

## ФИЛОСОФСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ЛАНДАУЭРА: ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПУТЬ К ВЕЛИКОМУ ОБЪЕДИНЕНИЮ

Э. Бормашенко<sup>1</sup>

*Ариэльский университет*

Принцип Ландауэра гласящий, что в любой вычислительной системе, независимо от ее физической реализации, при потере одного бита информации выделяется теплота в количестве по крайней мере  $W$  джоулей:  $W = k_B T \ln 2$ , создает основу для переосмысления фундаментальной связи между информацией, массой и энергией. Принцип Ландауэра укрепляет и обосновывает информационную метафизическую парадигму естествознания.

**Ключевые слова:** Принцип Ландауэра, информация, метафизические парадигмы физики, единство информации энергии и массы.

### Введение

Конец XX и начало XXI века ознаменовались утратой интереса практикующих физиков к философским основам естествознания [1]. Возобладал подход: «Shut down and calculate», видными адептами которого были Лев Давидович Ландау, Ричард Фейнман и Фримен Дайсон, невысоко ценившие метафизику [2]. На самом деле, парадигма, сводящаяся к «Shut down and calculate», представляет весьма определенную, но плохо отрефлексированную метафизику, основанную на предположении о жестком разграничении проблем физики и философии и непродуктивности метафизических поисков в решении проблем «чистой физики». В школе Ландау культивировалось полускрытое презрение к философии, имевшее в том числе и оздоровляющий характер, избавляя физиков от марксистской демагогии, подменившей и вытеснившей философию [3]. Утрата интереса к философии, однако, характерна не только для советской и постсоветской физики. Мой израильский опыт показывает, что коллеги-физики вовсе не озабочены основополагающими проблемами естествознания и охотно подчиняются формуле «Shut down and calculate», получая значимые, существенные, доброкачественные, но не эпохальные результаты. Именно такие результаты позволяют доить гранто-распределяющие структуры, обзаводиться высокими  $h$ -факторами и уверенно продвигаться по карьерной лестнице.

За утрату интереса к *архэ* пришлось и платить. Примерно полстолетия физики не сообщают о результатах, соизмеримых по значимости с открытием

---

<sup>1</sup> E-mail: edward@ariel.ac.il

теории относительности и квантовой механики [4]. Фундаментальная физика по необходимости подводит к границам познания и подвижной, зыбкой границе, отделяющей физику от метафизики [5]. Между тем к концу XX века наметился перелом, связанный с взаимопроникновением физики и теории информации, перелом метафизический, возвращающий физиков к вопросу о первокирпичике, первооснове мироздания. Этот перелом не в последнюю очередь связан с формулировкой принципа Ландауэра, которому и посвящена настоящая статья.

### **Принцип Ландауэра – путь к Великому Объединению, или еще одна формулировка Второго закона термодинамики?**

Принцип Ландауэра очень сжато может быть представлен так: «Информация – физична» [6–8]. Попытаемся придать этому утверждению более отчетливое содержание. Теория информации обычно подается в чисто математическом виде, в котором информация *вычисляется*, а вопрос о физическом носителе информации не ставится [9]. Пожалуй, первым исключением из правил была книга Леона Бриллюэна, вплотную подошедшего к тому, что сегодня в научной литературе именуется Принципом Ландауэра [10]. В самой общей своей формулировке Принцип Ландауэра гласит, что в любой вычислительной системе, независимо от ее физической реализации, при потере 1 бита информации выделяется теплота в количестве по крайней мере  $W$  Дж:  $W = k_B T \ln 2$ , где  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура, или, иными словами: стирание одного бита информации требует по меньшей мере  $W = k_B T \ln 2$  Дж энергии. Заметим, что запись и уничтожение одного бита информации не симметричны. Запись одного бита может требовать и меньшего количества энергии. Принцип Ландауэра проще всего иллюстрируется минимальным тепловым двигателем, предложенным в 1929 году Лео Сциллардом, в котором в качестве рабочего тела используется одна свободная частица, а нахождение частицы в определенной части рабочей камеры соответствует записи/уничтожению одного бита информации [11–12]. Не входя в подробности анализа «минимальной тепловой машины», заметим, что цикл Карно, проведенный подобным тепловым двигателем имеет коэффициент полезного действия, в точности совпадающий с КПД макроскопической тепловой машины, тем самым иллюстрируя «отрицательный» смысл теоремы Карно: КПД цикла Карно *не зависит* от рабочего тела, использованного тепловым двигателем [13].

Принцип Ландауэра в последнее время стал предметом ожесточенной дискуссии [14–15]. В частности, утверждалось, что он либо представляет собой перетолкование Второго закона термодинамики и, стало быть, избыточен; либо возвращает физиков к обсуждению Демона Максвелла [14–15]. Между тем справедливость принципа Ландауэра была проверена в ряде тонких и точных экспериментальных работ [16–18].

Мы же сосредоточимся на философских аспектах принципа Ландауэра. В первую очередь он существенно усиливает метафизическую позицию, выдвинутую Джоном Арчибальдом Уилером, афористически сводящуюся к “itfrombit”. Уилер полагал, что все фундаментальные для естествознания сущности имеют информационную основу [19]. Таким образом, в качестве *архэ* у Уилера выступает информация. А принцип Ландауэра именно и устанавливает связь между информацией и энергией – базовыми представлениями физики. Привлекая специальную теорию относительности, можно пойти и дальше: если принцип Ландауэра справедлив (подчеркнем, что он был тщательно экспериментально проверен [16–18]), то уничтожение одного бита информации влечет за собой соответствующее снижение массы системы  $\Delta M$ , определенное в соответствии со специальной теорией относительности следующим образом [20–22]:

$$\Delta M = \frac{k_B T \ln 2}{c^2}.$$

Заметим, что  $\Delta M$  в соответствии с представлениями теории относительности может быть и массой физического поля. Таким образом, делается существенный шаг к «великому» объединению информации, массы и энергии [20–22]. Метафизические последствия подобного объединения трудно переоценить. В частности, возникает принципиально новый онтологический подход, физический объект признается *существующим*, если он в состоянии нести энергию/массу, достаточные для записи/уничтожения одного бита информации. Асимметрия записи/уничтожения информации при этом приобретает принципиальное значение. Принцип Ландауэра позволяет и оценить информационную емкость Вселенной, которая оказывается огромной, но, что принципиально, – конечной [22]. Следует подчеркнуть, что принцип Ландауэра остается справедлив и для квантовых объектов [23].

### Заключение

Принцип Ландауэра, сформулированный в 1961 году Рольфом Ландауэром, как представляется, исподволь готовит смену метафизической парадигмы современного естествознания, полагая фундаментальной первоосновой природы – информацию. Тем самым принцип Ландауэра поддерживает и развивает идеи, выдвинутые Джоном Арчибальдом Уилером, и не вполне в шутку сводящиеся к “itfrombit”. Принцип Ландауэра устанавливает количественную связь между информацией, энергией и массой, делая важный шаг к «великому объединению», переосмысливая фундаментальную связь между информацией, массой и энергией. Принцип Ландауэра подводит фундамент под новую, информационную онтологию, сводя проблему существования физического объекта к возможности фиксации информации, относящейся к объекту. Принцип Ландауэра позволяет оценить информационную емкость Вселенной, которая оказывается принципиально-конечной.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. М.: Бином, 2009.
2. *Кузнецов С.И.* Стандартные модели: метафизика искаженной реальности // Метафизика. 2018. № 2 (28). С. 22–28.
3. *Каганов М.* К столетию со дня рождения Льва Давидовича Ландау // 7 Искусств. 2019. 9 (113).
4. *Smolin Lee.* The trouble with physics. Houghton Mifflin Co., Boston, USA, 2007.
5. *Севальников А.Ю.* Традиционная метафизики и квантовая механика // Метафизика. 2017. № 1 (23). С. 33–52.
6. *Landauer R.* Dissipation and heat generation in the computing process // IBM Journal of Research and Development. 1961. 5. 183.
7. *Landauer R.* Information is physical // Physics Today. 1991. 44 (5). 23–29.
8. *Landauer R.* Minimal energy requirements in communication // Science. 1996. 272. 1914–1918.
9. *Фурсов В.А.* Лекции по теории информации: учеб. пособие / под ред. Н.А. Кузнецова. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006.
10. *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации. М.: Физматгиз, 1960.
11. *Szilard L.* Über die Entropieverminderung in Einem Thermodynamischen System bei Eingriffen Intelligenter Wesen // Zeitschrift für Physik. 1929. 53 (11–12). 840–856.
12. *Lutz E., Ciliberto S.* Information: From Maxwell's demon to Landauer's eraser // Physics Today. 2015. 68 (9). 30–35.
13. *Bormashenko Ed., Shkorbatov A., Gendelman O.* The Carnot engine based on the small thermodynamic system: Its efficiency and the ergodic hypothesis // Am. J. Physics. 2007. 75. 911–915 .
14. *Norton J.D.* Eaters of the lotus: Landauer's principle and the return of Maxwell's demon // Studies in History & Philosophy Sci. 2005. 36 (2). P. 375–411.
15. *Norton J.D.* Waiting for Landauer // Studies in History & Philosophy Sci. B. 2011. 42. P. 184–198.
16. *Bérut A., Arakelyan A., Petrosyan A., Ciliberto S., Dillenschneider R., Lutz E.* Experimental verification of Landauer's principle linking information and thermodynamics // Nature. 2012. 483. 7388.
17. *Jun Y., Gavrilov M., Bechhoefer J.* High-Precision test of Landauer's Principle in a feedback trap // Phys. Rev. Lett. 2014. 113 (19). 190601.
18. *Gaudenzi R., Burzuri, E., Maegawa S., van der Zant H., Luis F.* Quantum Landauer erasure with a molecular nanomagnet // Nature Physics. 2018. 14 (6). 565–568.
19. *Wheeler J.A.* Information, Physics, Quantum: The Search for Links, Proceedings of the 3rd International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology. Tokyo, 1989. 354–368.
20. *Herrera L.* The mass of a bit of information and the Brillouin's Principle // Fluctuation & Noise Lett. 2014. 13 (1). 14500.
21. *Vopson M.M.* The mass-energy-information equivalence principle // AIP Adv. 2019. 9. 095206.
22. *Bormashenko Ed.* The Landauer Principle: Re-Formulation of the Second Thermodynamics Law or a Step to Great Unification? // Entropy. 2019. 21 (10). 918.
23. *Hilt S., Shabbir S., Anders J., Lutz E.* Landauer's principle in the quantum regime // Phys. Rev. E. 2011. 83. 030102(R).

## PHILOSOPHICAL MEANING OF THE LANDAUER PRINCIPLE: INFORMATION WAY TO THE GREAT UNIFICATION

**Ed. Bormashenko**

*Ariel University*

The Landauer principle quantifies the thermodynamic cost of the recording/erasure of one bit of information, as it was stated by its author: “information is physical” and it has an energy equivalent. In its narrow sense, the Landauer principle states that the erasure of one bit of information requires a minimum energy cost equal to  $W = k_B T \ln 2$ , where  $T$  is the temperature of a thermal reservoir used in the process and  $k_B$  is Boltzmann’s constant. The Landauer principle touches the deepest philosophical roots of physics, enabling re-shaping of physics with the informational basis.

**Keywords:** Landauer principle, information, metaphysical paradigms of physics, unity of energy and mass information.