

Огромный сложный мир, включая токамаки, познаваем благодаря простым аттракторам

*The success is due to reduction of number of
parameters around 10^{23}*

yankov@yahoo.com

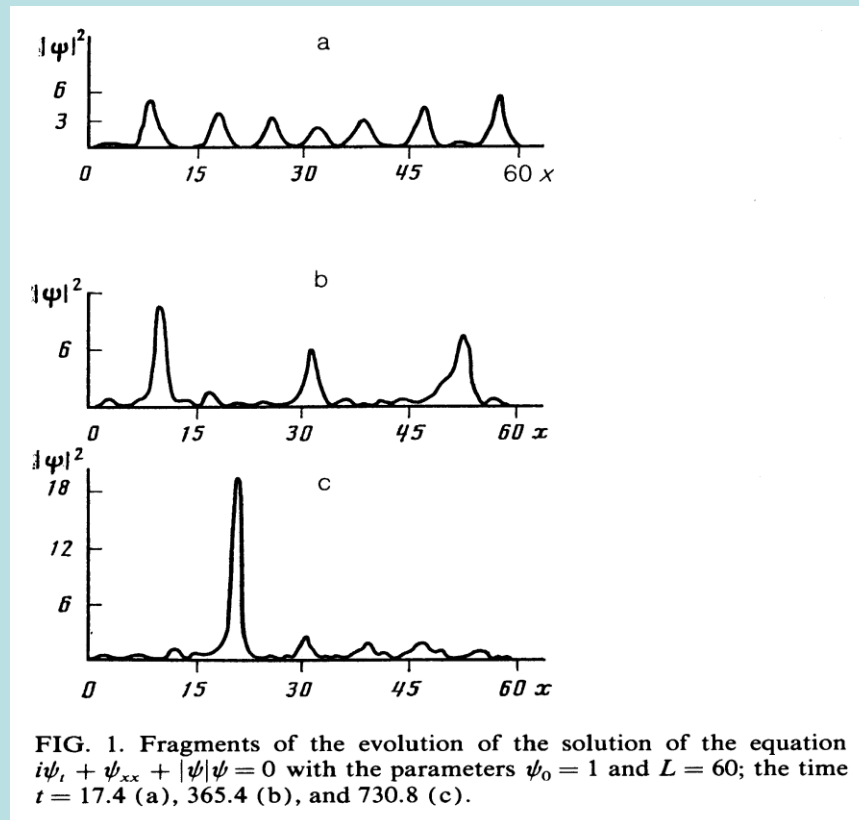
Examples of attractors: energy minima, Boltzmann distribution, solitons and wave collapses, vortices, measurements in quantum mechanics, brain and AI, Life, turbulent attractor in tokamaks.

Пояснение термина: Трактор тянет, а аттрактор тянет к себе

Частное решение важно, если оно аттрактор, то есть притягивает траектории

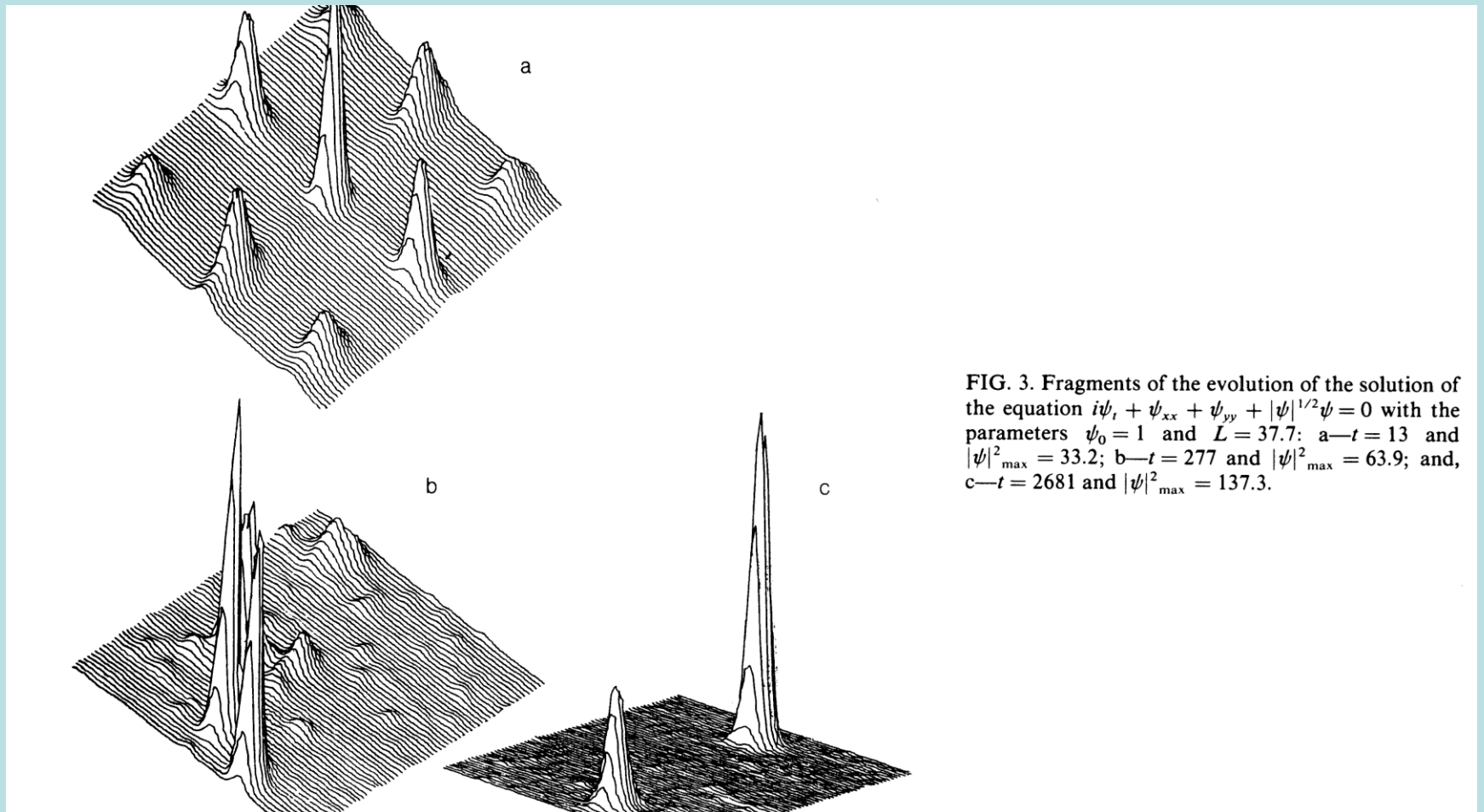
- Простейший аттрактор известен даже котяткам, это минимум энергии. Брошенный предмет, включая котенка, падает на пол, не на потолок или стену. Пролитая на пол вода течет еще ниже. Котятки не знают о стабильности ядер атомов, но ядра стабильны из-за локального минимума энергии.
- Первое хорошо документированное упоминание аттракторов принадлежит Аристотелю: «Все движется, пока толкают.» Это формулировка принципа минимума кинетической энергии.
- Есть аттракторы и посложнее минимума энергии, эту идею я и продвигаю всю научную жизнь.
- Турбулентные равнораспределения, например, сахар в кофе или адиабата в атмосфере, это частный случай аттракторов.
- Турбулентные равнораспределения в токамаках еще более частный случай. И его открыли экспериментаторы, а я только уточнил.

Solitary waves are important, because they are attractors. A statistical theory predicted that linear waves will condensate in them and solitons will merge. Simulations confirmed the prediction, see below. $W=T/(f+f')$. Similar attractors should be seen in MM Optical Fibers



Condensation in 2d solitons

Dyachenko, Zakharov, Pushkarev, Shvets, Yankov, 1982



Other
source
of energy,
the same
attractor

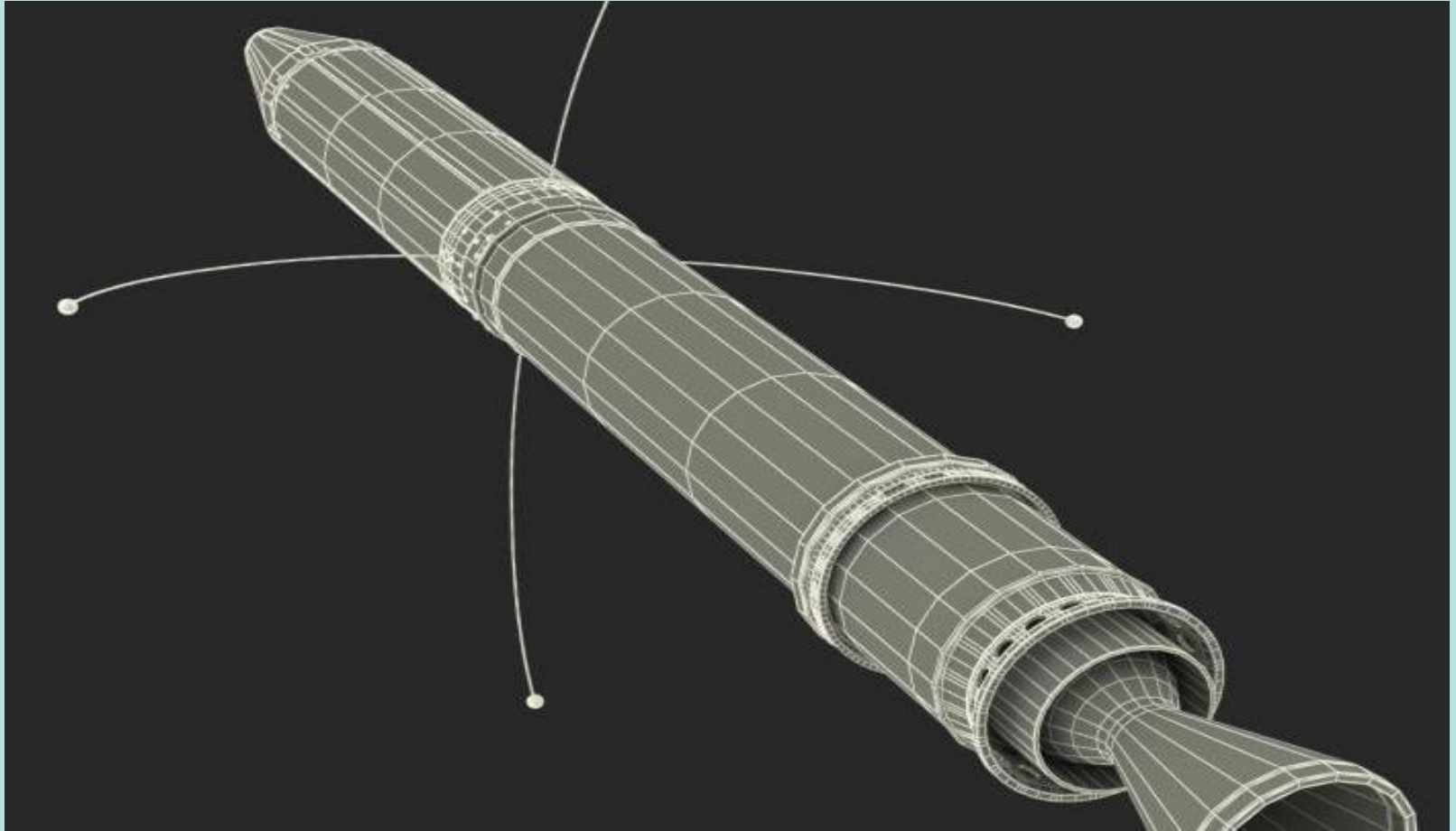


Thin vortex attractor is defined by conservation of vorticity (Poincare invariant!)





First satellite launched by US was stabilized by energy maxima, like a rifle bullet



The chaotic world is knowable and predictable due to causality (*Newton*), time arrow (*Boltzmann*), invariants (*Poincare*), and attractors (*Aristotle, Boltzmann, Arnold, Lorentz, Zakharov*)

- Importance of causality, time arrow, and invariants is evident, while importance of attractors is not.
- Тупик физики на 5м курсе.
- My current applications are tokamaks and AI.
- To release power of attractors simulate your own attractor!
- Инварианты и инварианты крепче уравнений движения.

ITER is a \$100B beast, therefore we must study it. Tokamak attractor is Turbulent EquiPartition of angular magnetic momentum

- Experimenters observed similar profiles of plasma in tokamaks beginning 1962. The puzzling feature of profiles is a maximum of plasma density in center and minimum at boundary, while the source of particles is at boundary! Central maximum is natural for temperature, not density! We must change the attractor, not coefficients.
- The hint: what set of invariants leads to a turbulent attractor with maximum at the center?
- The hunt has started from Poincare invariant application to drift Vlasov equations, which resulted in new set of frozen-in invariants, relatives of frozen-in invariants of magnetic field and adiabatic invariants.
- Finally, a simple invariant lead to the central maximum, angular magnetic momentum

Аттрактор в токамаке для лингвистов

Аттрактор в виде горба плотности в центре возникает при дрейфе плазмы внутрь, плотность падает как $n \sim 1/v$,
здесь n плотность частиц, v удельный объем.

Объем v уменьшается к центру, потому что полоидальное поле усиливается и силовые линии укорачиваются.

Краткий курс токамаков для начальников

- Турбулентный перенос это причина высокой стоимости токамаков и их главная загадка. Данные десятков токамаков и сотен теоретиков похоронены в базах данных и журналах. Извлечь данные, превратить в информацию и умело применить к железу должно теперешнее начальство, ну и мы.
- Турбулентный аттрактор в токамаке был найден и осознан экспериментаторами в 60х 70х как канонические профили давления и загадочный максимум плотности в центре.
- В 93м я дал им физическое объяснение и аналитическое описание, подтвержденное позднее экспериментально.

Аттрактор в токамаке оказался подобен распределению сахара в кофе и адиабате в солнце

- Равномерное распределение сахара не зависит от деталей перемешивания и определяется двумя инвариантами: сохраняется число частиц сахара и сохраняется несжимаемый объем. В токамаке первый инвариант тот же, сохраняется число частиц (e, i), а 2й похож: движение в тороидальном и радиальном направлении это несжимаемый фазовый поток (рисунок).
- Гамильтоновы переменные тороидальная координата и тороидальный импульс

$$p = eA/c$$

Однородное распределение в Гамильтоновых переменных превращается в неоднородное в обычных

- Как и с сахаром, в хорошо перемешанном токамаке концентрация частиц не зависит от тороидальной координаты и тороидального импульса, возникает аттрактор, названный мной, как и в кофе, ТЕР (Turbulent EquiPartition)

$$f(p) = dN/dp = \text{const}$$

- Если заменить Гамильтоновы координаты на привычные экспериментаторам, то возникнет формула

$$n(r) = 1/q(r)$$

-

Тут показана процедура замены

В импульсе сохранена только магнитная часть! Именно магнитная инерция ответственна за пробой при разрыве тока, но ей не привыкли пользоваться

$$f(p) = dN/dp = \text{const}$$

$$p = eA/c \quad dA/dr = B_p \quad dN/dr = 2\pi r n$$

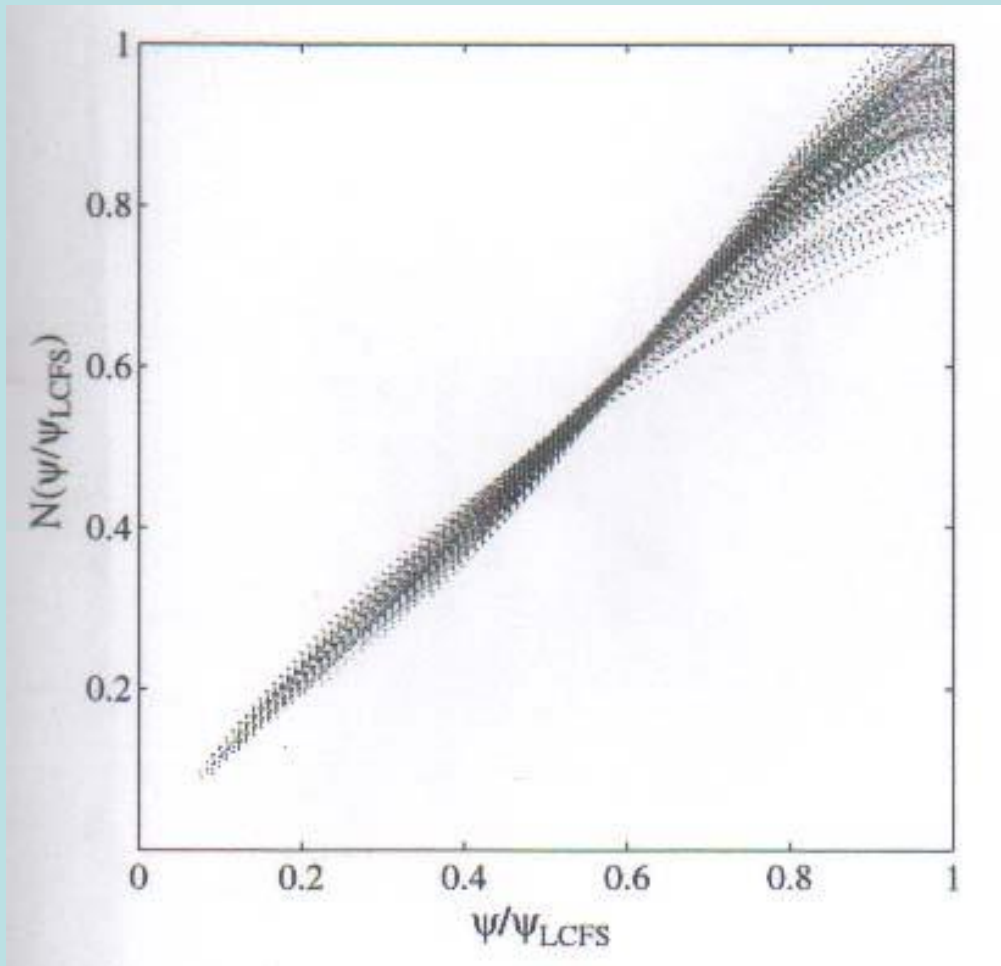
$$n(r)r = B_p(r) \quad n(r) = 1/q(r)$$

Comparison with experimental data

TEP is an idealized profile, so Baker and Rosenbluth generalized formula by introduction of fitting parameter, alpha

$$n(r) = 1/q^\alpha(r)$$

This approximation has been tested and I am very grateful to the authors



Weisen coordinates.

Integrated normalized particle content versus normalized poloidal flux in an OH TCV data set. 226 density profiles from Weisen et al. (2002) Best fit $\alpha = 1$. TEP is confirmed experimentally.

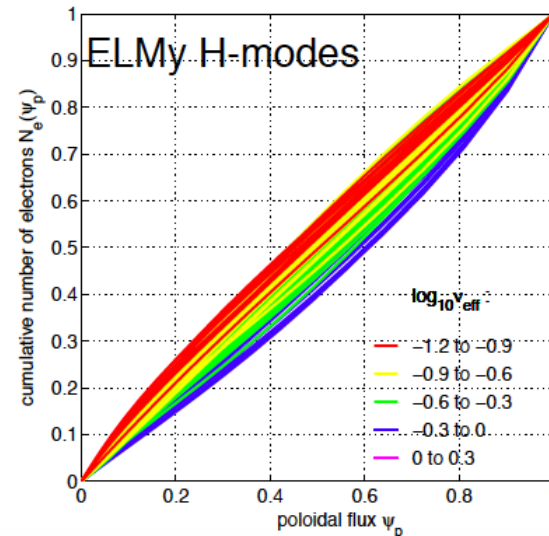
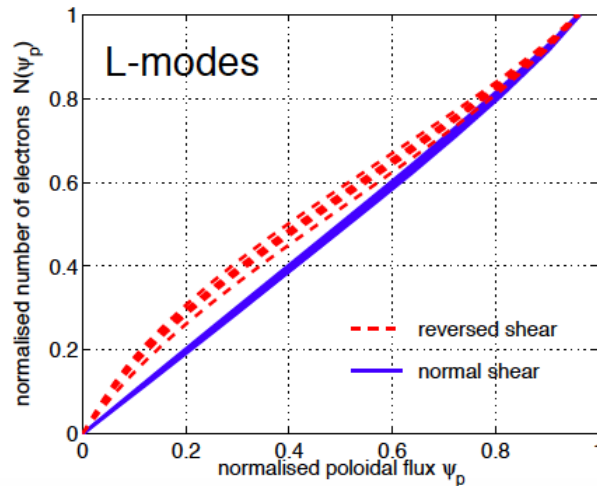
JET L-mode, Reversed shear, H-mode

Shear dependence in qualitative agreement with Turbulent EquiPartition / curvature pinch

Due to invariance of μ and J , turbulent diffusion causes trapped electrons to spread over poloidal flux ($dN_e/d\Psi = \text{const}$):

$$\int_a^b n_e dV = N_e \Big|_a^b \propto |\psi(b) - \psi(a)|$$

corresponding to $C_q=1$ (& $C_\varepsilon=0$). Fair agreement with L-modes (normal shear) and low V_{eff} H-modes



Расширение наружу при нормальном шире, $n \sim 1/q$, сразу предполагает сжатие плазмы при отрицательном шире и транспортный барьер

- Это предсказание 95 сопровождается дискуссией о том, как область устойчивости залезает в положительный шир, хотя и уменьшенный, и роль рациональных поверхностей на границе
- Предшественники этого механизма минимум В и палки Иоффе
- Есть, видимо, и другие причины ВТБ, буду благодарен за мнения и ссылки

Улучшение удержания ослаблением полоидального магнитного поля на границе.

Эффект основан на расширении плазмы при дрейфе наружу, плотность падает как $n \sim 1/v$, а давление как $p \sim 1/v^3$. Удельный объем v можно заменить на привычный q . В результате при том же давлении в центре упадет давление на границе, а с ним упадут и энергетические потери.

Два метода:

ослаблением тока, current rampdown, Мирнов 70, JET 99

или многими углами, можно диверторами, недавняя отрицательная треугольность на DIII-D с отодвиганием X точек от оси

Уравнения переноса против аттракторов

- Переносы это следствия линейных отклонений от аттракторов
- Турбулентная Электронная Теплопроводность это коэффициент в неверном уравнении. Неверно определен аттрактор.
- Два клуба

$$I = \oint \vec{p} d\vec{q}$$

Poincare Invariant is integral form of Hamilton Equations

$$I = \oint \vec{p} d\vec{q}$$

Adiabatic Invariant

$$I = \oint \vec{p} d\vec{q}$$

Generalized frozen-in law

$$\vec{p} = m\vec{v} + e\vec{A}/c$$

Hypothesis of attractors

- Hypothesis: The World or Simplified Models of the World can be approximated as a set of attractors with several variables plus a huge number of chaotic perturbations.
- Attractor is a structure with several variables which appears as result of evolution of almost any complex nonlinear system. Invariants of motion are shared between attractors and chaos in comparable proportions. It means that attractors have much more energy and/or other invariant per variable.
- Арнольд: «..физическое предложение, т. е. расплывчато сформулированное и, строго говоря, неверное утверждение»