

Десятая Всероссийская летняя школа учителей физики  
2021

---

# НАГЛЯДНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЗИКА

Кротов С.С., Шутеев С.А.

[sskrotov@mail.ru](mailto:sskrotov@mail.ru), [gsg.shu@gmail.com](mailto:gsg.shu@gmail.com)

# НАГЛЯДНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЗИКА

---

«С позиций нелинейного мышления все реальные системы могут считаться линейными лишь приближённо. С этой точки зрения не только механика Ньютона, но и теория относительности и даже квантовая механика являются линейными теориями»

Л.И.

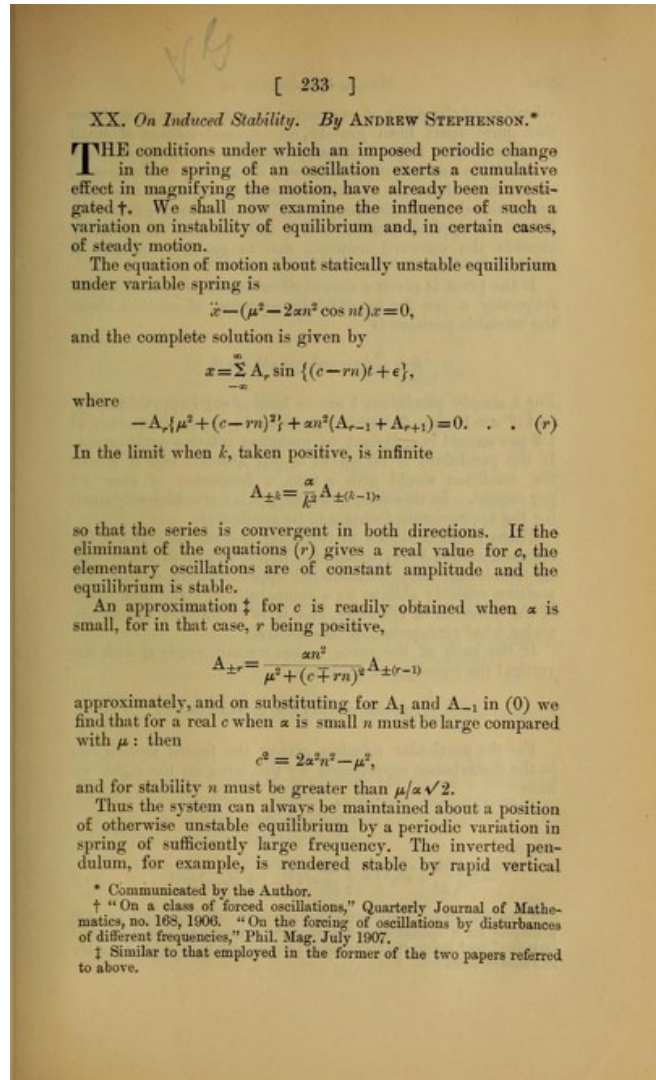
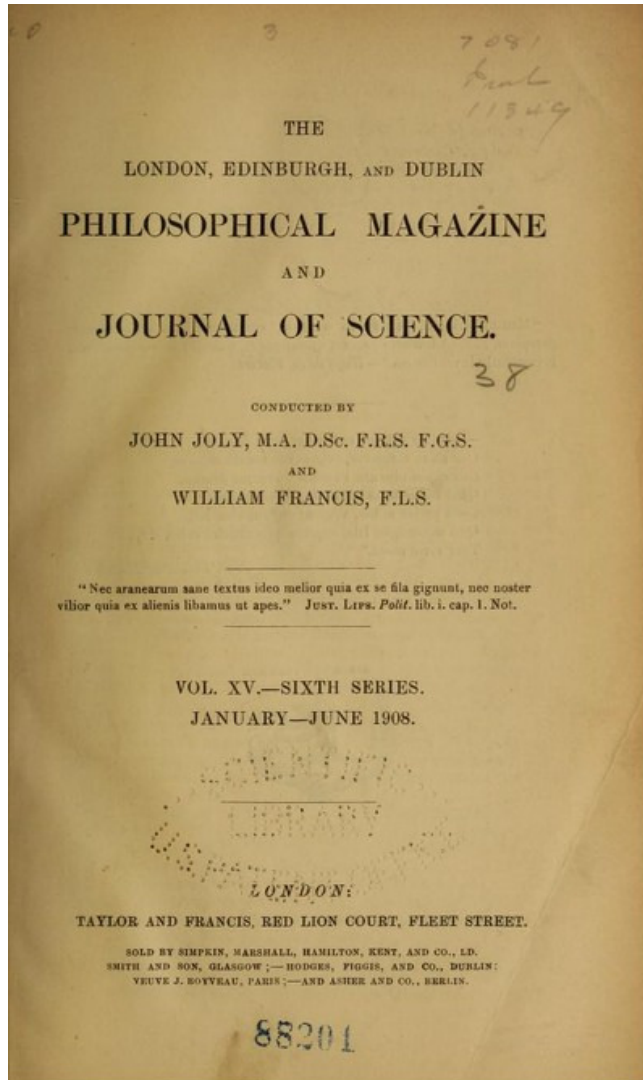
Мандельштам

# Маятник Капицы

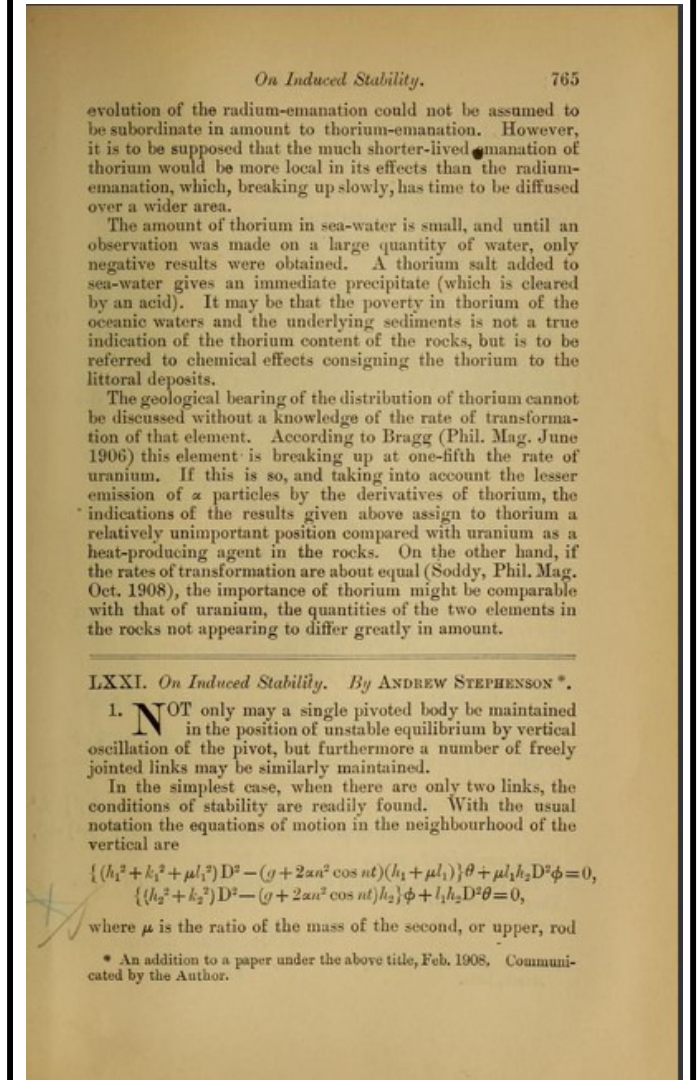
## История вопроса

Andrew Stephenson

1908г. "On an induced stability" *Phil. Mag.* 15, 233 – 236



1909г. *Phil. Mag.* 17, 765 – 766



# Маятник Капицы

## История вопроса

---

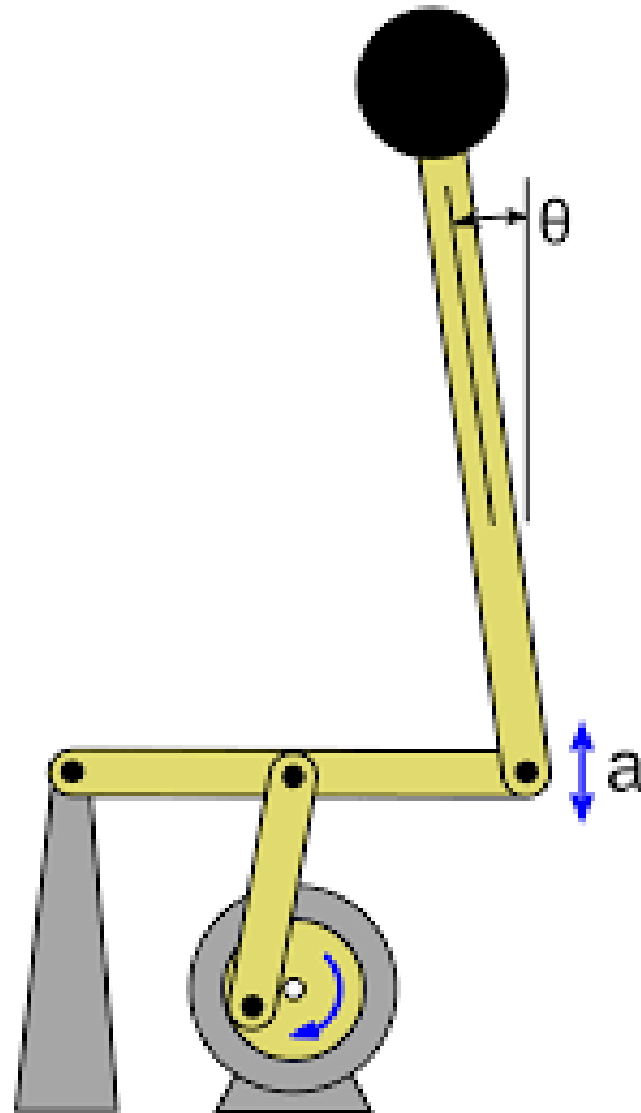
1. Капица П.Л. “Динамическая устойчивость маятника при колеблющейся точке подвеса” *ЖЭТФ* **21** 588 – 597 (1951)
2. Капица П.Л. “Маятник с вибрирующим подвесом” *УФН* **44** 7 – 20 (1951)

Идея выделения в движении маятника быстро и медленно меняющихся составляющих  
1934, 1937

Принцип жесткой фокусировки заряженных частиц  
и маятник Капицы  
1953

# Маятник Капицы

---



# Маятник Капицы

## Критерии

---

Эффективная потенциальная энергия  $U_{eff}$  :

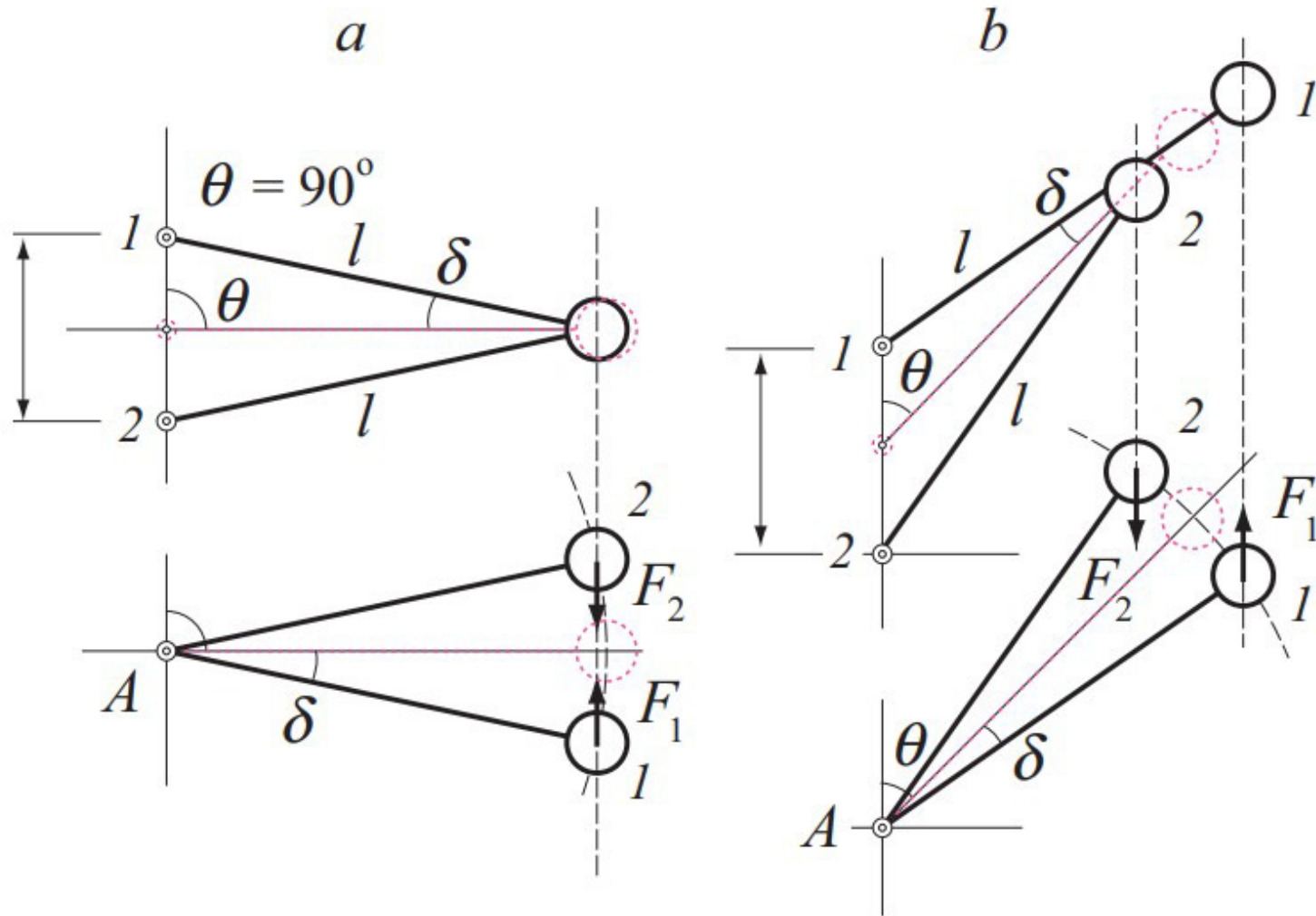
$$U_{eff} = -\frac{g}{R} \cdot \cos \phi + \frac{1}{4} \left( \frac{A}{R} \Omega \cdot \sin \phi \right)^2$$

Равновесные положения:  $\phi_1 = 0, \phi_2 = \pi, \cos \phi_3 = -\frac{2gR}{\Omega^2 A^2}$

Критерий устойчивости:  $\frac{2gR}{\Omega^2 a^2} \leq 1$

Уточненный критерий:  $2gR \left( 1 + \frac{I}{mR^2} \right) \leq (\Omega a)^2$

# Маятник Капицы



# Ловушка Поля

## История вопроса

---

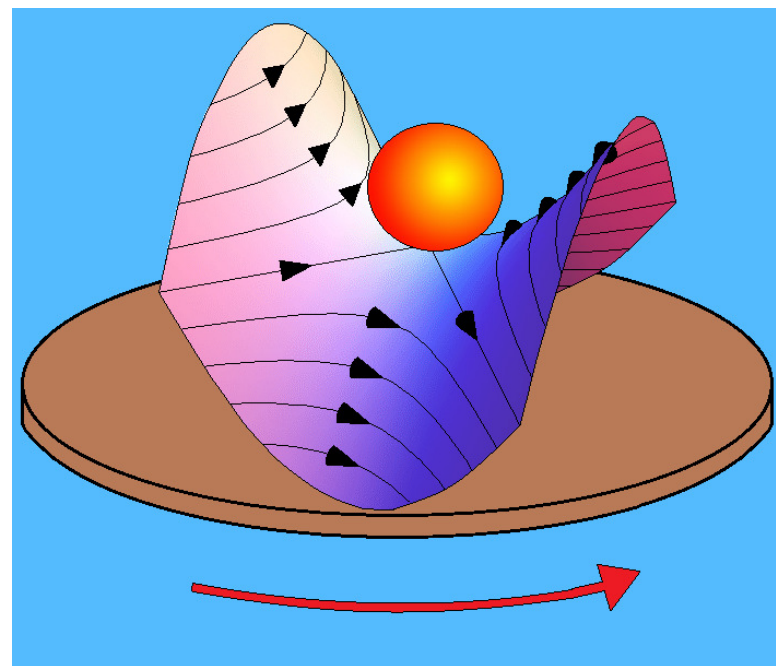
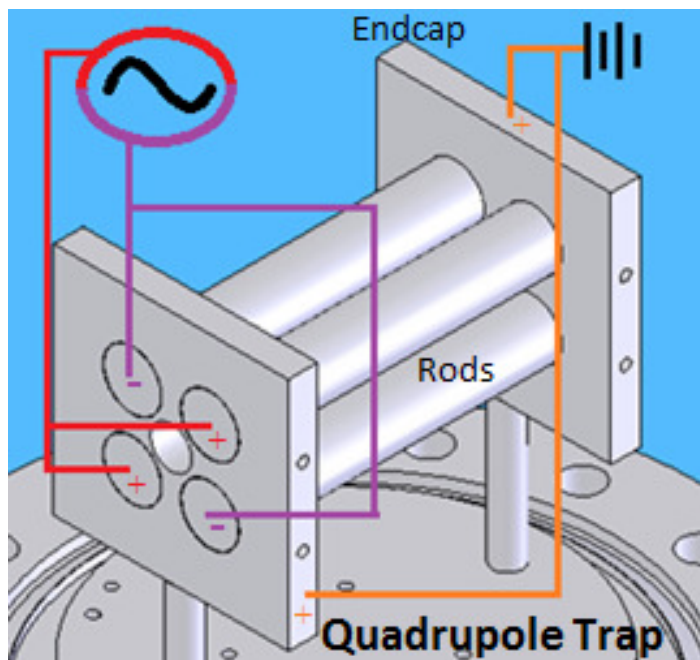
При изучении основных строительных блоков материи, полезно иметь возможность удерживать один из них относительно неподвижным в течение длительного периода времени. Ионные ловушки допускают именно такое ограничение: заряженный атом может быть буквально пойман в ловушку в пределах небольшого радиуса, что позволяет более точно изучать его свойства. В 1989 году Вольфганг Пауль получил Нобелевскую премию по физике за разработку RF-электрически-квадрупольной ионной ловушки, также названной в его честь ловушкой Пауля. Этот тип ловушки помимо изучения электрических свойств отдельных ионов полезен и при определении атомных масс – сама ловушка может быть использована в качестве масс-спектрометра

L. E. J. BROUWER. Beweging van een materieel punt op den bodem eener draaiende vaas onder den invloed der zwaartekracht. N. Arch. v. Wisk., 2e reeks, 12, 407-419, 1918.

Равновесие частицы, движущейся под действием силы тяжести на поверхности, которая вращается с равномерной угловой скоростью вокруг вертикальной оси



# Ловушка Поля



# Ловушка Поля

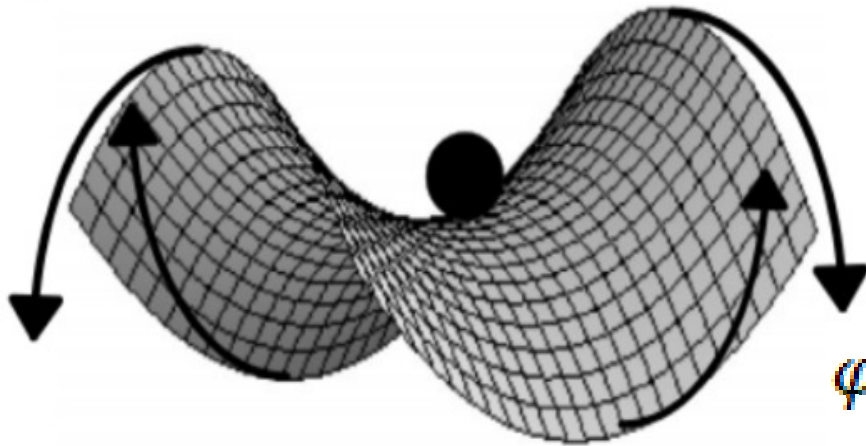
## Потенциал ионной ловушки

$$\mathbf{F} = -c\mathbf{r}$$

$$\varphi(x, y, z) = \frac{\varphi_0}{2r_0^2} (\alpha x^2 + \beta y^2 + \gamma z^2)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 0$$

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{U_{RF} \cos(\Omega t)}{2r_0^2} (x^2 - y^2)$$



## Потенциал вращающегося седла

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{mgh_0}{2r_0^2} (x^2 \cos(2\Omega t) + 2xy \sin(2\Omega t))$$

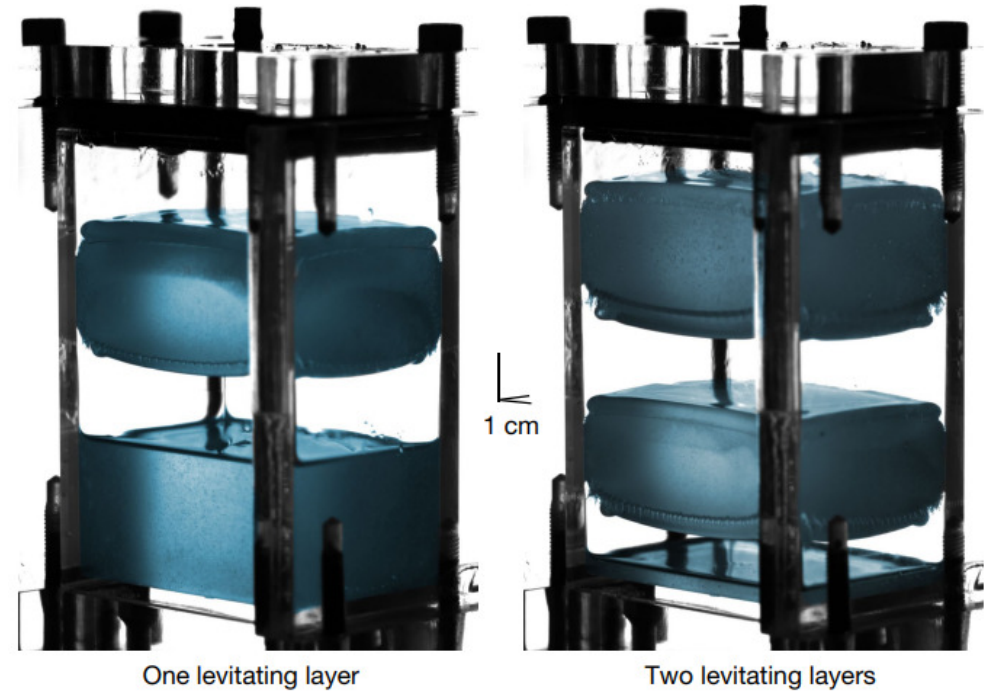
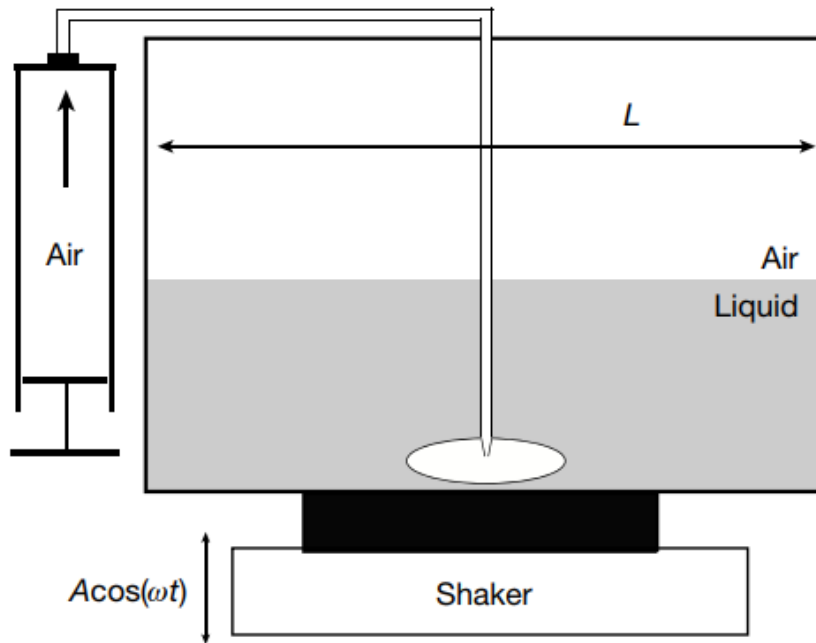
# Ловушка Поля

## Современное состояние

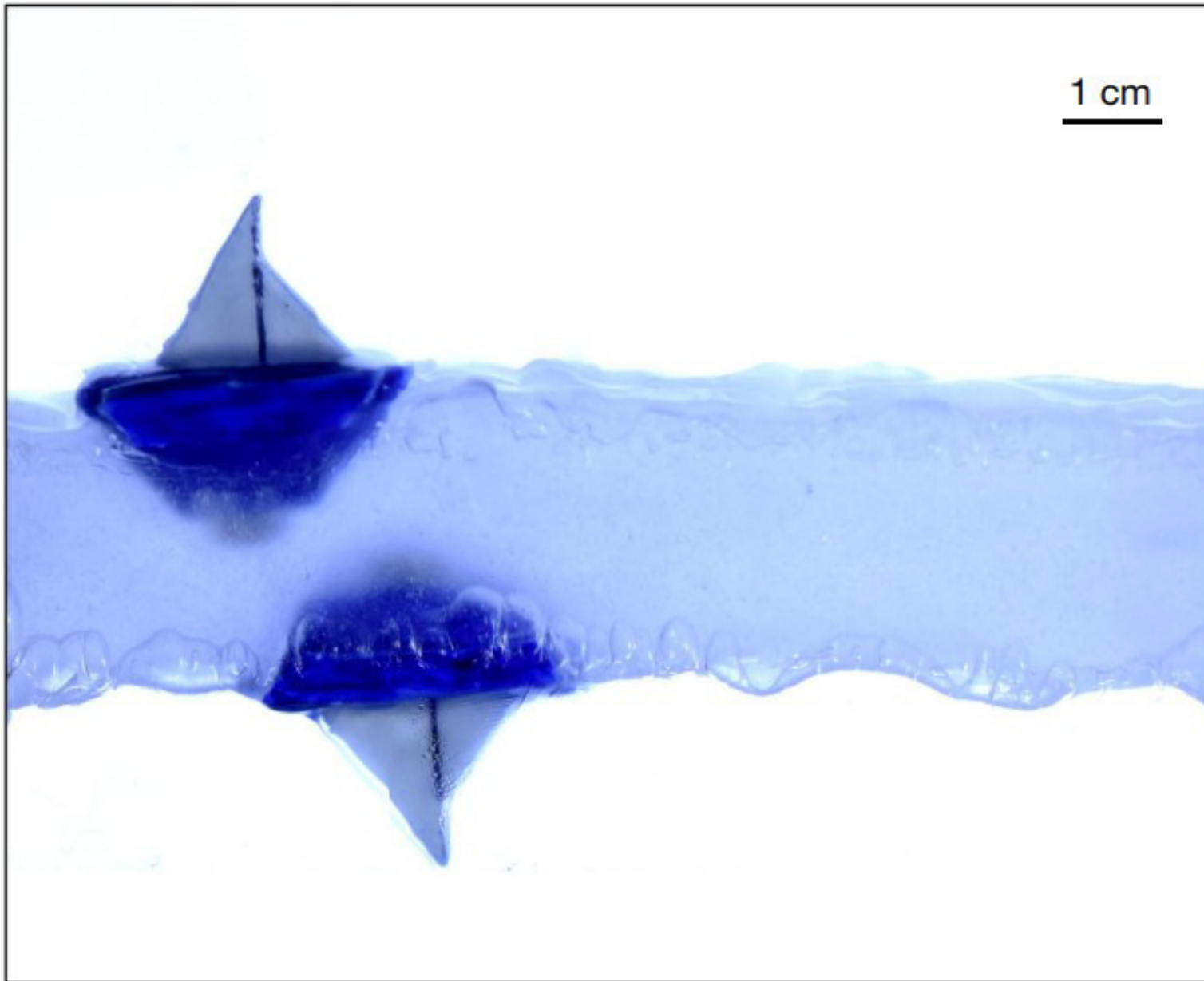
---

К настоящему времени исследователи продемонстрировали, что они могут манипулировать и считывать квантовые состояния отдельных ионов со все возрастающей точностью. Сегодня самые точные часы в мире основаны на частоте захваченного иона алюминия; и многие предлагаемые квантовые вычислительные платформы берут за основу захваченные ионы.

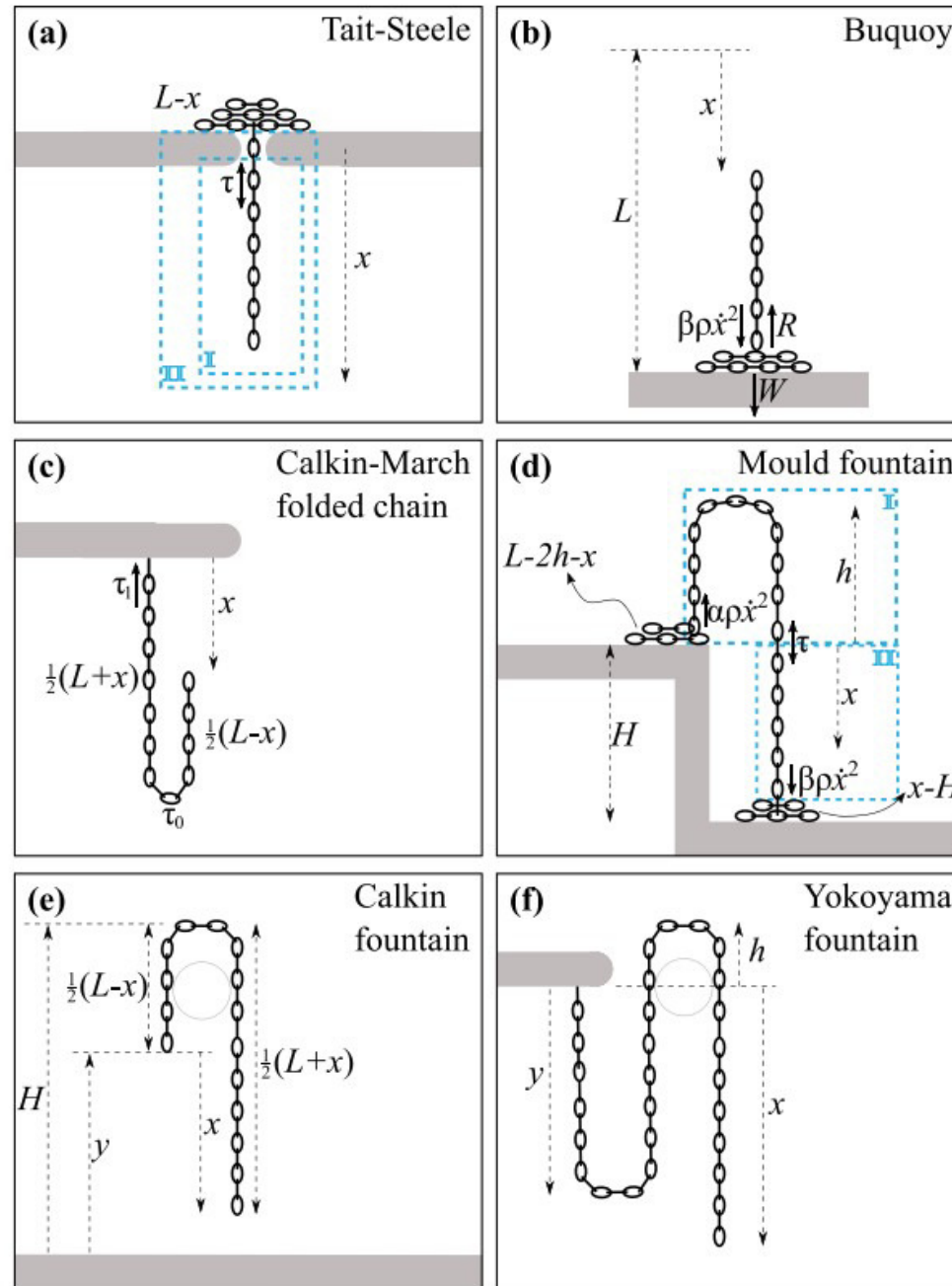
# Левитирующая жидкость



# Левитирующая жидкость



# Движение систем с переменной массой («цепочечный» фонтан)



СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!