

УДК 531.14

Зенон, Р. Декарт, Г. Галилей и парадокс Зенона «Стрела»**Измайлов Г.Н.**

gizmailov@mail.ru

ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова, Москва, Россия

Аннотация. Современная физика считает, что «парадоксы Зенона» разрешаются, если они сформулированы строго в смысле современной математики. При этом, многие ученые, историки и философы полагают, что парадоксы Зенона являются лишь кажущимися парадоксами, возникающими в результате плохо поставленных проблем и предвзятости человеческого рассуждения. Однако, именно формулировка Галилеем закона инерции, включенного позже в законы динамики Ньютона, как базового, позволяет иначе рассматривать парадокс Зенона о движущейся стреле.

Ключевые слова: Парадокс, Зенон, Галилей, система координат, инерциальная система отсчета

Введение. Обычно считается, что именно Г. Галилей словами «Математика — язык физики» совершил поворот в изучении физики, перейдя к количественному языку при описании физических процессов [2–4]. Для описания поступательного движения использовались декартовы координаты. Этот коренной поворот был закреплен И. Ньютоном в виде дифференциальных уравнений для формулировки законов движения небесных и земных тел, тепловых процессов [1]. Однако именно формулировка Галилеем закона инерции, включенного позже в законы динамики Ньютона, как базового, позволяет иначе рассматривать парадокс Зенона о движущейся стреле.

Методы и материалы; результаты. Визуально, можно подтвердить движение стрелы, рассматривая ее размазанный след на фотографии. Размытие изображения на фотографии — известный прием фотографов, «оживляющий» фотографируемый объект. Наоборот, чтобы сделать четкое изображение движущегося объекта, фотограф должен поворачивать фотоаппарат вслед за мчащимся объектом, но смазывая четкость изображения фона. Теперь можно вообразить подвижную платформу, на которой располагается наблюдатель, вдоль которой движется объект (стрела). Скорость платформы можно плавно изменять, чтобы сделать ее равной скорости стрелы. На платформе, наряду с наблюдателем расположены система декартовых координат и часы. Будем полагать, что скорость платформы вдоль выбранного направления постоянна и значительно меньше скорости света. Получим инерциальную систему отсчета (ИСО) классической механики. Тогда согласно утверждению Галилея об инерциальности движения, все механические процессы, наблюдаемые с этой ИСО, будут зарегистрированы как происходящие в неподвижной системе отсчета [6].

Заключение. Иными словами, наблюдатель на платформе, равномерно и прямолинейно движущейся относительно выпущенной стрелы со скоростью

значительно меньшей скорости света и равной скорости стрелы, будет видеть ее неподвижной, как и в утвержденном парадоксе Зенона [3, 5].

Отметим, что закон инерции – это качественный закон физики, он не использует математических терминов. Постулатом служит утверждение, что пространство однородно и изотропно, а время — однородно, тогда ИСО существуют. Теперь, согласно теореме Нетер, однородность пространства относительно сдвигов даст закон сохранения импульса, изотропность приведет к сохранению момента импульса, а однородность времени — к сохранению энергии движущегося тела [6]. Его формализации в специальной теории относительности дала возможность А. Эйнштейну качественно понять невозможность движения со скоростью большей скорости света и математически установить эквивалентность энергии и массы.

Список источников

- [1] Russell B. Mathematics and the metaphysicians. The World of Mathematics, 1956, pp. 1576–1590.
- [2] Фейнман Р.Ф., Лейтон Р.Б., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике*. Гл. 8. Москва, АСТ, 2024, т. 1–2, 448 с.
- [3] Zeno's paradoxes. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Zeno's_paradoxes (accessed 15.03.2025).
- [4] Paradoxe de la fleche. URL: https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_la_fleche (accessed 15.03.2025).
- [5] *Зенон Элейский*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Зенон_Элейский (дата обращения 15.03.2025).
- [6] *Инерциальная система отсчета*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Инерциальная_система_отсчета (дата обращения 15.03.2025).

Zeno, R. Descartes, G. Galileo and Zeno's paradox "Arrow"

Izmailov G.N.

gizmailov@mail.ru

V.A. Kotelnikov IRE RAS, Moscow, Russia

Abstract. Modern physics believes that “Zeno's paradoxes” are resolved if they are formulated strictly in the sense of modern mathematics. At the same time, many scientists, historians and philosophers believe that Zeno's paradoxes are only apparent paradoxes that arise as a result of poorly posed problems and biased human reasoning. However, it is Galileo's formulation of the law of inertia, later included in Newton's laws of dynamics as a basic one, that allows us to consider Zeno's paradox about a moving arrow differently.

Keywords: Paradox, Zeno, Galileo, coordinate system, inertial reference system

Introduction. It is generally believed that it was G. Galileo who, with the words “Mathematics is the language of physics,” made a turn in the study of physics, moving to a quantitative language in describing physical processes [2–4]. Cartesian coordinates were used to describe translational motion. This radical turn was consolidated by I. Newton in the form of differential equations for formulating the laws of motion of

celestial and terrestrial bodies, thermal processes [1]. However, it was Galileo's formulation of the law of inertia, later included in Newton's laws of dynamics as a basic one, that allows us to consider Zeno's paradox about the moving arrow differently.

Methods and materials; results. Visually, the movement of the arrow can be confirmed by examining its blurred trace in the photograph. Blurring the image in a photograph is a well-known technique of photographers, “bringing to life” the photographed object. Contrariwise, to make a clear image of a moving object, the photographer must turn the camera after the rushing object, but blurring the clarity of the background image. Now one can imagine a moving platform on which the observer is located, along which the object (arrow) moves. The speed of the platform can be smoothly changed to make it equal to the speed of the arrow. On the platform, along with the observer, there is a system of Cartesian coordinates and a clock. We will assume that the speed of the platform along the selected direction is constant and significantly less than the speed of light. We will obtain an inertial frame of reference of classical mechanics (IRF). Then, according to Galileo's assertion about the inertia of motion, all mechanical processes observed from this IRF will be registered as occurring in a stationary reference frame [6].

Conclusion. In other words, an observer on a platform, which is uniformly moving relative to a released arrow at a speed significantly less than the speed of light and equal to the speed of the arrow, will see it as stationary, as in the stated Zeno paradox [2, 5].

Note that the law of inertia is a qualitative law of physics, it does not use mathematical terms. The postulate is the assertion that space is homogeneous and isotropic, and time is homogeneous, then IRFs exist. Now, according to Noether's theorem, the homogeneity of space relative to shifts will give the law of conservation of momentum, isotropy will lead to conservation of angular momentum, and homogeneity of time — to conservation of the energy of a moving body [6]. Its formalization in the special theory of relativity allowed A. Einstein to qualitatively understand the impossibility of motion with a speed greater than the speed of light and to mathematically establish the equivalence of energy and mass.

References

- [1] Russell B. Mathematics and the metaphysicians. The World of Mathematics, 1956, pp. 1576–1590.
- [2] Feynman R.F., Leighton R.B., Sands M. Feynman lectures on Physics. Chapter 8. Moscow, AST Publ., 2024, vol. 1–2, 448 p. (In Russ.).
- [3] Zeno's paradoxes. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Zeno's_paradoxes (accessed 15.03.2025).
- [4] Paradoxe de la fleche. URL: https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_la_fleche (accessed 15.03.2025).
- [5] Zeno Elea. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Zeno_Elea (accessed 15.03.2025).
- [6] Inertial reference system. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Inertial_reference_frame (accessed 15.03.2025).