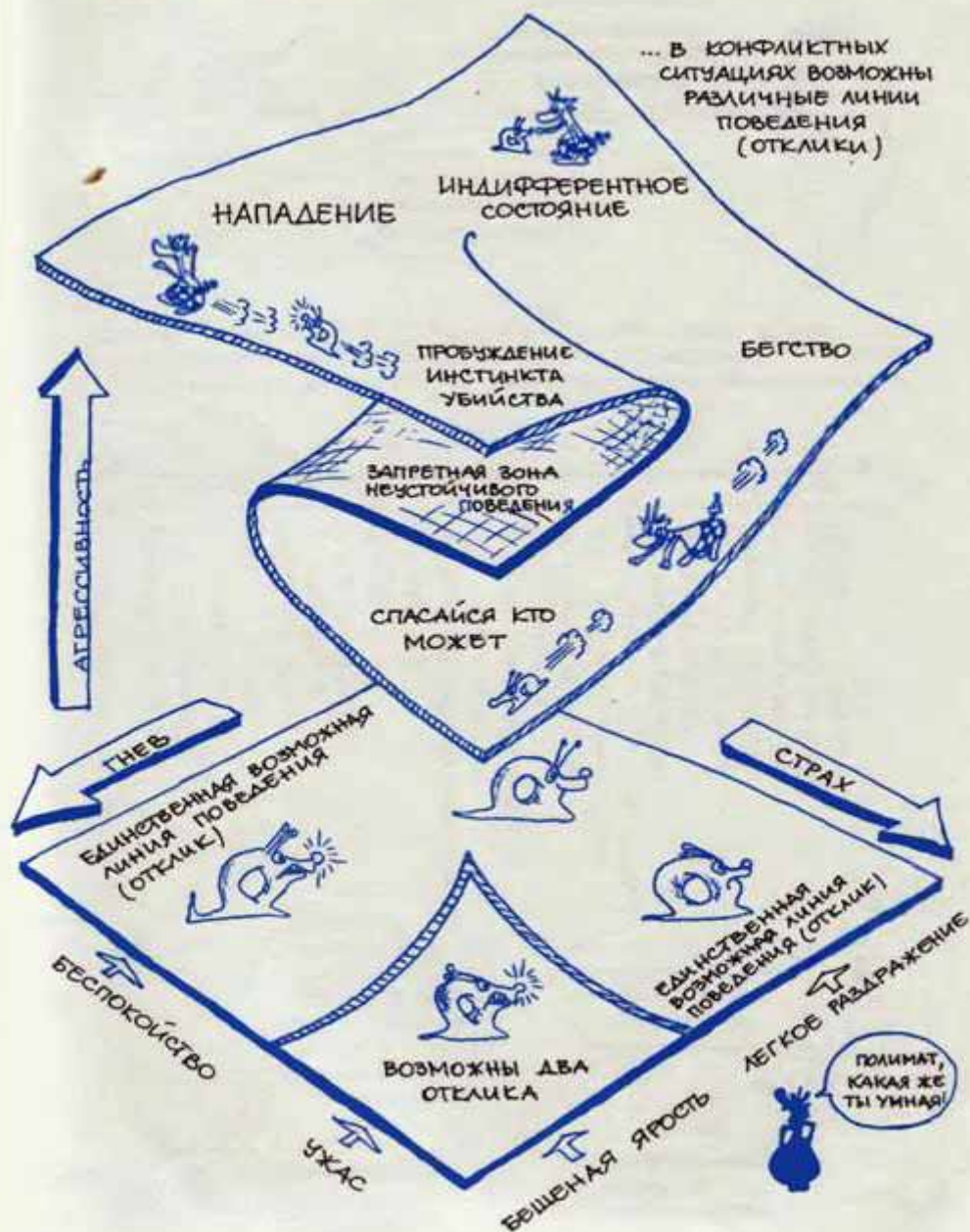
НО ВСЕ ЭТИ ПРИЗНАКИ — ЭТО УЖЕ КАКОЙ-ТО ПРОГНОЗ!.. ОДНО ИЗ ДВУХ: КЛИПС ЛИБО НАПАДАЕТ, ЛИБО СПАСАЕТСЯ БЕТСТВОМ.... И, СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ОН НЕ ПАССИВЕН, Т.Е. ОН НЕ ОСТАЕТСЯ ИНДИФФЕРЕНТНЫМ.



ПРОСТИ МЕНЯ,
ГАСТОН, Я
ВИНОВАТА.



РОЗА СДЕЛАЛА **ОТКРЫТИЕ**, КОТОРОЕ ЗАСТАВИЛО БЫ АРХИМЕДА
ВЫПРЫГНУТЬ ИЗ ВАННЫ :



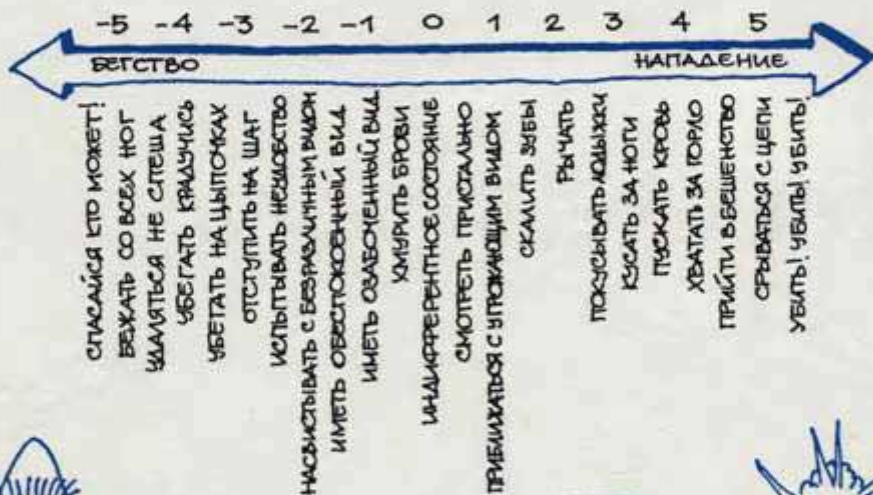


РАДИ ВСЕХ КЛИПОВ,
ОБЪЯСНИ МНЕ ВСЕ ЭТО
ПОПОДРОБНЕЕ ..

ПРОШУ ПРОЩЕНИЯ,
НО ЗА МОИМИ РАС-
СЖДЕНИЯМИ ИНОГДА
ТРУДНО УГНАТЬСЯ.



ИТАК, ПРЕЖДЕ ВСЕГО ПРЕДСТАВЬ СЕБЕ, ЧТО АГРЕССИВНОСТЬ МОЖНО
ИЗМЕРИТЬ С ПОМОЩЬЮ СВОЕОБРАЗНОЙ ШКАЛЫ, КОТОРАЯ ПОЗВОЛЯЕТ
КОЛИЧЕСТВЕННО ХАРАКТЕРИЗОВАТЬ АГРЕССИВНОЕ ПОВЕДЕНИЕ.



НЕЖЕЛИ ТАК ПРОСТО
МОЖНО ИЗМЕРИТЬ
АГРЕССИВНОСТЬ?

СЛЕДОВАТЕЛЬНО,
ШКАЛА ДОЛЖНА
БЫТЬ ДВУМЕРНОЙ?

НУ НЕ СОВСЕМ
ТАК, ПОСКОЛЬКУ
МОЖНО БЫТЬ ОДНО-
ВРЕМЕННО И НАПУ-
ГАННЫМ И РАЗГНЕ-
ВАННЫМ.

СОВЕРШЕННО
ВЕРНО!



ПРЕДСТАВИМ

СЕБЕ ПЛОСКОСТЬ, КАЖДОЙ ТОЧКЕ КОТОРОЙ
ОТВЕЧАЕТ СРЕДНЕЕ КОЛИЧЕСТВО⁹ (ЗНАЧЕНИЕ) ГНЕВА И СТРАХА...



ДЛЯ БОЛЬШЕЙ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛИМ
ПЕРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ — ГНЕВ И СТРАХ —
СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ:

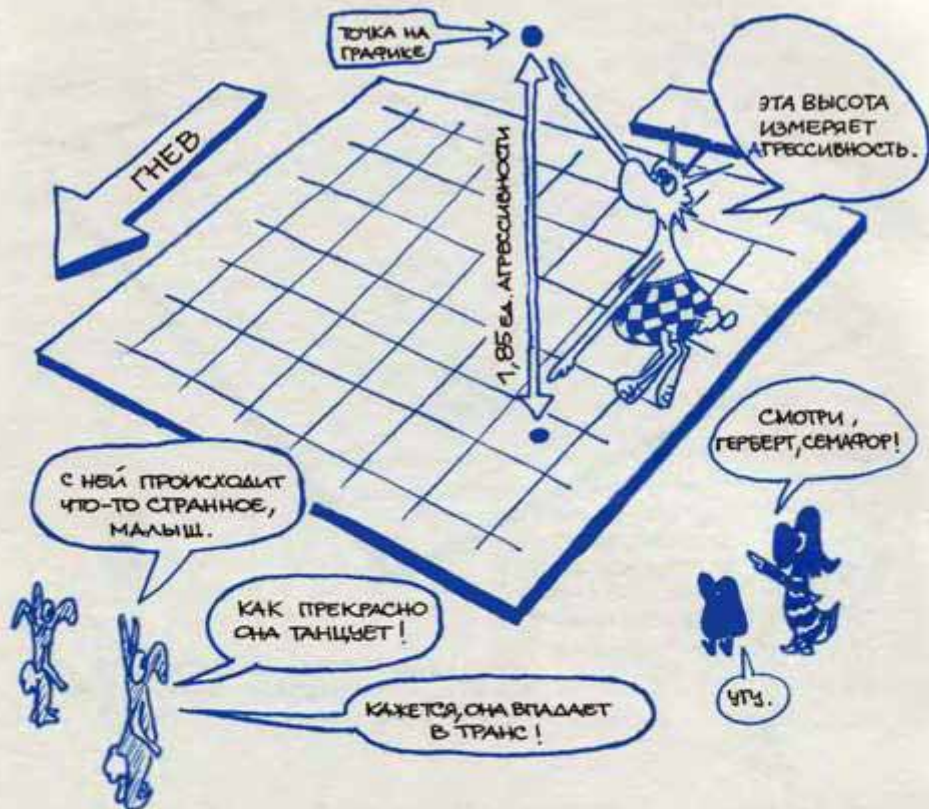
$$\text{ГНЕВ} = \left(\frac{\text{яркость свечения носа}}{6,37 \text{ свечи}} \right) - 3$$

$$\text{СТРАХ} = 2 \times \text{угол отклонения усиков-антенн от вертикали (в радианах)}$$

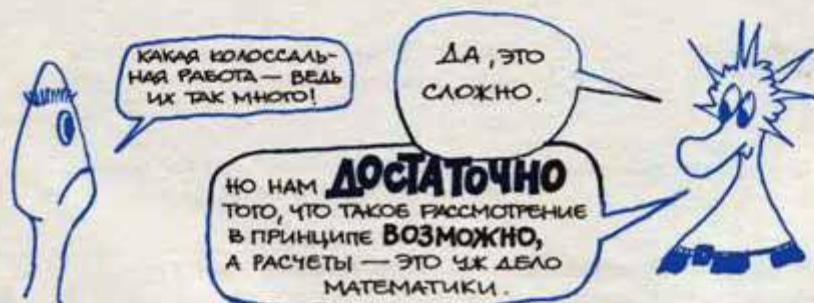
ОЧЕВИДНО, ВОЗМОЖНЫ И ДРУГИЕ СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ
ОТКЛИКА.

ПОДОБНЫЕ ПРОИЗВОЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ
ИСПОЛЗУЮТСЯ ДОВОЛЬНО ЧАСТО.

ТЕПЕРЬ К ПАРЕ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ ГНЕВ—СТРАХ **ДОБАВИМ**
ТРЕТЬЮ ПЕРЕМЕННУЮ — АГРЕССИВНОСТЬ.



РАССМОТРИМ КАЖДУЮ ПАРУ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ ГНЕВ—СТРАХ...

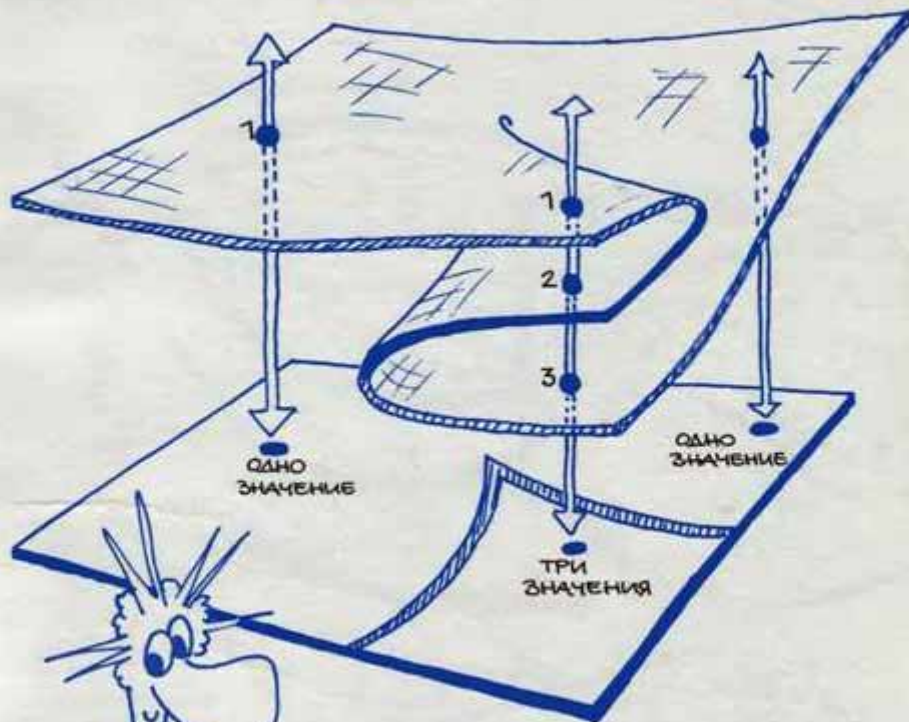


В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЛУЧАЕМ **ПОВЕРХНОСТЬ**, КОТОРАЯ ХАРАКТЕРИЗУЕТ ЗАВИСИМОСТЬ АГРЕССИВНОСТИ ОТ «КОЛИЧЕСТВА» ГНЕВА И СТРАХА.

ПОДОБНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБЫЧНО **ОДНОЗНАЧНЫ**, Т.Е. ЛЮБОМУ СОЧЕТАНИЮ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ ГНЕВ — СТРАХ СООТВЕТСТВУЕТ ОДНО ЗНАЧЕНИЕ АГРЕССИВНОСТИ.

ПРЕДПОЛОЖИМ...

... ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НЕСКОЛЬКО ЗНАЧЕНИЙ АГРЕССИВНОСТИ.



В ЭТОМ СЛУЧАЕ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГНЕВА И СТРАХА ВОЗМОЖНЫ **РАЗЛИЧНЫЕ** ОТКЛИКИ...

... ТАКИЕ, КАК, НАПРИМЕР, НАПАДЕНИЕ ИЛИ БЕГСТВО.



ХОРОШО, НО ПОЧЕМУ ПОВЕРХНОСТЬ
АГРЕССИВНОСТИ ИМЕЕТ ТАКУЮ
СТРАННУЮ ФОРМУ?

ДЕЛО В ТОМ, ЧТО ЭТО
ПРОСТЕЙШАЯ МОДЕЛЬ,
ОБЪЯСНЯЮЩАЯ ПОВЕДЕНИЕ
(ИЛИ ОТКЛИК) РАЗЛИЧНЫХ
ВИДОВ ЖИВОТНЫХ.

В ТОМ
ЧИСЛЕ И ...

КЛИПСОВ.



НАПАДЕНИЕ

БЕГСТВО

НАПАДЕНИЕ

ВОЗРАСТАЮЩЕЕ РАЗДРАЖЕНИЕ

ВНЕЗАПНАЯ
СМЕНА
НАСТРОЕНИЯ

ГНЕВ

БЕГСТВО

СТРАХ



ДАННАЯ МОДЕЛЬ
ОБЪЯСНЯЕТ,
ПОЧЕМУ ВНЕЗАПНО
ИЗМЕНЯЕТСЯ ПОВЕДЕНИЕ

ЖИВОТНОГО : СНАЧАЛА ОНО УБЕГАЕТ, А ЗАТЕМ
ВОЗВРАЩАЕТСЯ И НАПАДАЕТ. ВСЕ ЗАВИСИТ
ОТ ТОГО, КАК И В КАКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
ВОЗРАСТАЮТ (ИЛИ УМЕНЬШАЮТСЯ) СТРАХ
И ГНЕВ ЖИВОТНОГО. ЖИВОТНОЕ МОЖЕТ
СНАЧАЛА НАПАСТЬ, А ПОТОМ НЕОЖИДАННО
ОБРАТИТЬСЯ В БЕГСТВО.

ЗАМЕТИМ, ЧТО ОТКАЖИК МОЖЕТ БЫТЬ **ТОЛЬКО ОДИН,**
ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ СЛУЧАЯ, КОГДА ЖИВОТНОЕ **ОДНОВРЕМЕННО**
И РАЗГНЕВАНО, И ИСПЫТАНО.



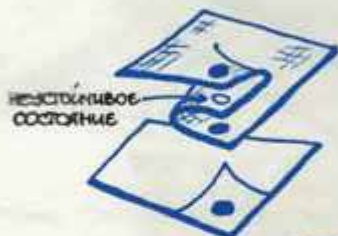
ГНЕВ БЕЗ СТРАХА:
НАПАДЕНИЕ!



НИ ГНЕВА, НИ СТРАХА:
ИНДИФФЕРЕНТНОЕ
СОСТОЯНИЕ



СТРАХ БЕЗ ГНЕВА:
БЕГСТВО!



НЕУСТОЙЧИВОЕ
СОСТОЯНИЕ

КОГДА ЖИВОТНОЕ **БОИТСЯ** И
РАЗДРАЖЕНО, ОНО МОЖЕТ НАПАСТЬ
ИЛИ УБЕЖАТЬ; ИНДИФФЕРЕНТНОЕ
СОСТОЯНИЕ — НЕУСТОЙЧИВО (КАК И В
СЛУЧАЕ С ПИЛОЙ), ПОЭТОМУ ОНО
ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ИМЕЕТ МЕСТА.



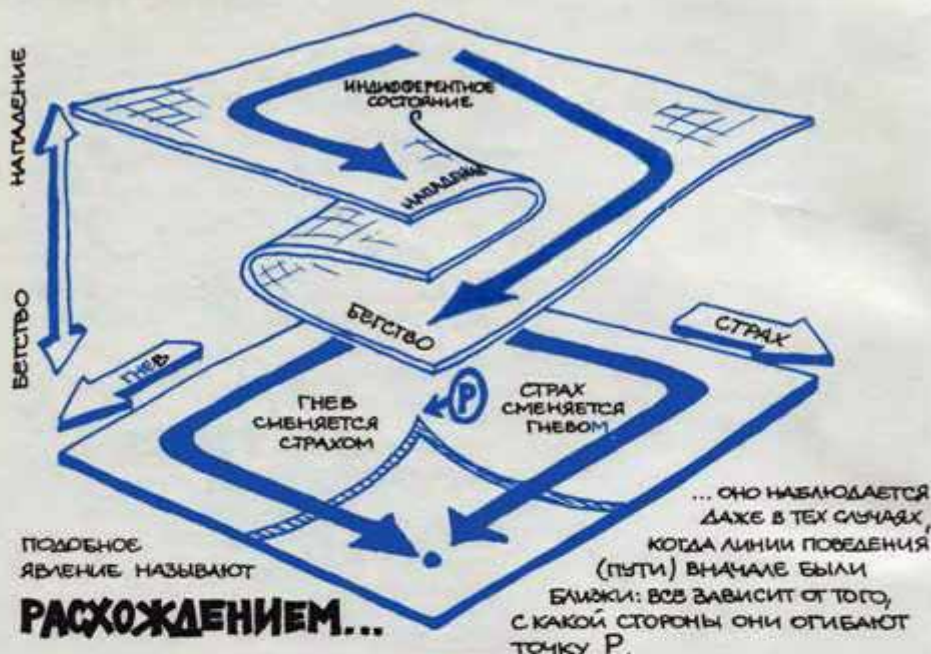
НЕ ПРОЩЕ ЛИ СКАЗАТЬ,
ЧТО ПОВЕДЕНИЕ
ЖИВОТНОГО
НЕПРЕДСКАЗУЕМО?

НЕТ, НЕ ПРОЩЕ,
ОСОБЕННО ЕСЛИ
УЧЕСТЬ ПРАВИЛО
ЗАПАЗДЫВАНИЯ
(ИЛИ ПРОМЕДЛЕНИЯ).



СОГЛАСНО КОТОРОМУ «ПРЕОДОЛЕНИЕ
ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА ВОЗМОЖНО
ТОЛЬКО ТОГДА, КОГДА СИСТЕМА ПОЛУЧАЕТ
«ТОЛЧОК» ИЗВНЕ».

В самом деле, если налицо и страх и гнев, то поведение животного определяется порядком, в каком будут проявляться эти чувства.



РОБА, НЕЖЕЛИ
ЭТА ТЕОРИЯ
И В САМОМ ДЕЛЕ
ТАК ХОРОША?

ДАВАЙ ПРОВЕРИМ
ЕЕ СПРАВЕДЛИВОСТЬ
НА ПРИМЕРЕ КЛИПСА



НУ И
НУ!



ВНАЧАЛЕ КЛИПС, СПОТКНУВШИСЬ О МОЙ НОС,
РАЗДРАЖАЕТСЯ ... ЗАТЕМ ОН ПУГАЕТСЯ МОЕГО
ПРИСТАЛЬНОГО ВЗГЛЯДА ... ОЙ ... ОН СЕЙЧАС
БРОСИТСЯ НА МЕНЯ!

МНЕ СЛЕДОВАЛО
НАПУГАТЬ ЕГО
СИЛЬНЕЕ ...



А МОЖЕТ БЫТЬ, ОН ИСПЫТЫВАЕТ
СТРАХ, ПОТОМУ ЧТО ЛЕТИТ КУБАРЕМ
А УЖ ПОТОМ РАЗДРАЖАЕТСЯ ОТ
МОЕГО ПРИСТАЛЬНОГО ВЗГЛЯДА?

УБИЙСТВЕННАЯ
ЛОГИКА, РОЗА.

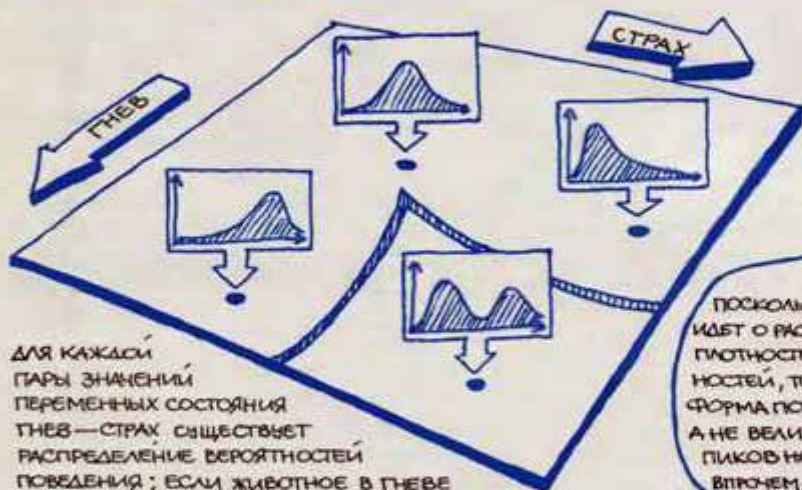




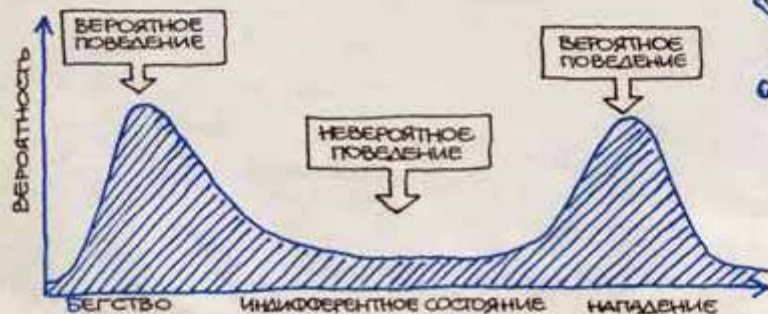
НУ ЧТО Ж... МОЖЕТ БЫТЬ, У НАС НЕДОСТАТОЧНО ДОКАЗАТЕЛЬСТВ... ОДНАКО ОПЫТЫ С ГЛУБОКОВОДНОЙ ТИХООКЕАНСКОЙ МОКРИЦЕЙ ЧЕБЕДИТЕЛЬНО ПОКАЗАЛИ, ЧТО...

...ХОРОШО, ХОРОШО, РОЗА, Я ТЕБЕ ВЕРЮ. А ЧТО СООТВЕТСТВУЕТ ЭНЕРГИИ В ТЕОРИИ АГРЕССИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ?

ЭНЕРГИИ? НУ ТАК ЖЕ, КАК И В СЛУЧАЕ С ПИЛОЙ, МЫ ИСПОЛЬЗУЕМ ПОНЯТИЕ ВЕРОЯТНОСТИ.



ДЛЯ КАЖДОЙ ПАРЫ ЗНАЧЕНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ ГНЕВ—СТРАХ СУЩЕСТВУЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПОВЕДЕНИЯ; ЕСЛИ ЖИВОТНОЕ В ГНЕВЕ И ИСПУГАНО, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЙ ВИД:



НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ИМЕЕТ **МАКСИМАЛЬНУЮ ВЕРОЯТНОСТЬ** (АНАЛОГИЧНО **МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ** В СЛУЧАЕ СПИДОИ), И НАОБОРОТ, КОГДА ИМЕЕШЬ ДЕЛО С ПЛОТНОСТЯМИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ, А НЕ С ЭНЕРГИЕЙ, ВСЕ СТОИТ ИНАЧЕ.

ЗНАЧЕНИЕ АГРЕССИВНОСТИ, ИМЕЮЩЕЕ МАКСИМАЛЬНУЮ ВЕРОЯТНОСТЬ, НАЗЫВАЮТ

МОДОЙ.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СОДЕРЖАЩЕЕ ТОЛЬКО **ОДНУ** моду, **ОДНОМОДАЛЬНО.**

ЗНАЧЕНИЕ АГРЕССИВНОСТИ, ИМЕЮЩЕЕ МИНИМАЛЬНУЮ ВЕРОЯТНОСТЬ, НАЗЫВАЮТ

АНТИ-МОДОЙ.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СОДЕРЖАЩЕЕ **ДВЕ** моды, **БИМОДАЛЬНО.**



СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УЧАСТОК ОТНЮДЬ НЕ ЯВЛЯЕТСЯ НЕУСТОЙЧИВЫМ, ОН ПРОСТО **НЕВЕРОЯТЕН.**

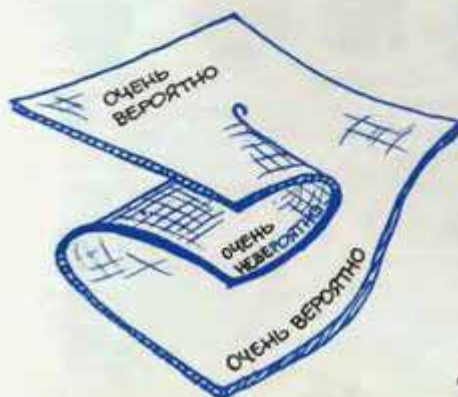
И ПОНЯТИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОСТЕПЕННО ТЕРЯЕТ СМЫСЛ.

ОЧЕНЬ НЕВЕРОЯТЕН.



БРАВО, МАЛЫШ! ПОВЕРХНОСТЬ — ЭТО НЕ ЧТО ИНОЕ, КАК НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНОЕ СОСТОЯНИЕ, ЭТО КАК БЫ СКЕЛЕТ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

Я БЫ ЭТОГО НЕ СКАЗАЛ!



РОЗА НЕСКОЛЬКО **ПЕДАНТИЧНА**.
 НА САМОМ ДЕЛЕ ОНА ЛИШЬ ХОЧЕТ
 СКАЗАТЬ, ЧТО СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ НЕ
 ВСЕГДА ИЗОБРАЖАЕТСЯ ТОЛЬКО
НА ПОВЕРХНОСТИ, ИНОГДА ОНО МОЖЕТ
 НАХОДИТЬСЯ **ВБЛИЗИ**
 ПОВЕРХНОСТИ. ВОЗОБРАЗИМ СЕБЕ
 НЕЧТО ВРОДЕ ОБЛАКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ
 ПРИ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ
 ВЕРОЯТНОСТИ
 В ОКРЕСТНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ.



ЭТО
Я-ТО
ПЕДАНТКА?!

ПОМНИШЬ,
НА 30-й СТРАНИЦЕ ТЫ
ОБЕЩАЛА ОБЪЯСНИТЬ, ПОЧЕ-
МУ ПОВЕРХНОСТЬ АГРЕССИВ-
НОСТИ ИМЕЕТ ТАКУЮ
СТРАННУЮ ФОРМУ.

ПОМНЮ... НУ... ТАК ВОТ,
ЭТА ПОВЕРХНОСТЬ И ЕСТЬ
ЗНАМЕНИТАЯ...



БОРКА!

ЧТО ТАКОЕ
СБОРКА,
РОЗА?

СБОРКА ЭТО
ВРОДЕ ВОТ ТАКОЙ
СКЛАДКИ.

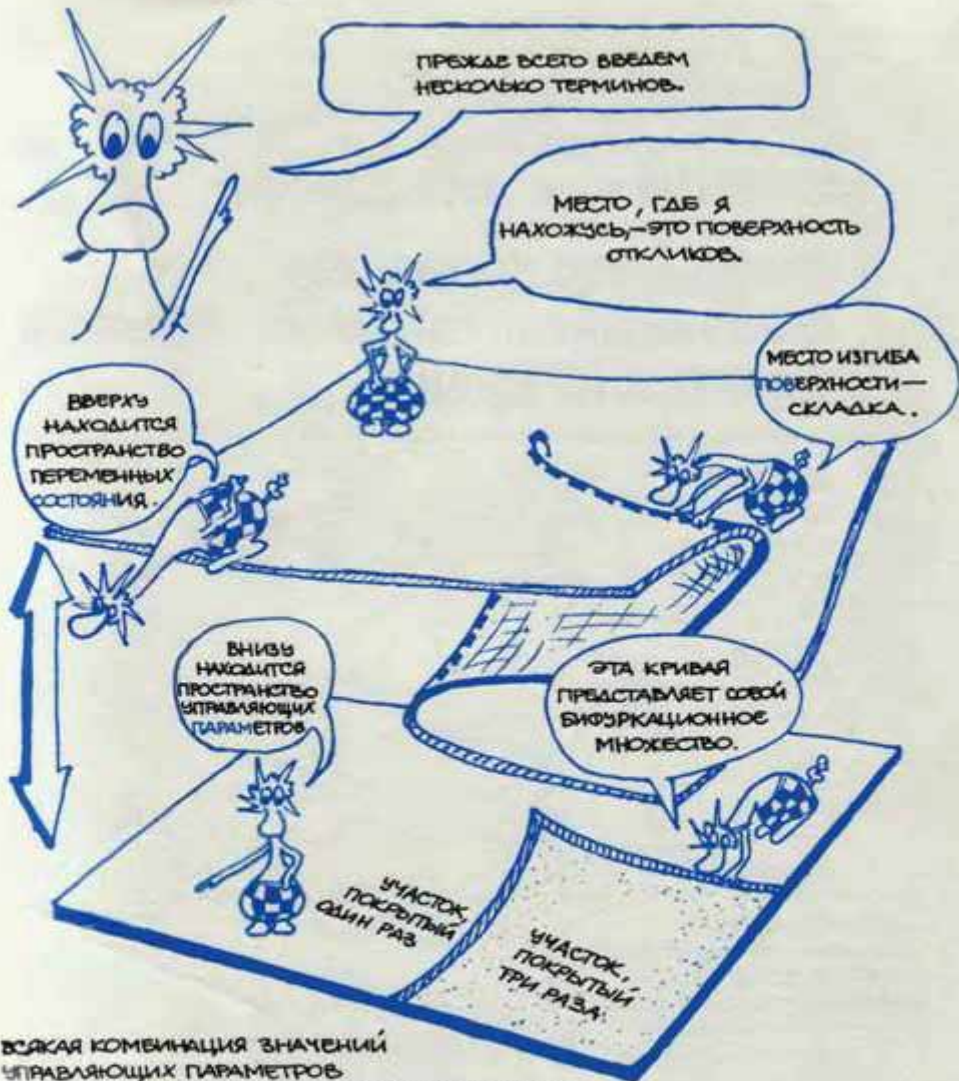
А ЧЕМ ОНА
ЗНАМЕНИТА?

ПОДОЖДИ ДО
СЛЕДУЮЩЕЙ
СТРАНИЦЫ И ВСЕ
УЗНАЕШЬ.



О-ох!





ВСЯКАЯ КОМБИНАЦИЯ ЗНАЧЕНИЙ
 УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ
 ОПРЕДЕЛЯЕТ ТОЧКУ В ПРОСТРАНСТВЕ УПРАВЛЕНИЯ.
 НАД ДАННОЙ ТОЧКОЙ НА ВЫСОТЕ, РАВНОЙ ЗНАЧЕНИЮ ПЕРЕМЕННОЙ
 СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ЗАДАННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ, НАХОДИТСЯ ТОЧКА
 ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА.
 БИФУРКАЦИОННОЕ МНОЖЕСТВО РАСПОЛАГАЕТСЯ ПОД СКЛАДКОЙ И
 ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ МНОЖЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ УПРАВЛЕНИЯ, ПРИ
 КОТОРЫХ ЧИСЛО ВОЗМОЖНЫХ ОТКЛИКОВ МЕНЯЕТСЯ.
 ПРИ ЭТИХ ЗНАЧЕНИЯХ ВОЗМОЖНЫ ВНЕЗАПНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОТКЛИКОВ
 (СОГЛАСНО ПРАВИЛУ ЗАПАЗДЫВАНИЯ).

ТЕРМИН **КАТАСТРОФА** ИМЕЕТ ДВА ЗНАЧЕНИЯ :
ВО-ПЕРВЫХ, ОН ОЗНАЧАЕТ ВНЕЗАПНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ
СИСТЕМЫ, А ВО-ВТОРЫХ, ХАРАКТЕРИЗУЕТ **ОБЩИЙ ТИП**
СИСТЕМ, В КОТОРЫХ ТАКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИСХОДЯТ.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ КАТАСТРОФА ИМЕЕТ
ТАКУЮ СТРУКТУРУ; ОНА ИМЕЕТ И СВОИ ЭЛЕМЕНТЫ :

ПРОСТРАНСТВО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВО ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ
ПОВЕРХНОСТЬ ОТКЛИКА.

ВСЕ ПЕРЕЧИСЛЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОГУТ ИМЕТЬ НЕСКОЛЬКО ИЗМЕРЕНИЙ.

ПРОСТРАНСТВО
ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ



ВЫСОТА ТОЧЕК ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА НАД КАЖДОЙ ТОЧКОЙ ПРОСТРАНСТВА ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ ДАЕТ ВОЗМОЖНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ

МОЕМО
ВОСХИЩЕНИЮ
НЕТ ПРЕДЕЛА ...

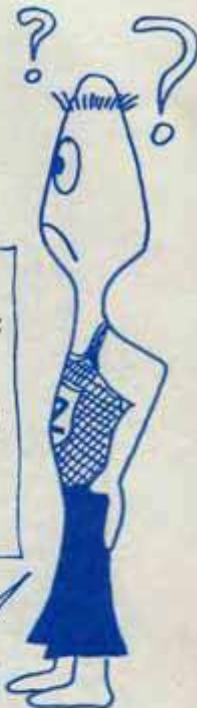
РАНО ВОСХИЩАТЬСЯ,
ГАСТОН. ПОКА ЭТО
СПЛОШНАЯ ТАРАБАРИЩИНА,
НО ПОДОЖДИ
НЕМНОГО...





Я СЕЙЧАС
ПОЗНАКОМЛЮ ТЕБЯ С
УДИВИТЕЛЬНОЙ
ТЕОРЕМОЙ.

ДЛЯ **ЧЕТЫРЕХ**
(ИЛИ МЕНЕЕ) УПРАВЛЯЮЩИХ
ПАРАМЕТРОВ
И **ЛЮБОВЬ** ЧИСЛА
ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ
СУЩЕСТВУЮТ ТОЛЬКО
СЕМЬ ТИПОВ
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
КАТАСТРОФ.



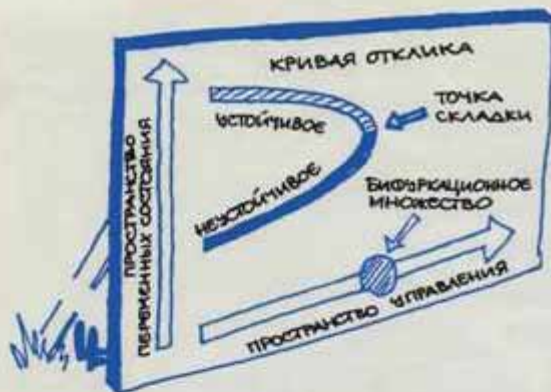
НЕ СОВСЕМ ЯСНО,
ЧТО ТАКОЕ "ТИП"?

ДВА ТИПА ПОВЕРХНОСТЕЙ СЧИТАЮТСЯ
РАЗЛИЧНЫМИ, ЕСЛИ ИХ НЕВОЗМОЖНО ПОЛУЧИТЬ
ОДНИМ И ТЕМ ЖЕ СПОСОБОМ ДЕФОРМАЦИИ.
ТОПОЛОГИЧЕСКИ РАЗЛИЧНЫ ТОЛЬКО
СЕМЬ КАТАСТРОФ.

ДЕФОРМАЦИЯ...
КАКАЯ ЕЩЕ
ДЕФОРМАЦИЯ?



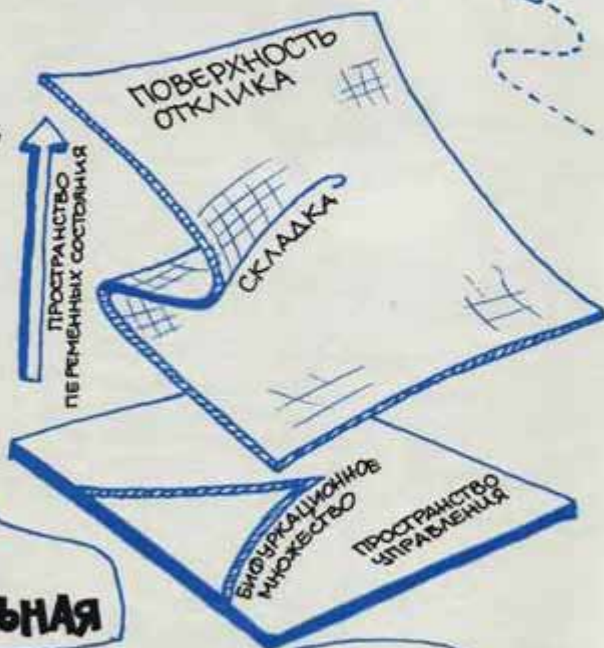
В **ТОПОЛОГИИ** ФОРМЫ, С ВИДУ ОЧЕНЬ РАЗЛИЧНЫЕ,
В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕФОРМАЦИИ ОКАЗЫВАЮТСЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫМИ.
НАПРИМЕР, **КЛИПС** И **ЧАШКА...**



У КАТАСТРОФЫ, НАЗЫВАЕМОЙ **СКАДКОЙ**, ПРОСТРАНСТВО УПРАВЛЕНИЯ ОДНОМЕРНО, А БИФУКАЦИОННОЕ МНОЖЕСТВО ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ТОЧКУ.



А ВОТ **СБОРКА**,
НО ПОД ДРУГИМ
УГЛОМ ЗРЕНИЯ.
ПРОСТРАНСТВО
УПРАВЛЕНИЯ ДВУМЕРНО,
А ПРОСТРАНСТВО
ПЕРЕМЕННЫХ
СОСТОЯНИЯ
ОДНОМЕРНО.
БИФУКАЦИОННОЕ
МНОЖЕСТВО
ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ
СБОРКУ, А ТОЧКА
КАТАСТРОФЫ —
ЭТО ТОЧКА СБОРКИ
(ОТКУДА И НАЗВАНИЕ
КАТАСТРОФЫ).



ИТАК, СБОРКА —
ЭТО КАТАСТРОФА
**ЕСТЕСТВЕННАЯ
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ**



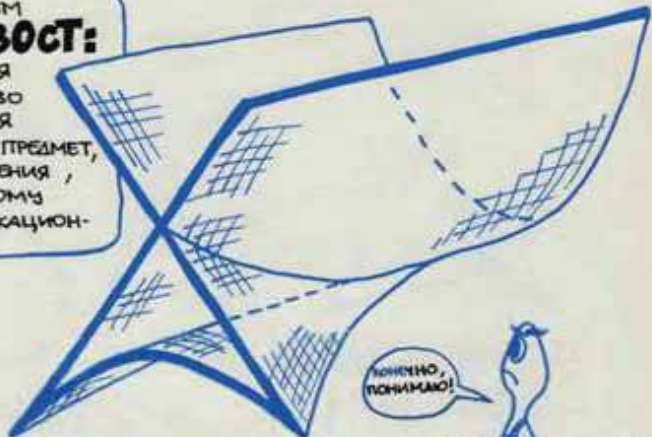
ТАКОМ ЗАДАМ ОЧЕНЬ
ИНТЕРЕСНЫЙ ВОПРОС.
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО, ВЕДЬ ТЕОРИЯ
ДОЛЖНА ПОДТВЕРЖДАТЬСЯ
ЭКСПЕРИМЕНТОМ. ОДНАКО,
ЧТОБЫ ПРОВОДИТЬ ЭКСПЕРИМЕНТЫ,
НЕОБХОДИМО ОПИРАТЬСЯ НА КАКУЮ-ТО
ТЕОРИЮ. ТАКИМ ОБРАЗОМ, ТЕОРИЯ
КАТАСТРОФЫ ТИПА «СБОРКА» — ЭТО ОДНА
ИЗ **ВОЗМОЖНЫХ** ТЕОРИЙ.

НО РАЗВЕ С
ПОМОЩЬЮ СБОРКИ
МОЖНО ЧТО-ЛИБО
ОБЪЯСНИТЬ?



А ТЕПЕРЬ РАССМОТРИМ ЛАСТОЧКИН ХВОСТ:

ПРОСТРАНСТВО УПРАВЛЕНИЯ
ТРЕХМЕРНО, ПРОСТРАНСТВО
ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ
ОДНОМЕРНО. ИЗОБРАЗИТЬ ПРЕДМЕТ,
ИМЕЮЩИЙ ЧЕТЫРЕ ИЗМЕРЕНИЯ,
СЛИШКОМ СЛОЖНО... ПОЭТОМУ
ИЗОБРАЗИМ ТОЛЬКО БИФУРКАЦИОН-
НОЕ МНОЖЕСТВО.

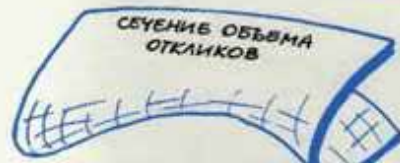


КОнечно,
ПОнимаю!

ТЫ ПОНИМАЕШЬ, ТАСТОН,
ПОЧЕМУ ЭТО МНОЖЕСТВО
НАЗЫВАЕТСЯ «ЛАСТОЧКИН ХВОСТ»?

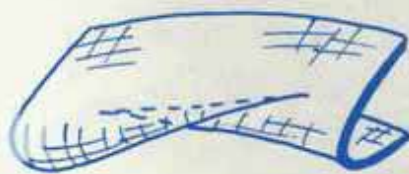


А ГДЕ ЖЕ
ПОВЕРХНОСТЬ ОТКЛИКА?

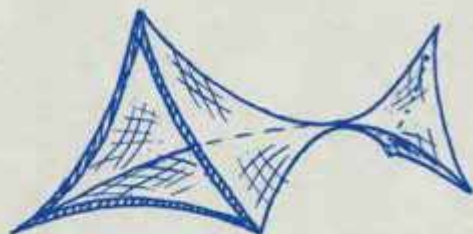


ЭТО ЕЩЕ НЕ ПОВЕРХНОСТЬ,
А **ОБЪЕМ** Я ИЗОБРАЗИЛА
ДВА **СЕЧЕНИЯ** ЭТОГО
ОБЪЕМА, СООТВЕТСТВУЮЩЕ
ДВУМ СЕЧЕНИЯМ
БИФУРКАЦИОННОГО
МНОЖЕСТВА.

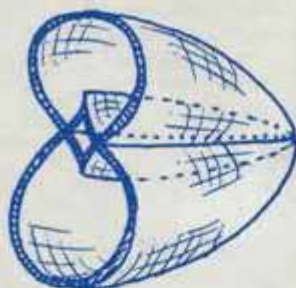
ДЕВЧОНКА,
А ГОВОРИТ КАК
ПО ПИСАНОМУ!



ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ ОМБИЛИКИ ИМЕЮТ ТРЕХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО УПРАВЛЕНИЯ И ДВУМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ. ЗДЕСЬ ИЗОБРАЖЕНЫ БИФУРКАЦИОННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ.



**ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ
ОМБИЛИКА**



ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ ОМБИЛИКА

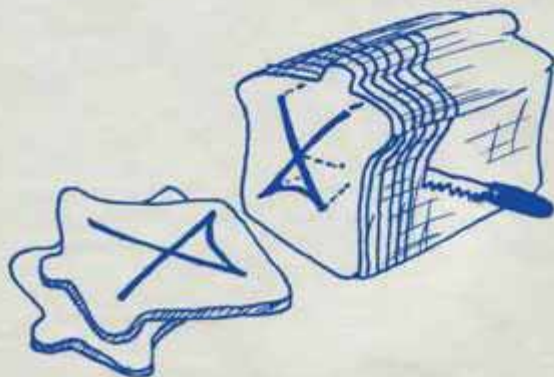
ВСЕ ЭТИ МУДРЫЕ СЛОВА ЗАИМСТВОВАНЫ ИЗ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ.
МОЖЕТ, ПОПЫТАЕТЕСЬ ПРИДумать
ЧТО-НИБУДЬ ПОЛУЧШЕ?

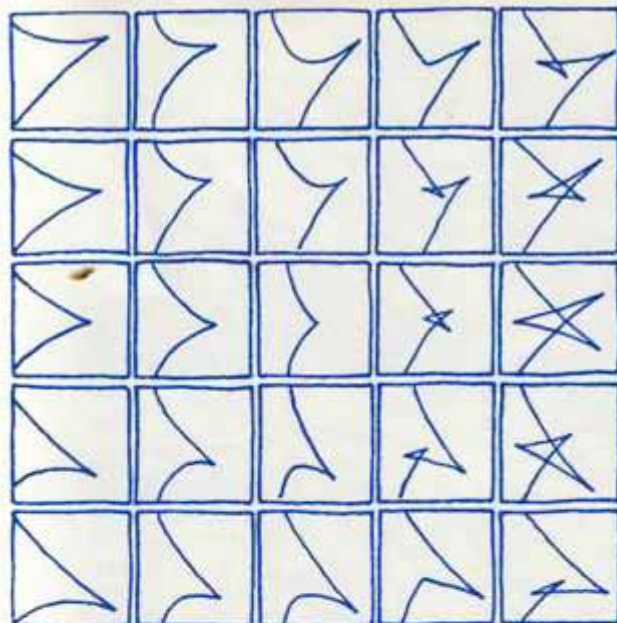


МОЖЕТ БЫТЬ,
УЗЕЛ,
БАБОЧКА,
БИНОКЛЬ?



БАБОЧКА ИМЕЕТ
ТРЕХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО
УПРАВЛЕНИЯ И ОДНОМЕРНОЕ
ПРОСТРАНСТВО ПЕРЕМЕННЫХ
СОСТОЯНИЯ.
У ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ
ОМБИЛИКИ — ЧЕТЫРЕХМЕРНОЕ
ПРОСТРАНСТВО УПРАВЛЕНИЯ
И ДВУМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО
ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ.
ЕЕ БИФУРКАЦИОННОЕ
МНОЖЕСТВО ОЧЕНЬ ТРУДНО
ИЗОБРАЗИТЬ ГРАФИЧЕСКИ.
МЫ ИЗОБРАЗИМ ЕГО
СЕЧЕНИЕ:



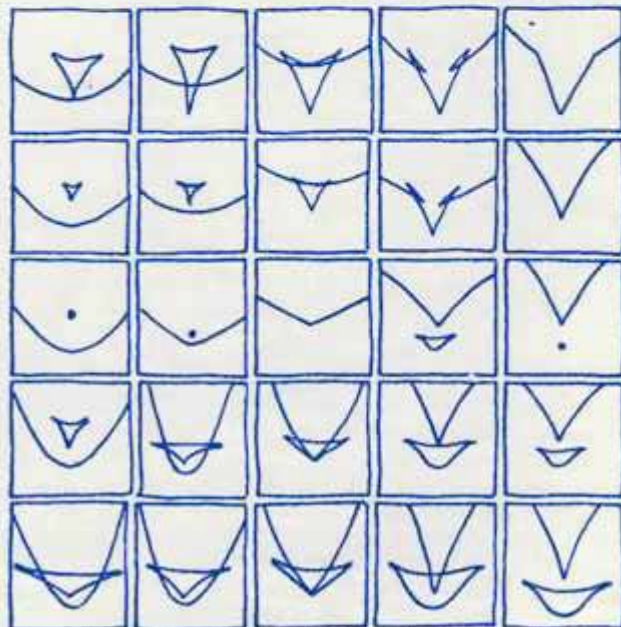


ЭТО СЕЧЕНИЯ
БИФУРКАЦИОННЫХ
МНОЖЕСТВ
БАБОЧКИ.



НЕМНОГО ВООБРАЖЕНИЯ,
И ВЫ УВИДИТЕ
БАБОЧКУ (СЛЕВА).

НА СЕЧЕНИЯХ
ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ
ОМБИЛИКИ
МОЖНО ВИДЕТЬ
ЛАСТОЧКИНЫ ХВОСТЫ,
ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ
И ПАРАБОЛИЧЕСКИЕ
ОМБИЛИКИ.
ЭТО МНОЖЕСТВО
ОЧЕНЬ СЛОЖНО,
ПОЭТОМУ К НЕМУ
ПРИБЕГАЮТ
КРАЙНЕ
РЕДКО.



А ТЕПЕРЬ... НАМ ОСТАЕТСЯ ТОЛЬКО УЛЫБНУТЬСЯ.

ВОТ ЧТО МНЕ ЕЩЕ НЕПОНЯТНО, РОЗА,
ГДЕ ЖЕ СРЕДИ ЭТИХ СЕМИ
КАТАСТРОФ **Z**-ОБРАЗНАЯ КРИВАЯ,
КОТОРУЮ МЫ ВИДЕЛИ
В СЛУЧАЕ С ПИЛОЙ?

НИГДЕ.

НО ТЫ ЖЕ
САМА ГОВОРИЛА...

ПОЙМИ, ДОРОГОЙ ГАСТОН,
ЧТО ЭЛЕМЕНТАРНАЯ КАТАСТРОФА
ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО
ЛОКАЛЬНО
В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ
КАТАСТРОФЫ НАПОМИНАЮТ
ДЕТСКИЕ КУБИКИ.

Z-ОБРАЗНАЯ
КРИВАЯ СОСТОИТ
ИЗ ДВУХ СКАДКА.

оп-ля!

С ПОМОЩЬЮ
ЭТИХ КУБИКОВ
МОЖНО ИЗООБРАЗИТЬ БОЛЕЕ
СЛОЖНЫЕ КАТАСТРОФЫ. ЭТО
КАК БУКВЫ, ИЗ КОТОРЫХ СОСТАВЛЯЮТ
СЛОВА, ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ТАКИЕ ШЕДЕВРЫ
МИРОВОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, КАК "ПУТЕШЕСТВИЕ
В НЕКОТОРЫЕ ОТДАЛЕННЫЕ СТРАНЫ
СВЕТА ЛЕМЮЗЛА ГУЛЛИВЕРА" ИЛИ
"ПУТЕВОДИТЕЛЬ ДЛЯ ПУТЕШЕСТВУЮЩИХ
АВТОСТОПОМ ПО ГАЛАКТИКЕ".

НЕОБХОДИМА АЗБУКА
КАТАСТРОФ,
А БЕЗ БУКВ
ОНА НЕВОЗМОЖНА!

СПРАВЕДЛИВЫЕ СЛОВА, МАМА.
СЕЙЧАС Я ПРИГОТОВЛЮ КОФЕ, ТАК
КАК 40 СТРАНИЦ, ПОСВЯЩЕННЫХ
ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО КАТАСТРОФАМ,
ВЫЗВАЛИ У МЕНЯ СТРАШНУЮ **ЖАЖДУ**.

ПРЕВОСХОДНАЯ
МЫСЛЬ!

РОЗА, А ЭТИ КАТАСТРОФЫ
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО
МОЖНО ПРИМЕНИТЬ К
ЯВЛЕНИЯМ ПРИРОДЫ?

ОНИ УНИВЕРСАЛЬНЫ,
ГАСТОН. ОНИ ОБЪЯСНЯЮТ,
ПОЧЕМУ ВОДА ПРЕВРА-
ЩАЕТСЯ В ПАР...



РОЗА НЕСКОЛЬКО ПРЕУВЕЛИЧИВАЕТ. ПО СУЩЕСТВУ РЕЧЬ ИДЕТ ВСЕГО ЛИШЬ
О ПЕРЕСКАЗЫВАНИИ НА **НОВОМ ЯЗЫКЕ** ИЗВЕСТНОЙ ТЕОРИИ
(КОТОРАЯ К ТОМУ ЖЕ НЕ ВСЕ ОБЪЯСНЯЕТ!).

ЭТА ТЕОРИЯ БЫЛА ПРЕДЛОЖЕНА В **1873** Г. ЗЕМЛЯНИНОМ

ЯНОМ ДИДЕРИКОМ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОМ

(ДАТА УКАЗАНА ПО КЛАССИЧЕСКОМУ КАЛЕНДАРЮ, КОТОРЫЙ УСТАРЕЛ).

ПРЕДСТАВИМ ПРОЦЕСС
ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОФЕ В ВИДЕ
СБОРКИ.



ПЛОТНОСТЬ
ЖИДКОСТИ —
ЭТО ПЕРЕМЕННАЯ
СОСТОЯНИЯ, ДАВЛЕНИЕ
И ТЕМПЕРАТУРА —
УПРАВЛЯЮЩИЕ
ПАРАМЕТРЫ.

ПОДОЖДИ, РАНЬШЕ
БАБОЧКА ВЫГЛЯДЕЛА
СОВСЕМ ИНАЧЕ!

ОБЪЯСНИ-КА
МНЕ ЭТО
ПОЛУЧИШЕ,
РОЗА.

ЕСТЕСТВЕННО, ПОТОМУ ЧТО ПРАВИЛО
МАКСИМАЛЬНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ
ЗДЕСЬ БОЛЬШЕ НЕ ДЕЙСТВУЕТ.
В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗ-
БУЖДЕНИЯ СИСТЕМА МОЖЕТ ПРЕ-
ОДОЛЕТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР.

ХОРОШО...
М-ДА...

ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗБУЖДЕНИИ СИСТЕМА СТРЕМИТСЯ ПЕРЕЙТИ В СОСТОЯНИЕ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ (АБСОЛЮТНЫЙ МИНИМУМ, А НЕ ТОЛЬКО ЛОКАЛЬНЫЙ). ТАКОЕ ПОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДАЕТСЯ ДОВОЛЬНО ЧАСТО.



ПРАВИЛО МАКСВЕЛЛА.

ЭТО КОДЕЗДЬСЬ НИ ПРИ ЧЕМ. ЭТО ЯВЛЕНИЕ БЫЛО ОБЪЯСНЕНО ЕЩЕ В 1875 Г. ДЖЕЙМСОМ КЛЕРКОМ МАКСВЕЛЛОМ.

СОГЛАСНО ПРАВИЛУ МАКСВЕЛЛА, ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ МОЖЕТ ПРОИСХОДИТЬ ПРИ ДРУГИХ ЗНАЧЕНИЯХ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ.



ИТАК, ЧАСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА ИСЧЕЗАЕТ И БИФУРКАЦИОННОЕ МНОЖЕСТВО ЗАМЕНЯЕТСЯ **МНОЖЕСТВОМ МАКСВЕЛА**. СКАЧКИ — ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ — ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ.

РОЗА, ТЫ
МОГЛА БЫ
ПРИВЕСТИ
ЕЩЕ
ПРИМЕРЫ?

О!

СКОЛЬКО
УГОДНО!

НО С
ФАЗОВЫМИ
ПЕРЕХОДАМИ
НЕСКОЛЬКО
СЛОЖНЕЕ.

АХ,
КАКОЙ
КОФЕ!

ВОЗЬМЕМ, К ПРИМЕРУ,
ОПТИКУ... ЗАГЛЯНИ В СВОЮ
ЧАШКУ. ДЕРЖУ ПАРИ, ТЫ
ВИДИШЬ В НЕЙ СВЕЯЩУЮСЯ
КРИВУЮ ВОТ ТАКОЙ ФОРМЫ.

Я ВИЖУ
ДВЕ КРИВЫЕ!

Я И ЗАБЫЛА,
ЧТО НА
ОМБИЛИКСЕ
ДВОЙНОЕ
СОЛНЦЕ.

АШКА
ОФЕ
БОРКА



ПРОАНАЛИЗИРУЕМ
ЭТО ЯВЛЕНИЕ...

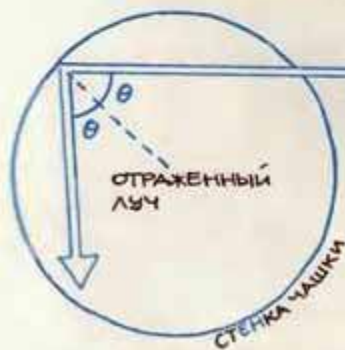
СМОТРИ-КА, ОДНО ИЗ СОЛНЦ
СПРЯТАЛОСЬ. НУ ЧТО ЖЕ, ЭТО
СУЩЕСТВЕННО УПРОЩАЕТ
НАШУ ЗАДАЧУ.

ОБЕРКАЮЩАЯ
КРИВАЯ — ЭТО
КАУСТИКА
(ЧТО ОЗНАЧАЕТ
ЖГУЧИЙ :
ЗДЕСЬ
СКОНЦЕНТРИРОВАННЫ
СВЕТ И ТЕПЛОТА).



ЧТОБЫ ПОНЯТЬ,
КАК ОБРАЗУЕТСЯ
КАУСТИКА,
ПРЕДСТАВИМ
ЛУЧ СВЕТА,
ОТРАЖЕННЫЙ
ОТ СТЕНКИ ЧАШКИ.

ПАДАЮЩИЙ ЛУЧ



УГЛЫ θ РАВНЫ.

ОТРАЖЕННЫЙ ЛУЧ ВНОВЬ ОТРАЗИТСЯ
ОТ СТЕНКИ ЧАШКИ, НО МЫ НЕ
БУДЕМ ПРИНИМАТЬ ЭТО ВО ВНИМАНИЕ,
ТАК КАК ИНТЕНСИВНОСТЬ ВТОРИЧНО
ОТРАЖЕННОГО ЛУЧА МАЛА.

ИЗОБРАЗИМ **ВСЕ МНОЖЕСТВО** ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛУЧЕЙ, ИДУЩИХ ОТ СОЛНЦА!



КАУСТИКА—
ЭТО КАК БЫ
ОГИБАЮЩАЯ
ЛУЧЕЙ.



КАК
КРАСИВО!

ОГИБАЮЩАЯ

ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ
КРИВУЮ, КАСАЮЩУЮСЯ
ВСЕХ КРИВЫХ
СЕМЕЙСТВА.

СВЕТ КОНЦЕНТРИРУЕТСЯ В ТОЧКЕ
ОГИБАЮЩЕЙ (СОВСЕМ КАК ЧЕРНИЛА
В КЛЯКСЕ) И ОБРАЗУЕТ КАУСТИКУ.

ОТМЕТИМ ТОЧКУ СБОРКИ КАУСТИКИ. ПОДОБНОЕ ЯВЛЕНИЕ МОЖНО
РАССМАТРИВАТЬ КАК КАТАСТРОФУ ТИПА СБОРКИ.



А ГДЕ
ПОВЕРХНОСТЬ
ОТКЛИКА?

СПРЯТАЛАСЬ!
НО ЕЕ ВСЕ ЖЕ
МОЖНО УВИДЕТЬ,
ЕСЛИ РАЗАВИНУТЬ
СОСЕДНИЕ ЛУЧЫ,
СМЕСТИВ ИХ
ПО ВЕРТИКАЛИ.



СМЕЩЕННЫЕ ЛУЧИ
ОБРАЗУЮТ ПОВЕРХНОСТЬ

РЕАЛЬНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ —
ПРОЕКЦИЯ ЭТОЙ
ПОВЕРХНОСТИ

КАУСТИКА —
ЭТО БИФУРКАЦИОННОЕ МНОЖЕСТВО.
КАТАСТРОФЫ — ЯВЛЕНИЕ, НОСЯЩЕЕ
ОБЩИЙ ХАРАКТЕР, ТАК КАК ВРЕМЯ ИГРАЕТ РОЛЬ
ПОТЕНЦИАЛА. СОГЛАСНО ПРИНЦИПУ ФЕРМА,
ЛУЧИ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОЧКАМИ РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ
ЗА МИНИМАЛЬНОЕ ВРЕМЯ. ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЛЮБАЯ КАУСТИКА
ЯВЛЯЕТСЯ БИФУРКАЦИОННЫМ МНОЖЕСТВОМ
КАТАСТРОФЫ.

ЗНАЕШЬ?

ДА,
ПРАВДАСТЬ
СБОРКА!

ТРАХ!

ОИ, А
ЭТО ЧТО?

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ
КАТАСТРОФА.

И ВДРУГ...

НАМ СЛЕДОВАЛО БЫ
ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ
НА ЭТО ОБЛАКО

...УДАРИЛ ГРОМ
И ЗАСВЕРКАЛА МОЛНИЯ



КАК ХОРОШО,
КОГДА СУХО!

ДА ... НО
ПОЧЕМУ ЖЕ ТАК
ВНЕЗАПНО ИЗМЕ-
НИЛАСЬ ПОГОДА?



ПОГОДА — ЭТО ТОЖЕ КАТАСТРОФА? НЕ СОВСЕМ, КОНЕЧНО, БЫВАЮТ И ВНЕЗАПНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ, НО МАЛО ВЕРОЯТНО, ЧТОБЫ ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ БЫЛА ЗАДЕСЬ ПРИМЕНИМА. ПОГОДА И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ — ПРЕДМЕТ ИЗУЧЕНИЯ ДРУГОЙ ДИСЦИПЛИНЫ...

54 **ХАОСА.**

ГРОЗА ПРОШЛА ...

СМОТРИ, РОЗА,
ДВЕ РАДУГИ!

ОПЯТЬ
ДВОЙНОЕ
СОЛНЦЕ.



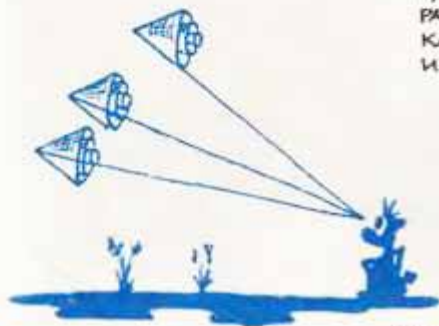
РАДУГА ТАКЖЕ МОЖЕТ СЛУЖИТЬ ПРИМЕРОМ **СКИАДКИ**.
РАЗНОЦВЕТНАЯ ДУГА НА НЕБЕСНОМ СВОДЕ — РЕЗУЛЬТАТ ПРЕЛОМЛЕНИЯ
И ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЯНЫХ КАПЕЛЬ.



СВЕТ КОНЦЕНТРИРУЕТСЯ
ВБЛИЗИ НАПРАВЛЕНИЯ КАУСТИКИ
ПОД ПОСТОЯННЫМ УГЛОМ, И ПОЭТОМУ
НАБЛЮДАТЕЛЬ ВИДИТ ОКРАШЕННЫЙ КРУГ, А РАЗЛИЧНЫМ



ЦВЕТАМ ОТВЕЧАЮТ
РАЗЛИЧНЫЕ УГЛЫ
КАУСТИКИ. ОТКУДА
И РАДУГА.

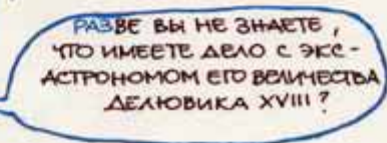
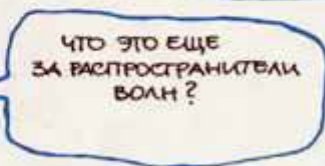
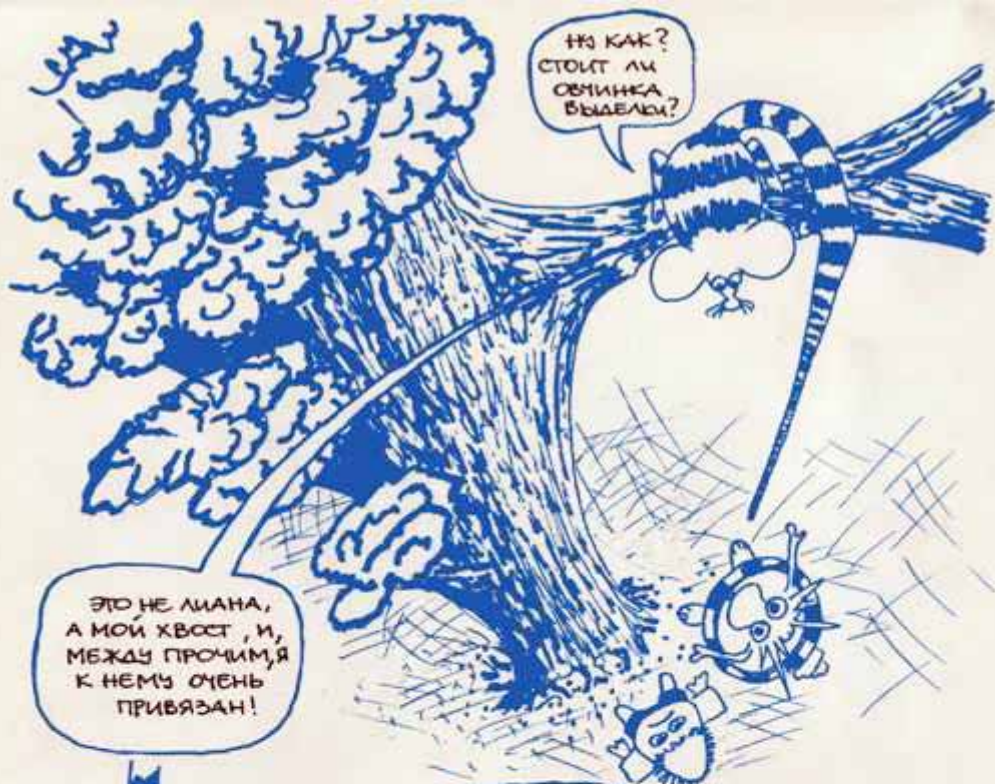


ТЕОРИЯ ЭТА НЕ НОВА,
ОДНАКО ЭТО
ПРЕКРАСНЫЙ
ПРИМЕР
КАТАСТРОФЫ.

ИСЧЕРПАВ ПРИМЕРЫ ИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ, РОЗА ПЫТАЕТСЯ ПРИМЕНИТЬ ТЕОРИЮ КАТАСТРОФ К ВОЛНОВОЙ ОПТИКЕ.







СТРАННО! ДО СИХ ПОР
ДЕЛОВИК XVIII ЦАРСТВОВАЛ НА
ШНИЦЕЛЬПОРКЕ, А НЕ НА
ЧЕРНИЛЬНОМ ПЯТНЕ.

ВЫ,
ПО-ВИДИМОМУ,
ПЕРЕПУТАЛИ
МАТЕРИКИ!

НЕТ, НЕТ! ДЕЛО В ТОМ, ЧТО ЗА
КОНТРАБАНДУ НЕЙТРОННЫМИ
ЗВЕЗДАМИ Я БЫЛ УВОЛЕН...
И ИЗГНАН ИЗ СТРАНЫ.

А ГДЕ
ВАШ
ТЕЛЕСКОП?

В ЭТОМ
ДЕРЕВЕ.

КАК ЖЕ
БЫ ЕГО
НАКЛОНЯТЕ?

ВОТ ТАК!

ВОТ
ТОВАР!

ЧТО ВЫ ДУМАЕТЕ
О ЧЕРНЫХ ДЫРАХ?

**ЗАПРЕТНАЯ
ТЕМА**

УДАЛОСЬ ЛИ
ВАМ ОБНАРУЖИТЬ
ЧТО-НИБУДЬ
ИНТЕРЕСНОЕ?

ПОКАЖИТЕ,
НЕТ,

КРОМЕ ТОГО, ЧТО
ОМБИЛИКУС БУДЕТ
РАЗРУШЕН.

... В РЕЗУЛЬТАТЕ НАПАДЕНИЯ
**КОСМИЧЕСКИХ
КРАБОВ!**



ОДНОГО ИЗ НИХ
МНЕ УДАЛОСЬ
СФОТОГРАФИРОВАТЬ!

ПОЛУИЩА ТАКИХ КРАБОВ ДВИЖУТСЯ
В НАПРАВЛЕНИИ НАШЕЙ **ПЛАНЕТЫ**, И, ПО
МОИМ РАСЧЕТАМ, РАЗМЕРЫ ИХ УЖОСЛИВЫ.

ДОВОЛЬНО
ЛЮБОПЫТНО.

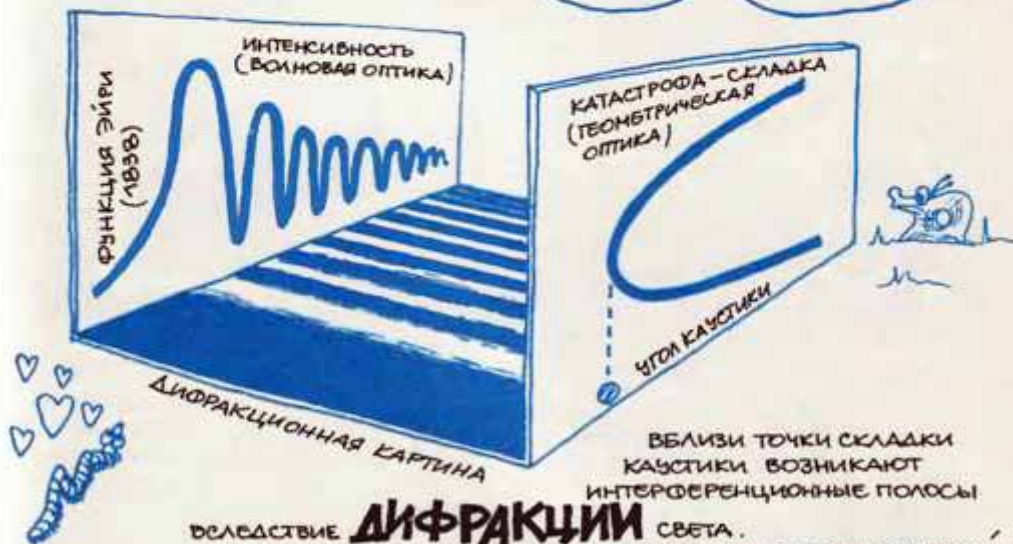
ЧЕТО Я НИКАК НЕ МОГУ
ПОНЯТЬ, ТАК ЭТО
ОТСУТСТВИЕ У НИХ
ГРАВИТАЦИОННЫХ
ПОЛЕЙ ...

ДА, ЭТО
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО
СТРАННО.

ХМ-М

ТАК Я
И ДУМАЛА:

ВАШИ МЕЖ-
КОСМИЧЕСКИЕ
КРАБЫ — ЭТО
НЕ ЧТО ИНОЕ,
КАК КАПЛИ
РОСЫ НА ЛИНЗЕ
ТЕЛЕСКОПА!



ПОСЛЕДСТВИЕ **ДИФРАКЦИИ** СВЕТА. ЛЮБОПЫТНО, ЧТО, ЗНАЯ ПРИРОДУ КАТАСТРОФЫ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКЕ, МОЖНО ПРИМЕНИТЬ НАШУ ТЕОРИЮ К ЯВЛЕНИЯМ ВОЛНОВОЙ ОПТИКИ, Т.Е. ОБЛЕЧЬ КЛАССИЧЕСКИЙ СКЕЛЕТ КВАНТОВОЙ ПЛОТЬЮ. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ДИФРАКЦИОННАЯ КАРТИНА ОПИСЫВАЕТСЯ ФУНКЦИЯМИ ЭЙРИ.



ТАКИЮ КАРТИНУ
ДАЕТ ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ
ОМБИЛИКА.

ВАШИ КОСМИЧЕСКИЕ
КРАБЫ — НЕ ЧТО ИНОЕ,
КАК ДИФРАКЦИОННЫЕ
КАРТИНЫ,

ВОЗНИКАЮЩИЕ
НА СКЛАДКАХ И СБОРКАХ
И ОПИСЫВАЕМЫЕ ФУНКЦИЯМИ
ЭЙРИ. НУ, ЧТО ВЫ НА ЭТО
СКАЖЕТЕ?

Я... Я СКАЖУ, ЧТО...
НАС ОЖИДАЮТ СТРАШНЫЕ
КАТАСТРОФЫ... СВЯЗАННЫЕ
С ФУНКЦИЯМИ ЭЙРИ!!!

ЭТО **КОНЕЦ**
ОМБИЛИКУСА!

ПОШЛИ, ГАСТОН.
В ДАННОМ СЛУЧАЕ
СПОРИТЬ СОВЕРШЕННО
БЕСПОЛЕЗНО.

ПОПИВ КОФЕ И **ОТДОХНУВ**, РОЗА И ГАСТОН ПРИНИМАЮТСЯ ЗА РАБОТУ. ОНИ ХОТЯТ ПЕРЕВЕЗТИ СПИЛЕННЫЕ ДЕРЕВЬЯ-ГЛАЗАСТИКИ В СТОЛИЦУ КЛАУЗИУСПОЛИСА СКОРПИОН.

РОЗА ВЫВОДИТ **БРОНТЁ-ЗАВРОВ...**

СПОКОЙНО,
СПОКОЙНО,
КРАСАВИЦЫ -
СЕСТРИЧКИ!

КАКИЕ
ОЧАРОВАТЕЛЬНЫЕ
СУЩЕСТВА!
КАК ИХ ЗОВУТ?

ШАРАЛОНТА,
ЭМИЛИЯ,
АННА.

ОТВЕЗЕМ
ДЕРЕВЬЯ К РЕКЕ
И СПЛАВИМ ИХ
НА ЛЕСОПИЛЬНЮ.

♪ ♪ ♪ ♪
ТРА-ЛЯ-ЛЯ, ТРА-ЛЯ-ЛЯ!
В КЛАУЗИУСПОЛИС
ЕДУ Я... ♪ ♪ ♪

ГИ-ГИ-ГИ-ГИ-ГИ!

СЕРП-
СКРИП...

ДАВАЙ-КА СЯДЕМ
НА ЭТО БРЕВНО.

А МЫ НЕ
ПЕРЕВЕРНЕМСЯ?

НЕ БОЙСЯ,
ЮНГА! ОНО ТАК ЖЕ
УСТОЙЧИВО, КАК...

ПЛЮХ!

ЭТО ПОХОЖЕ
НА ГИВЕЛЬ
"ТИТАНИКА".

НО, ЕСЛИ ХОЧЕШЬ ЗНАТЬ,
ЭТО ДАЖЕ ПРИЯТНО: ХОРОШАЯ
ВАННА ОСВЕЖАЕТ!

ЗНАЕШЬ, ВЕДЬ
ТО, ЧТО С НАМИ
СЛУЧИЛОСЬ, — ЭТО
ТОЖЕ
КАТАСТРОФА...

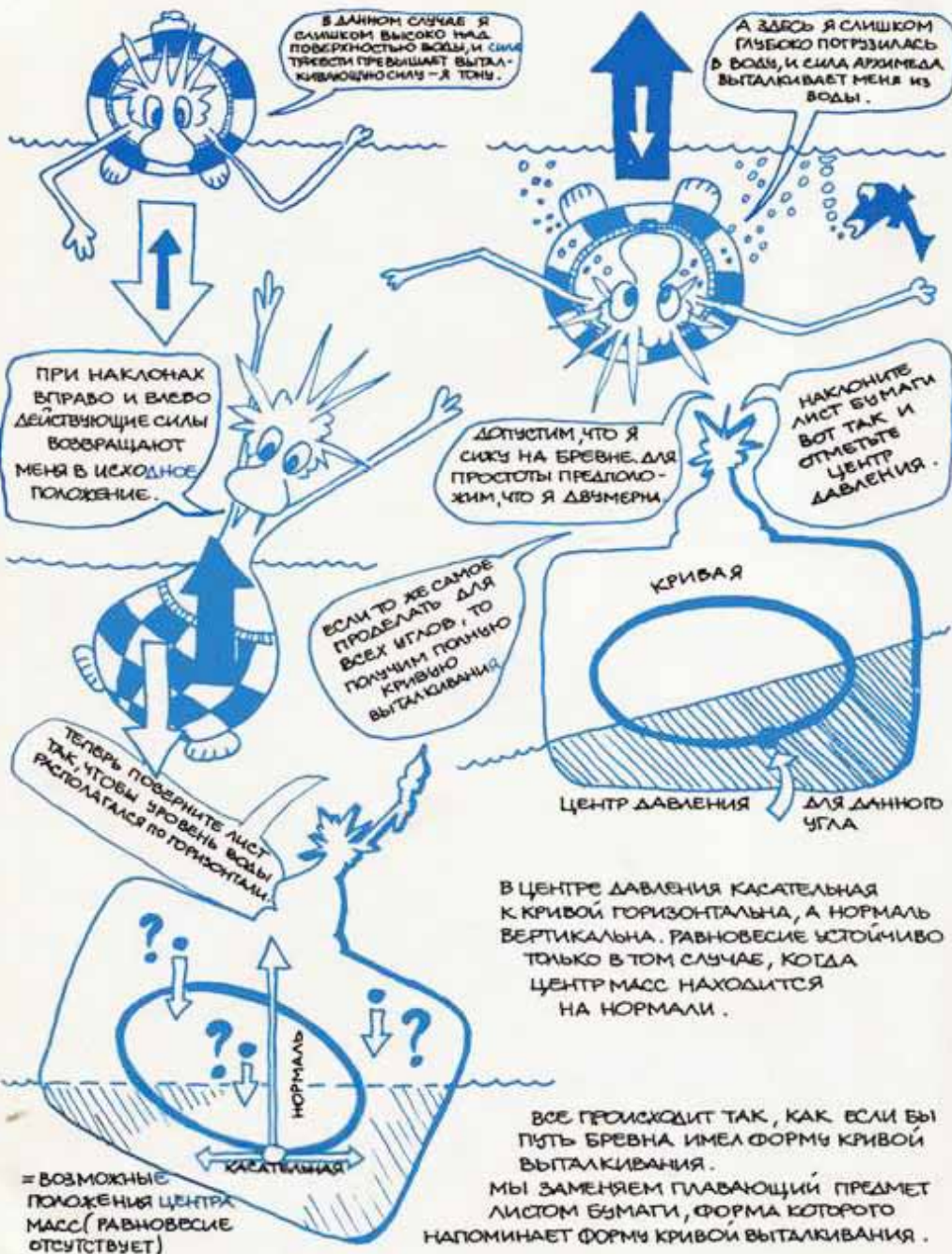
Я — ТО
ЗНАЮ...

ДА НЕТ, Я ИМЕЮ
В ВИДУ МАТЕМАТИЧЕСКИЙ
СМЫСЛ ЭТОГО СЛОВА.

СМОТРИ: НА ТЕЛО,
ПОГРУЖЕННОЕ В ВОДУ, ДЕЙСТВУЮТ
ДВЕ **СИЛЫ — СИЛА**
ТЯЖЕСТИ И ВЫТАЛКИ-
ВАЮЩАЯ СИЛА, РАВНАЯ
ВЕСУ
ЖИДКОСТИ,
ВЫТЕСНЕННОЙ
ТЕЛОМ.

ПРИ РАВНОВЕСИИ
СИЛЫ РАВНЫ И ЦЕНТР
ТЯЖЕСТИ ТЕЛА ДОЛЖЕН
РАСПОЛАГАТЬСЯ НА ОДНОЙ
ВЕРТИКАЛИ С ТОЧКОЙ
ПРИЛОЖЕНИЯ
ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ
СИЛЫ.

ПОСМОТРИ — КА,
ЭТЕЛЬ, ПОДВОДНАЯ
ЛОДКА В НАШИХ
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ
ВОДАХ!







НА ТВОЕМ
МЕСТЕ
Я УШЛА БЫ
ОТЮДА

И НА МОЕМ
ТОЖЕ.



ГАСТОН, СЕЙЧАС
ТЫ ОСТАНЕШЬСЯ
БЕЗ НОГ!



КАЖЕТСЯ,
МЕНЯ
РАСТИЛИЛИ!



ТРУ-
ЛЯ-ЛЯ!

СМОТРИ, ЧТО
Я ИЗ-ЗА ТЕБЯ
НАДЕЛАЛА !!!

ИЗ-ЗА КОГО?
ИЗ-ЗА МЕНЯ?



ОСТОРОЖНО,
РОЗЗ, НЕ
ЗАДЕНЬ МОЮ
ГОЛОВУ!

ИТАК, ДИСК НАХОДИТСЯ
В СОСТОЯНИИ РАВНОВЕСИЯ
ТОЛЬКО ТОГДА, КОГДА ЦЕНТР
МАСС РАСПОЛОЖЕН НА НОРМАЛИ,
ПРОВЕДЕННОЙ В ТОЧКЕ
КАСЕНИЯ.

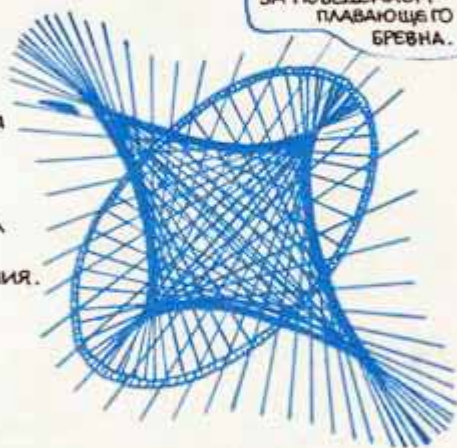
СОВСЕМ КАК
КРИВАЯ ВЫТАЛКИВА-
НИЯ ДЛЯ БРЕВНА.

СЛЕДОВАТЕЛЬНО,
С ПОМОЩЬЮ ДИСКА,
ФОРМА КОТОРОГО
НАПОМИНАЕТ КРИВУЮ
ВЫТАЛКИВАНИЯ,
МОЖНО НАБЛЮДАТЬ
ЗА ПОВЕДЕНИЕМ
ПЛАВУЩЕГО
БРЕВНА.

ПРОВОДЯ ВСЕ НОРМАЛИ, ЗАМЕЧАЕМ, ЧТО
ОНИ ИМЕЮТ ОГИВАЮЩУЮ **ЭВОЛЬВЕНТУ**.
ДЛЯ КРИВОЙ ВЫТАЛКИВАНИЯ ЭВОЛЬВЕНТА
ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ КРИВУЮ

МЕТАЦЕНТРОВ

ЭВОЛЬВЕНТА ЭЛЛИПСА ИМЕЕТ ФОРМУ ЗВЕЗДЫ
(ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ НА ЧЕТЫРЕ ТОЧКИ
СБОРКИ). КРИВАЯ МЕТАЦЕНТРОВ ЯВЛЯЕТСЯ
ТАКЖЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ
МЕСТОМ ЦЕНТРОВ ИЗГИБА
КРИВОЙ
ВЫТАЛКИВАНИЯ.



АНАЛОГИЧНО СЛУЧАЮ С КАУСТИКОЙ
СМЕСТИМ ВЕРТИКАЛЬНО ВСЕ НОРМАЛИ,
ИМЕЮЩИЕ ВЫСОТУ, РАВНУЮ УГЛУ
НАКЛОНА. В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЛУЧИМ
ПОВЕРХНОСТЬ, ОБРАЗОВАННУЮ
ЧЕТЫРЬМА ЭЛЕМЕНТАРНЫМИ
КАТАСТРОФАМИ, ЧЕТЫРЬМА
СБОРКАМИ: КРИВАЯ МЕТАЦЕНТРОВ—
ЭТО БИФУРКАЦИОННОЕ
МНОЖЕСТВО...

...И СЕЙЧАС МЫ В ЭТОМ УБЕДИМСЯ.



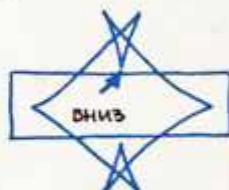
РАЗУМНО! БАЛЛАСТ ПРИДАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ!

В ОКРЕСТНОСТИ ОСТРИЯ КРИВОЙ МЕТАЦЕНТРОВ, СМОТЯЩЕГО ВНИЗ, ПОВЕРХНОСТЬ ОТКЛИКА ВЫГЛЯДИТ ТАК.

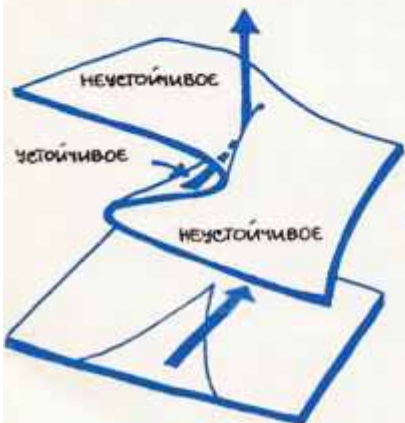
ЕСЛИ ЦЕНТР МАСС ПЕРЕСЕКАЕТ КРИВУЮ МЕТАЦЕНТРОВ, НАКЛОН ДИСКА ПОСТЕПЕННО УВЕЛИЧИВАЕТСЯ: БРЕВНО НАХОДИТСЯ В УСТОЙЧИВОМ ПОЛОЖЕНИИ.



В ОКРЕСТНОСТИ СБОРКИ, ОСТРИЕ КОТОРОЙ НАПРАВЛЕНО ВВЕРХ, УГОЛ НАКЛОНА МЕНЯЕТСЯ ВНЕЗАПНО, И БРЕВНО ПЕРЕВОРАЧИВАЕТСЯ. ИМЕННО ТАК И СЛУЧИЛОСЬ С РОЗОЙ И ГАСТОНОМ.



ДЛЯ БРЕВНА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОСТРИЕ СБОРКИ НАПРАВЛЕНО ВВЕРХ, И БРЕВНО ОПОКИДЫВАЕТСЯ. В СЛУЧАЕ БРЕВНА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ УГЛЫ СБОРКИ НАПРАВЛЕННЫ ВНИЗ, И БРЕВНО ПОГРУЖАЕТСЯ В ВОДУ ПОСТЕПЕННО (КАТАСТРОФА ТИПА «БАБОЧКА»).



НАДО БЫЛО БЫ ВЗЯТЬ БРЕВНО ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ...



...ДА, НО БРЕВНА ТАКОЙ ФОРМЫ БЫВАЮТ КРАЙНЕ РЕДКО.

В ТАКОМ СЛУЧАЕ НЕ СООБРАДИТЬ ЛИ НАМ ПЛОТ? Я ВАМ С УДОВОЛЬСТВИЕМ ПОМОГУ, ЕСЛИ ВЫ ОСВОБОДИТЕ МЕНЯ ОТ ЭТОГО ДИСКА И ПРИРЯДИТЕ МНЕ НОГИ.



ЧТОБЫ СООРУДИТЬ ПЛОТ, НУЖНЫ ДЕРЕВЬЯ...



ПОЖАЛУЙ, ЯЙЦО
ПОСЛОЖНЕЕ
ГЕНЕТИЧЕСКОЙ
ПРОГРАММЫ.

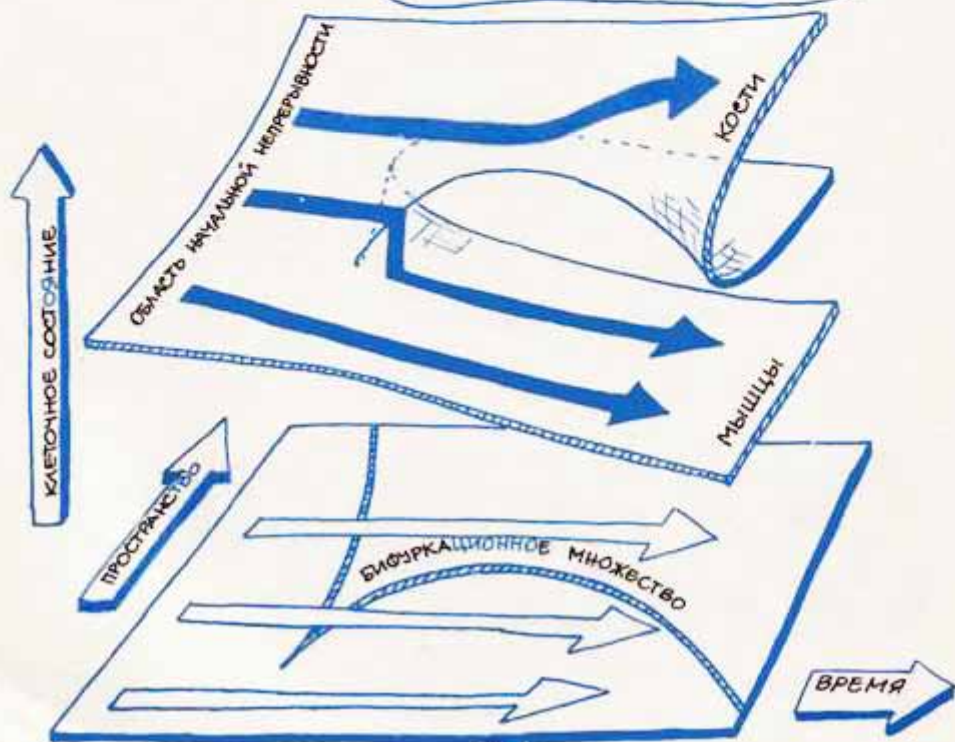
ЯЙЦО
ПРЕДСТАВЛЯЕТ
СОБОЙ ТОЛЬКО
ОДИН ТИП КЛЕТОК,
ТОГДА КАК У
ВЗРОСЛОГО...

...СУЩЕСТВУЕТ
МНОЖЕСТВО
ТИПОВ КЛЕТОК.

А КАК ЖЕ
ЭМБРИОНУ УДАЕТСЯ
ТАК ДИФФЕРЕНЦИРОВАТЬСЯ?

НАДО ЖЕ!

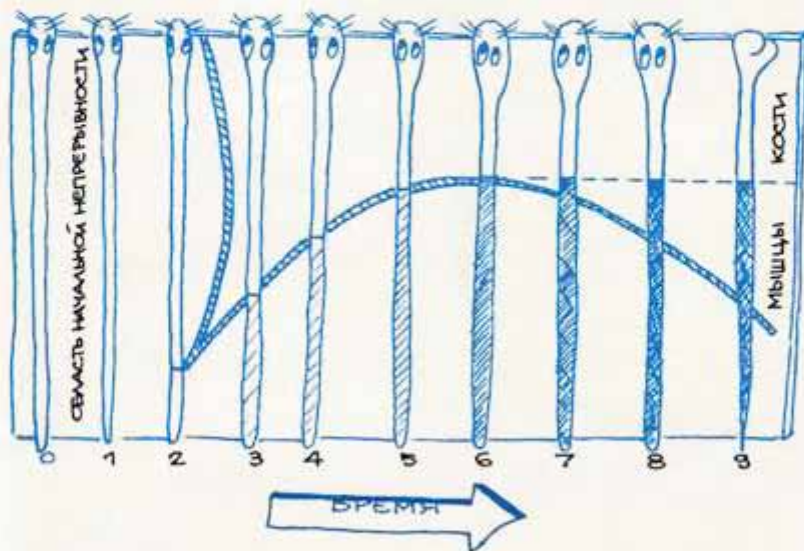
ЭТО ПОКА ЕЩЕ ТАЙНА, И МОЖЕТ СТАТЬСЯ,
ЧТО РАСКРЫТЬ ЕЕ НАМ ПОМОЖЕТ
ИМЕННО ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ. МОДЕЛЬ,
ОСНОВАННАЯ НА КАТАСТРОФАХ, ПОКАЗЫВАЕТ,
ЧТО ДИФФЕРЕНЦИРОВКА КЛЕТОК —
ЯВЛЕНИЕ ВПОЛНЕ ЕСТЕСТВЕННОЕ.



ДИФФЕРЕНЦИРОВКА КОСТЬ-МЫШЦЫ МОЖЕТ БЫТЬ КАТАСТРОФЫ ТИПА СБОРКИ. ТИП КЛЕТОК ИГРАЕТ РОЛЬ ПЕРЕМЕННОЙ СОСТОЯНИЯ; МЫ ИЗОБРАЗИЛИ ЕЕ ОДНОМЕРНОЙ, НО ОНА МОЖЕТ ИМЕТЬ СКОЛЬКО УДОБНО ИЗМЕРЕНИЙ, ТАКИХ, НАПРИМЕР, КАК ХИМИЧЕСКИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ В КЛЕТКАХ. В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСТУПАЮТ ПРОСТРАНСТВО (В ДАННОМ СЛУЧАЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЭМБРИОНА ПРЕДСТАВЛЕНО ДЛЯ ПРОСТОТЫ В ОДНОМ ИЗМЕРЕНИИ) И ВРЕМЯ. ПРЕДСТАВЬТЕ, ЧТО ЭМБРИОН-ЭТО **ЧЕРВЬ...**

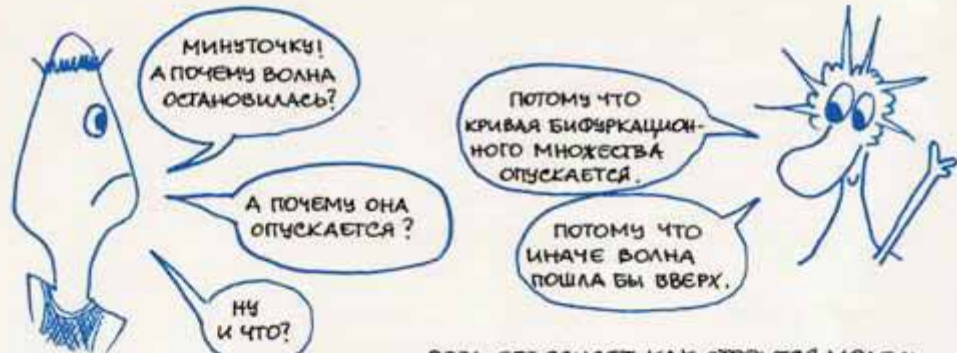
Я ТАК ОДНОМЕРЕН,
КАК ТОЛЬКО ВОЗМОЖНО.

ПРОСЛЕДИМ ЗА ЕГО РОСТОМ В ПРОСТРАНСТВЕ УПРАВЛЕНИЯ...



ВОТ
КОСТЬ!

В МОМЕНТЫ 0 И 1 ТИПЫ КЛЕТОК НЕПРЕРЫВНО ИЗМЕНЯЮТСЯ В ПРОСТРАНСТВЕ. В МОМЕНТ 2 ПОЯВЛЯЕТСЯ ГРАНИЦА, КОТОРАЯ ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ ДО МОМЕНТА 6 КАК УДАРНАЯ ВОЛНА МОРФОГЕНЕЗА. В МОМЕНТ 6 СОСТОЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЕТСЯ И ОСТАЕТСЯ НА ВЕРШИНЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА, ЧТО, ОДНАКО, НЕ МЕШАЕТ ОБЕИМ ПОЛОВИНКАМ ЧЕРВЯ РАЗВИВАТЬСЯ ПОСТЕПЕННО, НО НЕЗАВИСИМО.



РОЗА ОБЪЯСНЯЕТ, КАК СТРОИТСЯ МОДЕЛЬ
ПОЛНОГО ПРОЦЕССА ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ: В ЭТОЙ МОДЕЛИ
БИФУРКАЦИОННОЕ МНОЖЕСТВО **ДОЛЖНО** ОПУСКАТЬСЯ.

НО ЭТО ЖЕ ЗАКОДОВАННЫЙ
КРУГ: СНАЧАЛА ТЫ ПРЕДПО-
ЛАГАЕШЬ ЧТО ВОЛНА ОСТАНО-
ВИТСЯ, А ЗАТЕМ НА ОСНОВАНИИ
ЭТОГО ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ УТВЕР-
ЖДАЕШЬ, ЧТО ОНА ДОЛЖНА
ОСТАНОВИТЬСЯ.

ДО ЧЕГО ЖЕ ТЫ НЕПОНЯТЛИВ,
ГАСТОН! Я ДЕЙСТВИТЕЛЬНО
ПРЕДПОЛАГАЮ, ЧТО ОНА
ОСТАНОВИТСЯ (КСТАТИ, БЫЛО БЫ ГЛУПО НЕ
СДЕЛАТЬ ТАКОГО ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ),
И ДЕЛАЮ ВЫВОД О ТОМ, **КАКИМ**
ОБРАЗОМ ОНА ОСТАНОВИТСЯ
СОГЛАСНО ДАННОЙ МОДЕЛИ.



НАБЛЮДЕНИЯ КАК БУДТО ПОДТВЕРЖДАЮТ ЭТУ МОДЕЛЬ УДАРНОЙ
ВОЛНЫ МОРФОГЕНЕЗА, ПРИЧЕМ СБОРКА ЯВЛЯЕТСЯ ПРОСТОЙ
МОДЕЛЬЮ ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ КЛЕТОК.

ЭТО **АБСОЛЮТНО** НИЧЕГО НЕ ДОКАЗЫВАЕТ, НО СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ
О ТОМ, ЧТО ИЗУЧЕНИЕ ПОДОБНОЙ МОДЕЛИ И ВЫТЕКАЮЩИХ
ИЗ НЕЕ СЛЕДСТВИЙ ПРЕДСТАВЛЯЕТ ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕРЕС.



РОСТ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЮ ЭМБРИОНА МОЖНО ИЗООБРАЗИТЬ В ВИДЕ КРИВОЙ С ПАРАМЕТРАМИ ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВА НА ОЧЕНЬ СЛОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БИОХИМИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ(?). РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ КАТАСТРОФ ПОРОЖДАЮТ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ МОРФОГЕНЕЗА, КОТОРЫЕ ЛИБО УБИВАЮТ ОРГАНИЗМ, ЛИБО ТРАНСФОРМИРУЮТ ЕГО...

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИЙ СОБОЙ СВОД ИНСТРУКЦИЙ, ВЕДЕТ ЭМБРИОН К ВЗРОСЛОМУ СОСТОЯНИЮ ПО ЗАДАННОЙ ДОРОГЕ ВЕРНЕЕ...

ЧЕМ ПРОСТАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА.



ПУТЬ ПОЗНАНИЯ ТЕОРИИ КАТАСТРОФЫ — ДОЛГИЙ И ТРУДНЫЙ, КАК ДОРОГА, ВЕДУЩАЯ В КЛАУЗИУСПОЛИС. ТОМУ, КТО СУМЕЕТ ПРЕОДОЛЕТЬ

ЕГО, ОТКРОЕТСЯ **УДИВИТЕЛЬНОЕ ЕДИНСТВО ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ.** ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ, КАУСТИКИ В ОПТИКЕ, ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ, УСТОЙЧИВОСТЬ СУДОВ, ДИФФЕРЕНЦИРОВКА КЛЕТОК И (КАК ЗНАТЬ?) ДАЖЕ СМЕНА НАСТРОЕНИЯ... ВСЕ ЭТО МОЖЕТ БЫТЬ ОБЪЯСНЕНО С ПОМОЩЬЮ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ МОДЕЛИ.

НО ДОРОГА В КЛАУЗИУСПОЛИС БЫЛА ПРОЛОЖЕНА НЕ СРАЗУ, И МЫ ПОКИДАЕМ НАШИХ ДРУЗЕЙ, ПЛЫВЩИХ В ЛУЧАХ ЗАХОДЯЩИХ СОЛНЦА, В НАЧАЛЕ ПУТИ...

НУ ВОТ МЫ
И ОДИН! КАКОЕ СЧАСТЬЕ,
ЧТО НАМ УДАЛОСЬ
ОТДЕЛАТЬСЯ ОТ ЭТОГО
МЕРЗКОГО КЛИПКА...!



КОНЕЦ.