

# Квант

Научно-популярный  
физико-математический журнал

ISSN 0130-2221

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



Живой компьютер?

1992

[Обложка журнала](#) [Оборот титула](#)

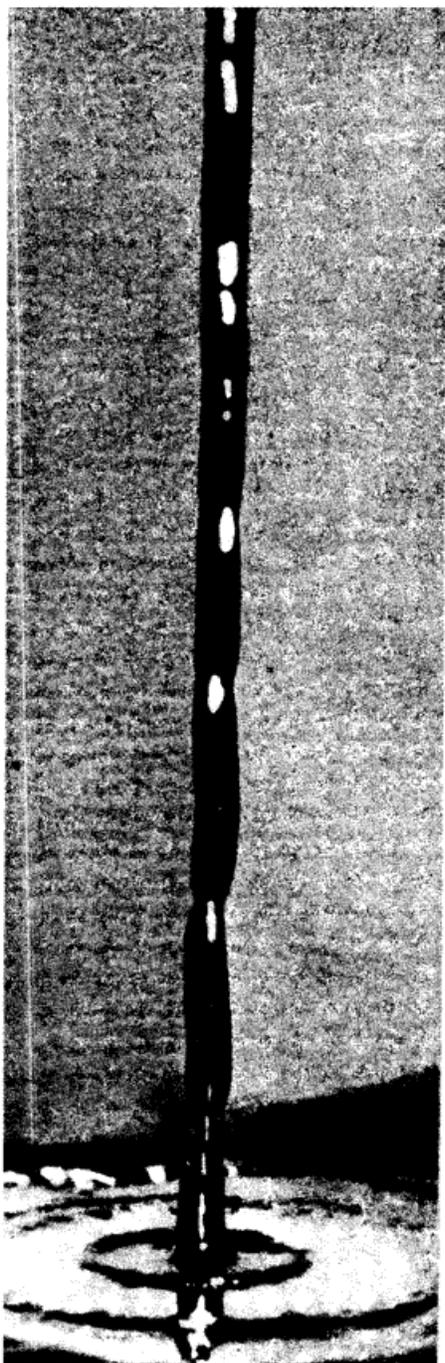
стр. [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) [11](#) [12](#) [13](#) [14](#) [15](#) [16](#) [17](#) [18](#) [19](#) [20](#) [21](#) [22](#) [23](#) [24](#) [25](#) [26](#) [27](#) [28](#) [29](#) [30](#) [31](#) [32](#) [33](#) [34](#) [35](#) [36](#) [37](#) [38](#) [39](#) [40](#) [41](#) [42](#) [43](#) [44](#) [45](#) [46](#) [47](#) [48](#) [49](#) [50](#) [51](#) [52](#) [53](#) [54](#) [55](#) [56](#) [57](#) [58](#) [59](#) [60](#) [61](#) [62](#) [63](#) [64](#) [65](#) [66](#) [67](#) [68](#) [69](#) [70](#) [71](#) [72](#) [73](#) [74](#) [75](#) [76](#) [77](#) [78](#) [79](#) [80](#) [81](#) [82](#) >>

Copyright ©1996-2002 [МЦНМО](#)

Пишите нам: [kvant@mccme.ru](mailto:kvant@mccme.ru)

Проект осуществляется при поддержке [Московского комитета образования](#), [Московского Института Открытого Образования](#), [Электронного журнала "Курьер образования"](#)





## ПИНЧ-ЭФФЕКТ

В. БЕРНШТАМ,  
И. МАНЗОН

*Все, что видим мы, — видимость  
только одна,  
Ибо тайная сущность вещей — не  
видна.*  
Омар Хайям

Этой бездонно глубокой мыслью, чей почтенный девятивековой возраст дает ей право на более достойное применение, хочется лишь проиллюстрировать то, что обычная, хорошо знакомая свободно падающая струя не так проста, как кажется на первый взгляд. Если заменить столь несовершенный оптический прибор, как наш глаз с присущей ему инерционностью восприятия изображения, обычным фотоаппаратом, имеющим короткие выдержки (около  $1/1000$  с), то можно увидеть, что струя представляет собой не просто подрагивающий падающий столбик жидкости, а тело более сложной формы. Во-первых, примерно через одинаковые промежутки на струе наблюдаются сужения, «амплитуда» которых растет по мере удаления от истока; во-вторых, и сама ось струи отличается от прямой, изгибаясь в некое подобие спирали или винта. Здесь мы встречаемся с неустойчивостями жидкого цилиндра. Первую из них называют перетяжечной или «сосисочной», вторую — винтовой. За оба эти действия ответственны силы поверхностного натяжения жидкости, которые столь ярко проявляют себя, стремясь превратить капли росы в правильные шарики. И в этом случае, и в случае со струей силы поверхностного натяжения (их еще называют капиллярными) стремятся уменьшить поверхностную энергию, т. е. свести к минимуму площадь свободной поверхности.

Исследования разрушения струи капиллярными силами имеют долгую и богатую историю, восходящую к работе Савара 1833 года. Среди ученых,

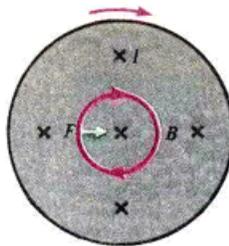
изучавших капиллярные явления на струях, — Плато, Рэлей, Бор. Рэлей, например, установил, что если цилиндрическую струю разрезать на одинаковые цилиндры и сделать из них круглые капли, то энергия, связанная с поверхностным натяжением, станет меньше — если высота цилиндров больше длины окружности, лежащей в их основании. Поэтому периодические возмущения формы поверхности струи, у которых длина волны больше периметра сечения, будут расти вплоть до полного разрушения струи.

Интересно, что есть еще одни силы совсем иной природы, которые оказывают на струю подобное действие.

Более 80 лет назад, в 1907 году, вышла в свет статья Эдвина Нортрупа «Некоторые новейшие наблюдения проявления сил внутри электрического проводника», с которой началось изучение гидродинамики электропроводной токонесущей жидкости. Из статьи «Некоторые новейшие наблюдения...»: «Несколько месяцев назад мой друг Карл Геринг описал мне удивительное и, по-видимому, новое явление, которое он наблюдал. Он обнаружил, что при прохождении сравнительно большого переменного тока через жидкий проводник, находящийся в лотке, жидкость сжимается в поперечном сечении и вспучивается по длине лотка, вскарабкиваясь на электроды. При дальнейшем увеличении тока он обнаружил, что сжатие поперечного сечения становится настолько большим в некоторой точке, что образуется глубокий провал в жидкости... С еще большим увеличением тока провал достигал дна лотка, вследствие чего цепь разрывалась. После этого... жидкость смыкалась снова и опять разрывалась».

Так как действие сил на струю и на проводник похоже на сдавливание и пощипывание (pinch), этот эффект в шутку называли «пинч-эффектом».

Токонесущая струя жидкого металла — тот интересный объект, где капиллярные и электромагнитные силы действуют сообща и их действие складывается. Приводит это к тому, что сужения («перетяжки») развиваются



быстрее и расстояния между соседними перетяжками становятся меньше. Происходит это вот почему. Как вы знаете, ток, текущий по проводу, создает вокруг него вихревое магнитное поле, линии индукции которого представляют собой окружности. Однако поле возникает не только вне провода, но и внутри него, в толще проводника. Как видно на рисунке, направления поля и тока таковы, что на любой элемент тока действует сила, направленная к оси провода. В невозмущенном состоянии эта сила уравновешивается силой давления жидкости (которое должно быть больше в центре провода). При уменьшении же в каком-то месте толщины струи из-за случайных причин величина индукции магнитного поля в нем увеличивается, электромагнитная сила растет, вытесняя жидкость из узкого участка и еще больше уменьшая радиус струи вплоть до полного разрыва. Подобным же образом разрушает струю и винтовая неустойчивость.

В последнее время у токонесущей жидкометаллической струи появились новые «родственники». Первый из них — это взрывающаяся проволочка (тонкая проволочка, по которой пропускают очень короткие импульсы тока большой величины; этот ток сначала плавит проволочку, а потом разрушает ее точно так же, как и струю, за счет развития неустойчивостей). Нужны взрывающиеся проволочки, чтобы получать импульсы

(Окончание см. на с. 51)

**Вывод:** масса пружины динамометра равна  $m = 2F_{\text{эф}}/g$ , где  $F_{\text{эф}}$  — показания динамометра в вертикальном положении.

В заключение — несколько задач для самостоятельного решения.

#### Упражнения

1. Динамометр подвешен вертикально за верхний конец (за который пружина прикреплена к шкале). К его нижнему концу подвешен (верхним концом) второй динамометр, а к нижнему концу второго — третий. Все динамометры одинаковые. Верхний динамометр показывает силу  $F$ . Что показывают второй и третий динамометры? Массой шкал пренебречь.

2. Пружина в горизонтальном положении имеет длину 1 м. Подвешенная за один конец, она растягивается до 1,2 м. Другая такая же пружина имеет в горизонтальном положении длину 2 м. До какой длины она растянется, если ее тоже подвесить за один конец?

3. Пружина динамометра может как растягиваться, так и сжиматься, подчиняясь в обоих случаях закону Гука. За один конец динамометра тянут с силой 70 Н, другой толкают в том же направлении с силой 50 Н. Что покажет динамометр?

4. Стержень, изготовленный из упругого материала (металл, резина), аналогичен пружине. Если на его торцы действуют одинаковые растягивающие силы  $F$ , то относительное удлинение стержня равно  $\Delta l/l = F/(ES)$ , где  $S$  —

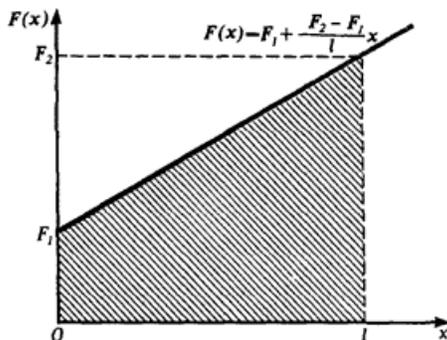


Рис. 5.

площадь поперечного сечения стержня,  $E$  — коэффициент, зависящий от свойств материала (модуль Юнга). Какой должна быть длина стального стержня в горизонтальном положении, чтобы при подвешивании его за один конец длина стержня увеличилась на 1 мм? Для стали  $E = 2,1 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>, плотность  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

5. Стальной стержень (см. предыдущую задачу), поставленный «на попа», имеет длину 1 м. Какой будет длина стержня, если его подвесить за верхний конец?

## Пинч-эффект

(Начало см. на с. 18)

сверхвысокого напряжения (миллионы вольт). Делается это следующим образом. При разрушении расплавленной проволочки ее сопротивление практически мгновенно увеличивается во много раз, в то время как ток в цепи, определяемый в основном индуктивностью проволочки, почти не изменяется. Поэтому и возникает импульс высокого напряжения (который сложно получить другими способами).

И еще один «родственник» жидкометаллической струи — плазменный шнур термоядерного реактора. Оказывается, и он подвержен такому же

разрушению, как токонесущая струя! Создатели термоядерного реактора столкнулись с коварнейшим свойством плазмы — ее неустойчивостью. Если в плазменном шнуре возникает перетяжка или другое отклонение от состояния равновесия, то под действием локально усиливающегося магнитного поля оно увеличивается до полного разрыва шнура. За миллионные доли секунды плазменный шнур разрушается.

Именно это явление иллюстрирует жидкометаллическая токонесущая струя на нашей фотографии (с. 18). Но перечень интересных и красивых физических эффектов, которые способна демонстрировать свободная струя, далеко не исчерпывается тем, что можно увидеть на этой фотографии. «Все, что видим мы, — видимость только одна...»