

Александр Плясовских

# Хронометрический метод определения координат Закон аберрации величин движущегося тела

Александр Петрович Плясовских

# ХРОНОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
# ЗАКОН АБЕРРАЦИИ ВЕЛИЧИН ДВИЖУЩЕГОСЯ ТЕЛА

Санкт-Петербург
Наукоемкие технологии
2026

УДК 629.7: 53.02
ББК 22.3
П40

Рецензенты:
*Евгений Александрович Синицын*, главный научный сотрудник АО «Навигатор», доктор технических наук, профессор;
*Сергей Васильевич Григорьев*, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова, кандидат технических наук, доцент.

Плясовских А. П. Хронометрический метод определения координат. Закон аберрации величин движущегося тела. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2026. – 62 с.

ISBN 978-5-00271-159-8

Представлен принципиально новый хронометрический метод определения координат движущегося объекта (космического аппарата, воздушного судна, транспортного средства), ближайшим аналогом которого является псевдодальномерный метод. Потенциальная погрешность хронометрического метода имеет порядок миллиметра. Хронометрический метод может применяться для разработки разнообразных высокоточных радиотехнических средств наблюдения, навигации и посадки в авиации и космонавтике. Представлен открытый автором физический закон аберрации величин движущегося тела, с использованием которого разработан хронометрический метод.

Монография предназначена для научных работников, инженеров, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, изучающих дисциплины «Навигация и управление воздушным движением», «Аэронавигация», «Радиолокация и радионавигация», «Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности», а также для разработчиков авиационных и космических радиотехнических систем.

ISBN 978-5-00271-159-8 © Плясовских А.П., 2026

# Оглавление

Аннотация ..... 4

Об авторе ..... 7

Введение ..... 12

1. Хронометрический метод определения координат ..... 16

2. Закон аберрации величин движущегося тела ..... 23

2.1. Аберрация расстояния от наблюдателя до материальной точки ... 27

2.2. Аберрация пройденного расстояния (пройденного пути) ..... 30

2.3. Аберрация длины движущегося тела ..... 32

2.4. Аберрация темпа хода движущихся часов ..... 36

2.5. Идеальная синхронизация неподвижных и движущихся часов ... 37

2.6. Физический смысл аберрации темпа хода движущихся часов . 39

2.7. Аберрация интервалов времени ..... 41

2.8. Взаимосвязь наблюдаемых и истинных показаний движущихся часов ..... 43

2.9. Аберрация скорости движения материальной точки ..... 44

2.10. Аберрация частоты излучения (эффект Доплера) ..... 46

2.11. Аберрация величин вращения и гармонических колебаний .... 47

2.12. Аберрация частоты периодического процесса ..... 53

2.13. Подтверждение достоверности закона аберрации ..... 54

2.14. Выводы ..... 56

Заключение ..... 59

Источники информации ..... 60

# Аннотация

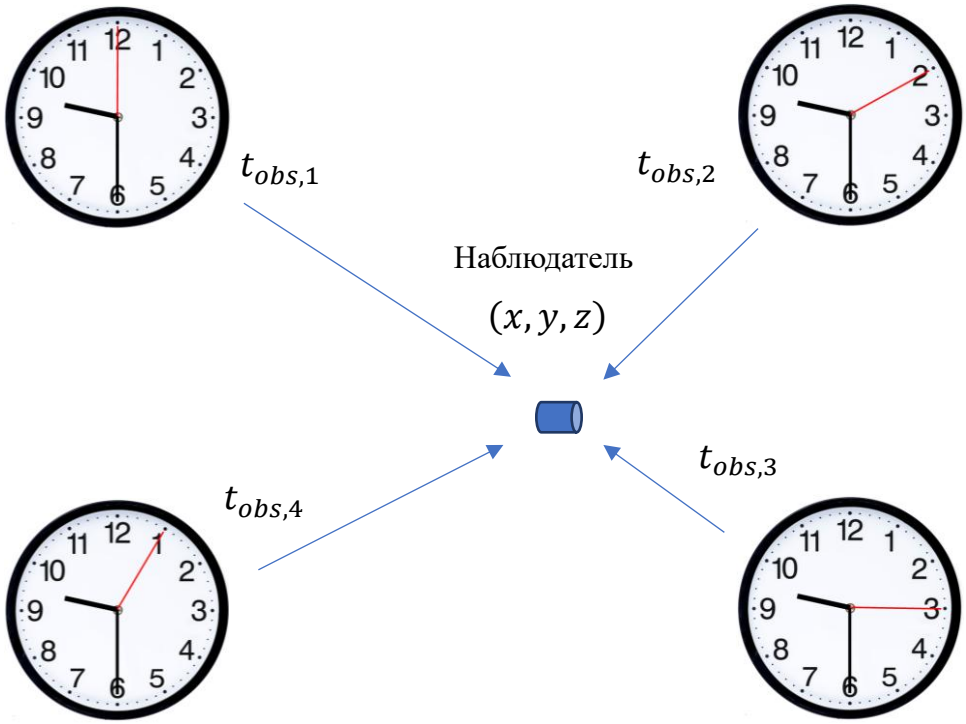
Представлен принципиально новый хронометрический метод определения координат движущегося объекта (космического аппарата, воздушного судна, транспортного средства), ближайшим аналогом которого является псевдодальномерный метод. Преимуществом хронометрического метода по сравнению с аналогами является то, что он обеспечивает возможность определения координат объекта при асинхронных (неодновременных) импульсных сигналах, излучаемых неподвижными или движущимися маяками. Потенциальная погрешность хронометрического метода имеет порядок миллиметра. Хронометрический метод может применяться для разработки разнообразных высокоточных радиотехнических средств наблюдения, навигации и посадки в авиации и космонавтике.

Представлен открытый автором физический закон аберрации величин движущегося тела, с использованием которого разработан хронометрический метод.

Предназначена для научных работников, инженеров, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, изучающих дисциплины «Навигация и управление воздушным движением», «Аэронавигация», «Радиолокация и радионавигация», «Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности», а также для разработчиков авиационных и космических радиотехнических систем.

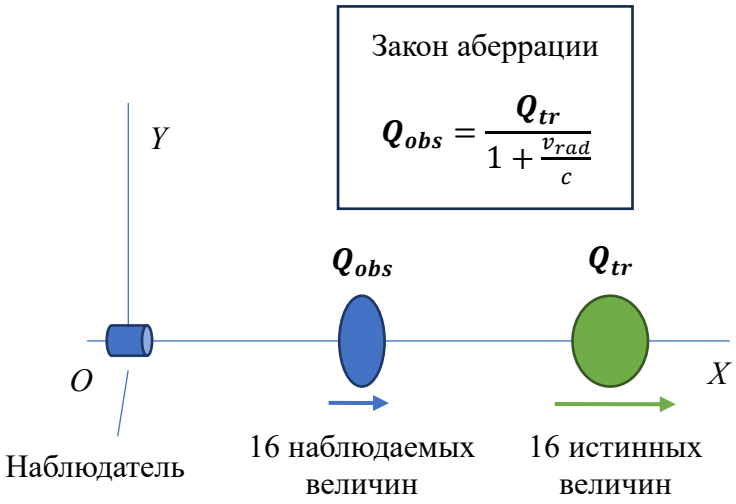
## Графическая аннотация

Хронометрический метод определения координат




По наблюдаемым показаниям четырех часов определяют координаты наблюдателя и момент времени измерения координат

## Закон аберрации величин движущегося тела




При движении тела относительно наблюдателя наблюдаемые величины тела прямо пропорциональны истинным величинам. Коэффициент пропорциональности равен $\frac{1}{1+\frac{v_{rad}}{c}}$, где $v_{rad}$ – радиальная скорость движения тела относительно наблюдателя.

**Ключевые слова**: материальная точка, наблюдатель, величина, истинная величина, наблюдаемая величина, истинная скорость движения, наблюдаемая скорость движения, закон аберрации величин движущегося тела, хронометрический метод определения координат.

## Об авторе



Фото: 2012 г.

Александр Петрович Плясовских – доктор технических наук, специалист в области навигации и управления воздушным движением (УВД), радиолокации и радионавигации. Профессиональные интересы: разработка средств авиационного наблюдения, средств организации воздушного движения, автоматизированных систем УВД, тренажеров для тренировки диспетчерского состава УВД.

Научные результаты автора опубликованы в российских изданиях ВАК, а также за рубежом (в том числе в издательстве Springer). Автор более 130 научных работ, нескольких монографий и учебных пособий, изобретений. Является научным руководителем аспирантов, научным консультантом докторантов, членом диссертационного совета.

**Наиболее значимые работы автора**:

1. Плясовских А. П. Хронометрический метод определения четырехмерных координат движущегося объекта с использованием радиовещательных маяков / А. П. Плясовских // Электросвязь. – 2025. – № 12. – С. 34–42. – DOI 10.34832/ELSV.2025.74.12.005.

В работе, основанной на теории аберрации величин движущихся тел, представлен принципиально новый хронометрический метод определения координат движущегося объекта (космического аппарата, воздушного судна, транспортного средства). Хронометрический метод обладает рядом преимуществ по сравнению с псевдодальномерным методом определения координат.

2. Плясовских А. П. Теория аберрации. Первая теория, альтернативная специальной теории относительности [Электронный ресурс]. — М.: Знание-М, 2023. — 503 с. — ISBN 978-5-00187-483-6. https://www.litres.ru/book/a-p-plyasovskih/teoriya-aberracii-pervaya-teoriya-alternativnaya-specialno-69424369/

3. Plyasovskikh A.P. Eshmuradov D.E. Theory of aberration – an alternative to the special theory of relativity. – T.: «Fan va texnologiyalar mashriyot-matbaa uyi» 2024, 432 p. – ISBN: 978-9910-748-53-0.

4. Плясовских А. П. Закон аберрации и его приложения в навигации и управлении воздушным движением. — М.: Знание-М, 2022. — 70 с. — ISBN 978-5-00187-223-8. https://www.litres.ru/a-p-plyasovskih/zakon-aberracii-i-ego-prilozheniya-v-navigacii-i-67775394/

В работах представлена разработанная автором теория аберрации величин движущихся тел, представляющая собой альтернативу специальной теории относительности. Теория аберрации подтверждена двумя экспериментами.

5. Плясовских А. П. и другие. Эксперимент по измерению наблюдаемого темпа хода движущихся часов //Автоматика и программная инженерия. 2022, №4(42) URL: http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2022-4.pdf

Это уникальная работа, написанная в соавторстве 100 человек (включая 8 докторов наук, 24 кандидата наук и 20 аспирантов). В работе изложены результаты эксперимента, подтверждающие закон аберрации величин движущегося тела, представленный в настоящей работе. Автор участвовал в эксперименте в качестве научного руководителя.

6. Плясовских А. П. Идеальная синхронизация множества движущихся с релятивистскими скоростями часов / А. П. Плясовских // Вестник метролога. – 2025. – № 4. – С. 3–8.

В работе представлена теория идеальной синхронизации множества движущихся с релятивистскими скоростями часов. До опубликования этой работы считалось, что такая синхронизация в принципе невозможна.

7. Плясовских А. П. Закон воспринимаемой опасности авиационных событий на примере управления воздушным движением / А. П. Плясовских, Ю. Ю. Михальчевский // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2024. – № 2(43). – С. 40–56.

8. Плясовских А. П. Подтверждение закона воспринимаемой опасности авиационных событий / А. П. Плясовских, Ю. Ю. Михальчевский // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2024. – № 3(44). – С. 56–69.

9. Плясовских А. П. Главная проблема безопасности полетов и ее решение // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2025. – № 3. – С. 14–31.

В работах представлена теория опасности полетов, впервые предложена количественная величина для количественного измерения опасности полетов воздушных судов. Значимость перехода к количественному измерению опасности полетов сравнима со значимостью перехода от качественной величины измерения температуры тела со значениями: «нормальная», «высокая», «жар», к количественному ее измерению с помощью термометра.

**Должность**: главный конструктор средств организации воздушного движения АО «НПО Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз-Антей» – Обуховский завод», г. Санкт-Петербург; профессор кафедры №22 «Организация и управление в транспортных системах» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский

государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова».

**Этапы жизненного пути:**

Родился в 1960 г.

1980 – окончил УАЦ ДОСААФ, офицер запаса.

Типы воздушных судов (ВС), на которых летал: Л-29, УТИ МиГ-15, МиГ-17.

1985 – Актюбинское высшее летное училище гражданской авиации (АВЛУГА), ленинский стипендиат. Специальность – эксплуатация воздушного транспорта, квалификация – инженер-пилот.

Типы ВС: Як-18Т, Як-40.

1985–1992 – Архангельский объединенный авиаотряд, Ленинградский объединенный авиаотряд.

Типы ВС: Ту-134А.

1990 – окончил аспирантуру ордена Ленина Академии гражданской авиации (ОЛАГА), направление подготовки – инженер-исследователь.

1991 – защитил кандидатскую диссертацию, кандидат технических наук, специальность: 05.22.13 Навигация и УВД.

1997–2007 – Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, доцент, профессор кафедры 22, заместитель начальника тренажерного центра.

2006 – защитил докторскую диссертацию, доктор технических наук, специальность: 05.22.13 Навигация и УВД.

2007–2024 – АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (АО «ВНИИРА»), г. Санкт-Петербург.

Должность: главный конструктор Научно-технического центра «Организация воздушного движения»,

2024 – настоящее время: Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз-Антей» - Обуховский завод», главный конструктор средств организации воздушного движения,

профессор кафедры № 22 «Организация и управление в транспортных системах» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова».

Область научных интересов: навигация и управление воздушным движением, безопасность полетов, аэронавигация, радиолокация, радионавигация, физика (кинематика околосветовых скоростей), математика (четырехмерное пространство-время для описания движения материальных объектов).

E-mail: al.plyasovskih@yandex.ru

# Введение

В работе представлен **принципиально новый метод радионавигации:** хронометрический метод определения координат движущегося объекта (космического аппарата, воздушного судна, транспортного средства) [1]. Этот метод разработан автором на основе закона аберрации величин движущегося тела, который также открыт автором [2-4].

Представленный хронометрический метод:

– обеспечивает возможность разработки принципиально новых (основанных на хронометрическом методе) разнообразных высокоточных радиотехнических средств наблюдения, навигации и посадки в авиации и космонавтике;

– обеспечивает дальнейшее развитие такой науки, как радионавигация, основной задачей которой является определение местоположения движущихся и неподвижных объектов;

– открывает новые возможности для написания широкого круга докторских и кандидатских диссертаций по специальностям 2.9.6 Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники, 2.2.16 Радиолокация и радионавигация и другим;

– открывает новые возможности написания широкого круга научных статей, что необходимо аспирантам, докторантам, их научным руководителям и консультантам, научно-педагогическому составу. Одной из основных задач аэронавигации и радионавигации является определение координат движущихся объектов (космических аппаратов, воздушных судов, транспортных средств).

**О названии метода**. Хронометрический метод определения координат объекта представляет собой метод определения

местоположения объекта в декартовой системе координат [1], который принципиально отличается от известных аналогичных методов.

Слово «хронометрический» происходит от двух древнегреческих слов: χρόνος (chronos) – «*время*» и μέτρον (metron) – *«мера»*, «*измерение*».

Таким образом, дословно «хронометрический метод» – это метод, основанный на точном измерении наблюдаемого времени.

Следует **различать математическую суть** (математическую составляющую) метода и его использование в прикладных целях, для измерения координат объекта на практике. Задача этой работы заключается в том, чтобы изложить только математическую суть хронометрического метода, не касаясь особенностей его прикладного практического использования.

**Аналогами** хронометрического метода являются псевдодальномерный метод (ближайший аналог), дальномерный и разностно-дальномерный методы.

Хронометрический метод ***отличается*** от аналогов тем, что измеряемым навигационным параметром в нем является *наблюдаемое время* часов, координаты которых известны. В псевдодальномерном методе навигационным параметром является псевдодальность до навигационного спутника, в дальномерном методе навигационным параметром является дальность до некоторой радионавигационной точки, в разностно-дальномерном методе навигационным параметром является разность расстояний между объектом и двумя радионавигационными точками.

*Наблюдаемое время* часов – это относительно новый термин, впервые введенный в *теории аберрации величин движущегося тела* (эта теория является первой теорией, альтернативной специальной

теории относительности; достоверность теории аберрации подтверждена экспериментально) [2-4].

**Понятия и определения**

В настоящей работе будем использовать следующие понятия и определения.

*Время часов (или просто время).* Показание часов.

*Наблюдаемое время* часов. Показание часов, наблюдаемое удаленным от них наблюдателем. Если, например, наблюдатель в какой-то момент сфотографирует циферблат наблюдаемых им часов, то на фотоснимке будут запечатлено наблюдаемое показание часов в момент съемки.

*Истинное время* часов. Показание часов, наблюдаемое неподвижным наблюдателем, находящимся в непосредственной близости от часов.

Наблюдаемое время часов **отличается** от *истинного времени* этих часов на величину задержки, которая требуется свету для того, чтобы от циферблата часов дойти до наблюдателя.

Истинное и наблюдаемое время часов *текут*. Скорость течения наблюдаемого времени отличается от скорости течения истинного времени при движении часов и наблюдателя друг относительно друга. Другими словами, наблюдаемый темп хода часов отличается от истинного темпа хода этих часов при относительном движении часов и наблюдателя.

*Темп (скорость) хода часов.* Быстрота изменения показаний часов. Темп хода часов со стрелочным циферблатом характеризует угловую скорость вращения стрелок на циферблате, а также линейную скорость движения концов стрелок по окружности циферблата. Чем больше темп хода часов, тем быстрее стрелки этих часов движутся по

циферблату. В настоящей работе будем считать, что темп хода часов является равномерным, и не имеет случайной составляющей. Однако темп хода разных часов может быть разным. Это может быть причиной рассинхронизации часов.

**Благодарность**. Пользуясь случаем, выражаем благодарность всем коллегам, с которыми проводилось обсуждение различных аспектов этой книги, а также Плясовских Галине Алексеевне за редактирование работы.

Выражаем особую благодарность Ивановскому Николаю Николаевичу за поддержку в издании этой книги.

# 1. Хронометрический метод определения координат

**Физическая суть хронометрического метода**

Физическую суть хронометрического метода можно проиллюстрировать на следующем примере.

Пусть в декартовой системе координат *OXYZ*, в точках с известными координатами $(x_i, y_i, z_i)$ расположены синхронизированные между собой неподвижные часы, где $i$ – номер часов, $i = \overline{1,4}$. В точке с неизвестными координатами $(x, y, z)$, которые требуется определить, находится наблюдатель. **Гипотетически** наблюдателем может быть человек, наблюдающий за показаниями часов с использованием оптических приборов. **На практике** в качестве наблюдателя может служить аппаратура, позволяющая методом косвенных измерений определять наблюдаемые показания часов в тот или иной момент времени.

Пусть в некоторый момент времени наблюдатель одновременно фиксирует наблюдаемые показания $t_{obs,i}$ всех четырех $i$-х часов. В обозначении $t_{obs,i}$ нижний индекс «*obs*» – от англ. *observe, наблюдать.*

Для наглядной иллюстрации гипотетически можно представить, что в некоторый момент наблюдатель с помощью панорамного фотоаппарата одновременно делает фотоснимки всех четырех часов, на которых запечатлены их наблюдаемые показания $t_{obs,i}$.

Наблюдаемые показания $i$-х часов являются измеряемым навигационным параметром при решении задачи определения местоположения наблюдателя хронометрическим методом.

Если расстояния $d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$ между наблюдателем и различными часами в момент наблюдения являются

разными, то и наблюдаемые показания $t_{obs,i}$ $i$-х часов также будут отличаться друг от друга.

Для практического использования хронометрического метода в авиационных навигационных системах наблюдаемое время нужно измерять с погрешностью до наносекунд ($10^{-9}$ с) или пикосекунд ($10^{-12}$ с).

**Базовая задача хронометрического метода**

Базовая задача хронометрического метода заключается в том, чтобы определить координаты наблюдателя $(x, y, z)$ и момент времени их измерения $t_m$ (рис. 1.1). В обозначении $t_m$ нижний индекс «$m$» – от англ. *measure*, *измерять*.

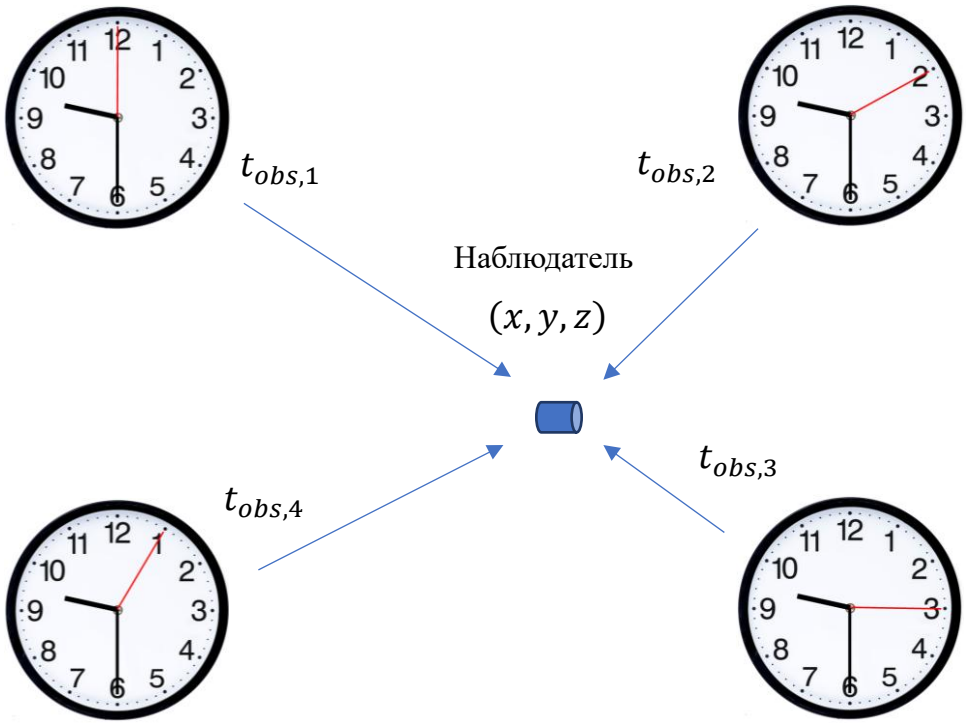



Рис. 1.1. Базовая задача хронометрического метода: по наблюдаемым показаниям четырех часов с известными координатами определяют координаты наблюдателя $(x, y, z)$ и момент времени измерения координат

Для решения базовой задачи составляют систему из четырех уравнений с четырьмя неизвестными

$$t_m - t_{obs,i} = \frac{1}{c}\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}, \qquad i = \overline{1,4},$$

или

$$\begin{cases} t_m - t_{obs,1} = \frac{1}{c}\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} \\ t_m - t_{obs,2} = \frac{1}{c}\sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} \\ t_m - t_{obs,3} = \frac{1}{c}\sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} \\ t_m - t_{obs,4} = \frac{1}{c}\sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} \end{cases}$$

где $c$ – скорость света.

Если $z$ – высота наблюдателя, то ограничением является неравенство $z \geq 0$, в соответствии с которым высота наблюдателя не может быть отрицательной.

Решая эту систему известными методами, находят координаты наблюдателя $(x, y, z)$ и момент времени измерения координат $t_m$.

Процесс определения координат объекта с использованием хронометрического метода представлен на рис. 1.2.

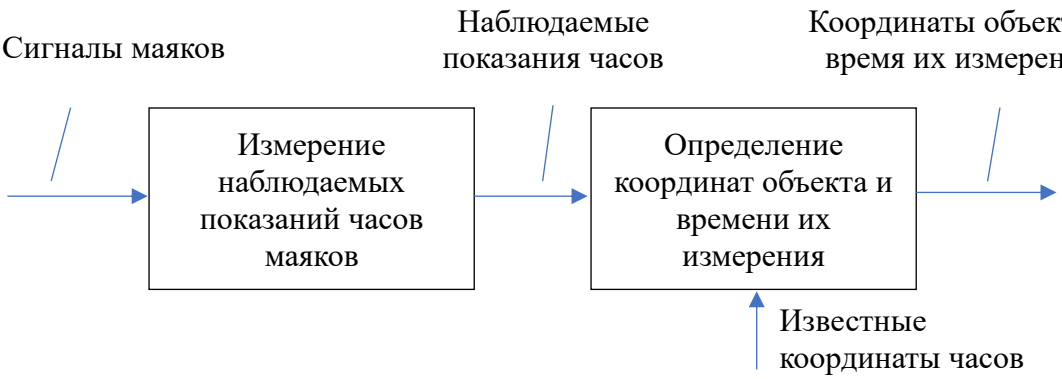



Рис. 1.2. Процесс определения координат объекта с использованием хронометрического метода

При решении практических задач определения координат объекта (например, летательного аппарата, ЛА) с использованием наземных радиомаяков, на борту ЛА наблюдаемые показания часов маяков вычисляют методом **косвенных измерений**, используя для этой цели передаваемые в сигналах маяков метки времени и бортовой измеритель интервалов времени (секундомер).

**Измерение наблюдаемых показаний часов с использованием передаваемых маяками сигналов с метками времени**

Измерение наблюдаемых показаний часов с использованием импульсных сигналов радиовещательных маяков осуществляется следующим образом.

Пусть маяк передает импульсный сигнал с меткой времени. Метка времени $t_{ts,i}$ – это высокоточное время передачи сигнала по часам, расположенным на $i$-м маяке. Нижний индекс «*ts*» в этом обозначении от англ. *timestamp, метка времени*.

На объекте в момент измерения его координат с помощью измерителя интервалов времени измеряют интервал времени $\Delta t_i$ от момента приема сигнала до момента измерения координат.

Наблюдаемое показание часов $i$-го маяка в момент $t_m$ измерения координат рассчитывают по формуле

$$t_{obs,i} = t_{ts,i} + \left(1 - \frac{v_{rad,i}}{c}\right) \cdot \Delta t_i,$$

где $v_{rad,i}$ – радиальная скорость объекта относительно $i$-го маяка, которую измеряют на объекте, например, с использованием эффекта Доплера.

**Преимущества**. *Преимуществом* хронометрического метода по сравнению с аналогами является возможность определения координат

летательного аппарата при асинхронных (неодновременных) импульсных сигналах маяков.

**Практическая значимость.** Хронометрический метод может применяться для разработки разнообразных высокоточных радиотехнических средств наблюдения, навигации и посадки в авиации и космонавтике.

Например, хронометрический метод ***позволяет*** разработать локальную многопозиционную навигационную систему сантиметровой точности с использованием наземных маяков, передающих асинхронные импульсные сигналы.

Кроме того, хронометрический метод **позволяет** разработать навигационную низкоорбитальную спутниковую систему, в которой используются асинхронные импульсные сигналы. В существующих глобальных навигационных системах ГЛОНАСС, GPS и других используются непрерывные сигналы.

**Точность хронометрического метода**

В метрологии *потенциальной точностью* измерений называют предельно достижимую точность на современном этапе развития научных знаний, техники и технологий. Потенциальная точность технически может быть не реализована на данном этапе развития технологии производства.

Следует различать потенциальную и предельную точность измерений. Под *предельной точностью* измерений понимают предельно достижимую точность, с которой может быть выполнено измерение физической величины на данном этапе развития науки и техники [7]. Другими словами, предельная точность измерений – это наивысшая точность, достигнутая в настоящее время.

Потенциальная точность измерений ограничена законами физики, которые нарушить невозможно, предельная точность измерений ограничена характеристиками измерительных приборов и их компонентов, которые разработаны на современном этапе развития науки, техники и технологий производства.

При использовании хронометрического метода в локальной многопозиционной навигационной системе, основанной на передаче импульсных сигналов наземными маяками, среднеквадратическую погрешность определения местоположения воздушного судна (ВС) в горизонтальной плоскости можно определить по формуле

$$\sigma_{xy} = \sigma_{Tobs} \times c \times HDOP, \quad (1.1)$$

где $\sigma_{Tobs}$ – среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых показаний (наблюдаемого времени) часов маяка многопозиционной системы на борту ВС;

*HDOP* – геометрический фактор точности определения местоположения ВС по горизонтали;

*c* – скорость света.

Среднеквадратическая погрешность определения местоположения ВС в вертикальной плоскости определяется по аналогичной формуле

$$\sigma_z = \sigma_{Tobs} \times c \times VDOP, \quad (1.2)$$

где *VDOP* – геометрический фактор точности определения местоположения ВС по вертикали.

Математическая точность хронометрического метода является абсолютной. Другими словами, математическая погрешность хронометрического метода равна нулю.

Потенциальная точность хронометрического метода определяется потенциальной точностью определения наблюдаемых

показаний (наблюдаемого времени) часов маяка многопозиционной системы на борту ВС. Теоретически в настоящее время наблюдаемые показания часов маяка с помощью фазового метода могут быть измерены с погрешностью до пикосекунды. При этом в соответствии с (1.1) и (1.2) потенциальная погрешность хронометрического метода имеет порядок миллиметра.

*Предельная точность* локальной многопозиционной навигационной системы – это предельно достижимая точность, которую можно обеспечить с использованием самой совершенной элементной базы и технических устройств (компонентов системы) с наилучшими характеристиками, которые доступны для разработки системы. Предельная погрешность определения наблюдаемых показаний часов имеет порядок десятка пикосекунд. Соответственно предельная погрешность хронометрического метода имеет порядок сантиметра.

## 2. Закон аберрации величин движущегося тела

**Хронометрический метод** разработан с использованием открытого автором закона аберрации величин движущегося тела, который впервые опубликован в монографии «Теория аберрации. Первая теория, альтернативная специальной теории относительности» [2].

Рассмотрим закон аберрации величин движущегося тела.

Суть этого закона состоит в том, что при движении материального тела относительно наблюдателя имеет место эффект изменения наблюдаемых величин этого тела по сравнению с аналогичными истинными величинами. В математической форме этот закон выражен формулой

$$\boldsymbol{Q}_{obs} = \frac{\boldsymbol{Q}_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.1}$$

где $\boldsymbol{Q}_{obs}$ и $\boldsymbol{Q}_{tr}$ – соответственно, наблюдаемые и истинные величины тела;

$v_{rad}$ и $c$ – соответственно, радиальная скорость движения тела относительно неподвижного наблюдателя и скорость света.

Радиальная скорость $v_{rad}$ определяется формулой

$$v_{rad} = \frac{dr_{tr}}{dt},$$

где $dr_{tr}$ – изменение истинного расстояния между телом и наблюдателем за интервал времени $dt$. Если с течением времени расстояние $r_{tr}$ между телом и наблюдателем увеличивается, радиальная скорость является положительной, т.е. $v_{rad} > 0$. Наоборот, если с течением времени расстояние $r_{tr}$ уменьшается, радиальная скорость является отрицательной, т.е. $v_{rad} < 0$.

Закону (2.1) подчиняются 16 величин движущегося тела, которые перечислены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Величины, подчиняющиеся закону аберрации (2.1)

| № п/п | Величина | Обозначения[1] | Соотношение |
|---|---|---|---|
| 1 | Расстояние от наблюдателя до материальной точки | $r_{obs}, r_{tr}$ | $r_{obs} = \frac{r_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 2 | Пройденный путь | $s_{obs}, s_{tr}$ | $s_{obs} = \frac{s_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 3 | Длина тела | $l_{obs}, l_{tr}$ | $l_{obs} = \frac{l_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 4 | Темп хода часов | $\mu_{obs}, {\mu_{tr}}^2$ | $\mu_{obs} = \frac{1}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 5 | Интервал времени | $\Delta t_{obs}, \Delta t_{tr}$ | $\Delta t_{obs} = \frac{\Delta t_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 6 | Скорость | $v_{obs}, v_{tr}$ | $v_{obs} = \frac{v_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 7 | Частота излучения (эффект Доплера) | $\nu_{obs}, \nu_{tr}$ | $\nu_{obs} = \frac{\nu_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 8 | Частота вращения точки | $n_{obs}, n_{tr}$ | $n_{obs} = \frac{n_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 9 | Круговая (угловая) частота вращения точки | $\omega'_{obs}, \omega'_{tr}$ | $\omega'_{obs} = \frac{\omega'_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |

| № п/п | Величина | Обозначения[1] | Соотношение |
|---|---|---|---|
| 10 | Угловая скорость вращения точки | $\omega_{obs}, \omega_{tr}$ | $\omega_{obs} = \frac{\omega_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 11 | Частота вращения тела | $n^*_{obs}, n^*_{tr}$ | $n^*_{obs} = \frac{n^*_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 12 | Круговая (угловая) частота вращения тела | $\omega^{*\prime}_{obs}, \omega^{*\prime}_{tr}$ | $\omega^{*\prime}_{obs} = \frac{\omega^{*\prime}_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 13 | Угловая скорость вращения тела | $\omega^*_{obs}, \omega^*_{tr}$ | $\omega^*_{obs} = \frac{\omega^*_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 14 | Частота прямолинейных колебаний материальной точки | $n''_{obs}, n''_{tr}$ | $n''_{obs} = \frac{n''_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 15 | Круговая (циклическая) частота прямолинейных колебаний материальной точки | $\omega''_{obs}, \omega''_{tr}$ | $\omega''_{obs} = \frac{\omega''_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |
| 16 | Частота периодического процесса | $f_{obs}, f_{tr}$ | $f_{obs} = \frac{f_{tr}}{1 + \frac{v_{rad}}{c}}$ |

[1] Индексы «*obs*» и «*tr*» соответствуют наблюдаемым и истинным величинам тела;

[2] Истинный темп хода часов равен единице, $\mu_{tr} = 1$.

Рассмотрим физическую суть соотношений закона аберрации (2.1) для представленных в таблице 2.1 величин.

Следует заметить, что формулы закона аберрации величин движущего тела не противоречат аналогичным формулам специальной теории относительности (СТО), поскольку рассматриваемые в настоящей работе движущиеся часы, по которым отсчитываются интервалы времени на теле, идеально синхронизированы с неподвижными часами. Понятие идеальной синхронизации движущихся и неподвижных часов приведено в [5] и рассмотрено в п. 2.5 настоящей работы. В СТО движущиеся часы идут медленнее, чем неподвижные часы.

## 2.1. Аберрация расстояния от наблюдателя до материальной точки

При равномерном прямолинейном движении материальной точки относительно наблюдателя имеет место эффект аберрации расстояния от наблюдателя до материальной точки. Суть этого эффекта заключается в следующем.

Рассмотрим движение материальной точки в инерциальной системе отсчета (ИСО), в начале координат $O$ которой расположен наблюдатель с часами. Пусть точка движется от наблюдателя с радиальной скоростью $v_{rad}$. Для простоты будем считать, что точка движется вдоль линии, соединяющей точку и наблюдателя (рис. 2.1).

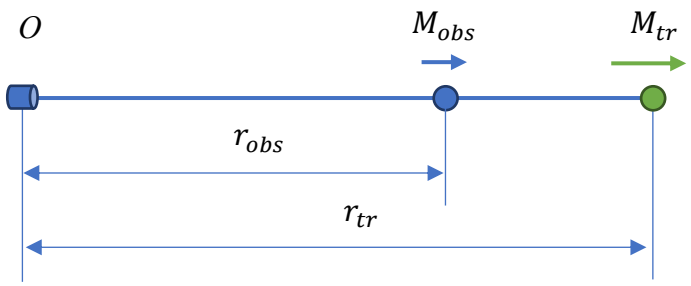



Рис. 2.1. Движение наблюдаемой с помощью радиолокатора материальной точки от наблюдателя. Наблюдаемое местоположение точки ближе, чем истинное местоположение

Пусть наблюдатель непрерывно наблюдает за местоположением точки (или, что то же самое, измеряет расстояние до точки и азимут точки) с помощью так называемого первичного обзорного радиолокатора, принцип работы которого заключается в обнаружении отражения передаваемых импульсов радиоизлучения.

В момент, когда наблюдатель с использованием радиолокатора будет видеть материальную точку в наблюдаемом местоположении $M_{obs}$ (рис. 2.1), материальная точка будет находиться в истинном местоположении $M_{tr}$. Отклонение наблюдаемого местоположения движущейся материальной точки от ее истинного местоположения представляет собой эффект аберрации местоположения этой точки. Причиной аберрации местоположения является движение точки и запаздывание информации о движущемся теле, которая поступает наблюдателю.

Назовем расстояние от наблюдателя до наблюдаемого местоположения материальной точки $M_{obs}$ *наблюдаемым расстоянием* от наблюдателя до точки, а расстояние от наблюдателя до истинного местоположения материальной точки $M_{tr}$ – соответственно *истинным расстоянием* от наблюдателя до точки.

Соотношение между наблюдаемым и истинным расстоянием в соответствии с законом аберрации величин движущегося тела (2.1) определяется формулой

$$r_{obs} = \frac{r_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.2}$$

где $r_{obs}$ и $r_{tr}$ – соответственно наблюдаемое и истинное расстояние от наблюдателя до материальной точки.

При движении точки от наблюдателя радиальная скорость является положительной, $v_{rad} > 0$. При этом в соответствии с (2.2) наблюдаемое расстояние $r_{obs}$ меньше истинного расстояния $r_{tr}$. Это значит, что наблюдаемое местоположение точки $M_{obs}$ находится ближе к наблюдателю, чем ее истинное местоположение $M_{tr}$ (рис. 2.1).

Теперь рассмотрим движение материальной точки к наблюдателю (рис. 2.2).

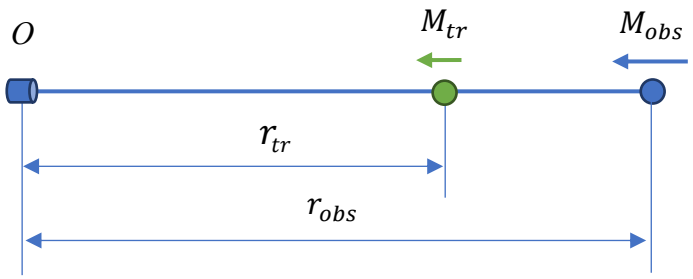



Рис. 2.2. Приближение к наблюдателю материальной точки, наблюдаемой с помощью радиолокатора. Наблюдаемое местоположение точки дальше истинного местоположения

В этом случае радиальная скорость точки принимает отрицательное значение, то есть $v_{rad} < 0$. При этом в соответствии с (2.2) наблюдаемое расстояние $r_{obs}$ больше истинного расстояния $r_{tr}$. Наблюдаемое местоположение точки $M_{obs}$ находится дальше ее истинного местоположения $M_{tr}$ (рис. 2.2).

## 2.2. Аберрация пройденного расстояния (пройденного пути)

Пусть наблюдатель следит за движением материальной точки с помощью радиолокатора, на экране которого отображается пройденный точками $M_{obs}$ и $M_{tr}$ путь за некоторый элементарный интервал времени (рис. 2.3).

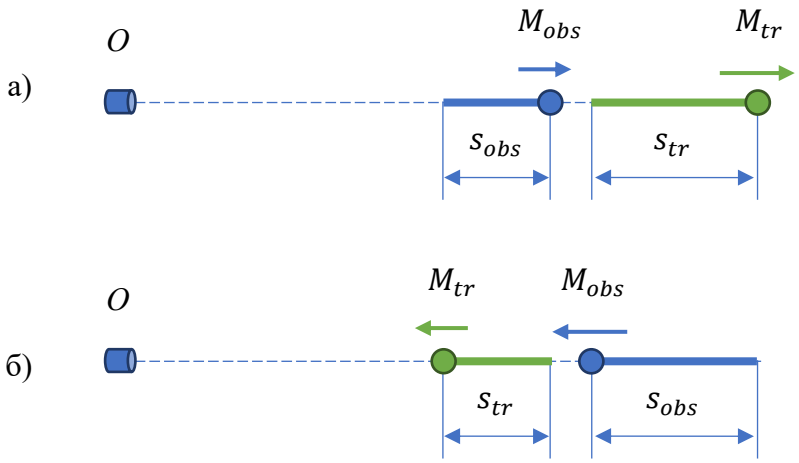



Рис. 2.3. Аберрация пройденного пути: а) движение точки от наблюдателя, наблюдаемый пройденный путь меньше истинного пройденного пути; б) движение точки к наблюдателю, наблюдаемый пройденный путь больше пройденного истинного пути

Обозначим $s_{obs}$ и $s_{tr}$ – соответственно наблюдаемый и истинный пройденный точкой путь. Соотношение между этими величинами выражается формулой

$$s_{obs} = \frac{s_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}. \qquad (2.3)$$

В соответствии с этой формулой при движении точки от наблюдателя, то есть при $v_{rad} > 0$, наблюдаемый пройденный путь меньше истинного пройденного пути (рис. 2.3, а). При движении точки к наблюдателю, то есть при $v_{rad} < 0$, наблюдаемый пройденный путь больше истинного пройденного пути (рис. 2.3, б).

## 2.3. Аберрация длины движущегося тела

При движении длинного тела относительно наблюдателя имеет место явление аберрации его длины.

Пусть, наблюдатель следит за движущемся телом с использованием гипотетического радиолокатора, который позволяет измерять одновременно расстояние от наблюдателя до различных точек на поверхности этого тела, а также азимут этих точек. Этот радиолокатор позволяет отображать на экране измеренное местоположение всех точек поверхности тела так, что наблюдатель может видеть наблюдаемую (видимую) форму этого тела при его движении.

Рассмотрим твердый стержень длиной $l_{tr}$, движущийся к наблюдателю в направлении своей длины, и точно такой же стержень, удаляющийся от наблюдателя (рис. 2.4). Скорость движения стержней равна $v_{rad}$.

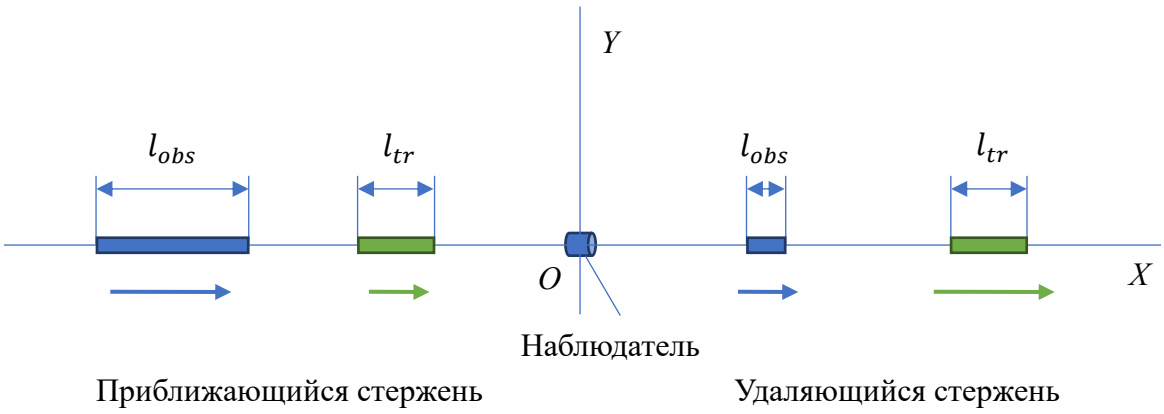



Рис. 2.4. Движение твердого стержня: зеленым цветом обозначены истинные размеры стержня, синим — наблюдаемые (видимые)

Взаимосвязь между наблюдаемой длиной стержня $l_{obs}$ и его истинной длиной $l_{tr}$ в соответствии с законом аберрации (2.1) выражается формулой

$$l_{obs} = \frac{l_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}. \quad (2.4)$$

В соответствии с этой формулой при движении стержня от наблюдателя, то есть при $v_{rad} > 0$, наблюдаемая длина стержня меньше его истинной длины. При движении стержня к наблюдателю, то есть при $v_{rad} < 0$, наблюдаемая длина стержня больше его истинной длины.

В соответствии с формулой (2.4) можно увидеть, что наблюдаемая длина метровой линейки, движущейся в направлении своей длины, равна:

$$l_{obs} = \frac{1}{1+\frac{v_{rad}}{c}}.$$

Так, например, метровая линейка при удалении от наблюдателя в направлении своей длины со скоростью, близкой к скорости света, будет наблюдаться 50-сантиметровой. Метровая линейка, движущаяся к наблюдателю со скоростью, равной половине скорости света, будет наблюдаться как двухметровая. При скорости 0,999 *c* приближающаяся к наблюдателю метровая линейка будет наблюдаться как километровый шест.

**Размеры движущихся объемных тел**

Рассмотрим наблюдаемые размеры объемных твердых тел, движущихся относительно наблюдателя. Пусть, например, твердое тело представляет собой шар диаметром *R* (рис. 2.5).

Аналогично рассмотренному выше случаю с движением стержня, можно получить, что продольный наблюдаемый размер шара (вдоль линии движения) равен

$$l_{obs} = \frac{l_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}} = \frac{2R}{1+\frac{v_{rad}}{c}},$$

где $l_{tr} = 2R$ – истинный размер (диаметр) шара.

Движущийся шар будет наблюдаться как фигура вращения, по форме напоминающая эллипсоид вращения с полуосями

$$\left(\frac{R}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, R, R\right).$$

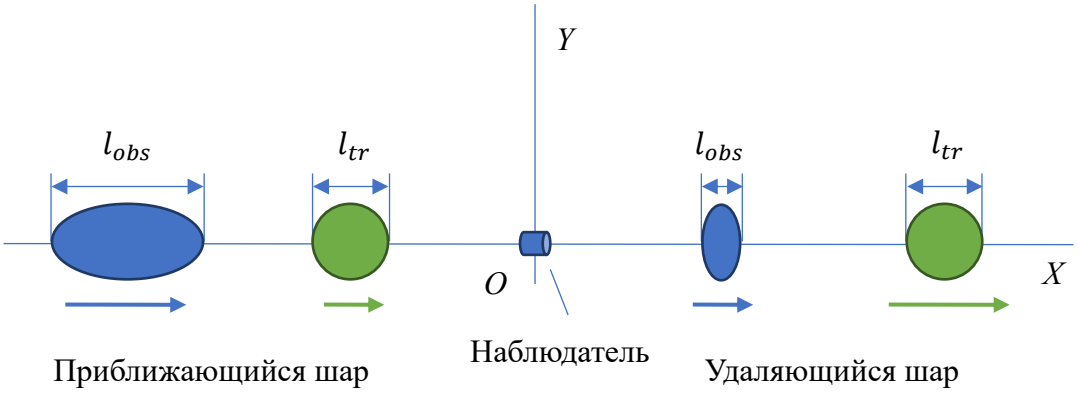



Рис. 2.5. Движение твердого шара. Зеленым цветом обозначены истинные размеры шара, синим — наблюдаемые

Таким образом, наблюдаемый шар при удалении от наблюдателя будет наблюдаться сплюснутым, сжатым вдоль линии движения. При движении к наблюдателю наблюдаемый шар вытягивается вдоль линии движения. При движении шара изменяются только его наблюдаемые размеры. Истинные размеры шара остаются без изменений.

В соответствии с полученными формулами, шар, удаляющийся от наблюдателя со скоростью света, будет наблюдаться сплюснутым, при этой скорости 1-метровый в диаметре шар будет наблюдаться как эллипс толщиной 50 см.

Напротив, при приближении шара к наблюдателю, при стремлении истинной скорости к скорости света, наблюдаемые размеры шара вдоль линии движения будут бесконечно возрастать (как и его наблюдаемая скорость движения). Так, например, шар диаметром 1 м, приближающийся со скоростью 0,99 $c$, будет наблюдаться как эллипсоид вращения длиной (вдоль линии движения) 100 м. То есть приближающийся на такой скорости шар примет длинную сигарообразную форму.

## 2.4. Аберрация темпа хода движущихся часов

Рассмотрим такую величину, как наблюдаемый темп хода времени движущихся относительно наблюдателя часов $\mu_{obs}$.

Пусть часы находятся на движущейся относительно наблюдателя материальной точке, и наблюдатель следит за показаниями этих часов с использованием видеоизображения, которое транслируется ему с помощью радиосвязи. Другими словами, пусть показания расположенных на движущейся точке часов снимает видеокамера покадровой съемки, а снятые кадры передаются наблюдателю с помощью радиоканала передачи данных.

Взаимосвязь между наблюдаемым темпом хода времени часов $\mu_{obs}$ и истинным темпом хода времени этих часов $\mu_{tr}$ определяется формулой

$$\mu_{obs} = \frac{\mu_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}.$$

Если истинный темп хода времени равен единице, $\mu_{tr} = 1$, то наблюдаемый темп хода времени равен

$$\mu_{obs} = \frac{1}{1+\frac{v_{rad}}{c}}. \qquad (2.5)$$

Физический смысл величины $\mu_{obs}$ – это интервал времени, отсчитанный по наблюдаемым показаниям движущихся часов за одну секунду истинного времени этих же часов.

Наблюдаемый и истинный темп хода часов – это безразмерные величины.

## 2.5. Идеальная синхронизация неподвижных и движущихся часов

Для пояснения физического смысла аберрации хода движущихся часов нам потребуется понятие идеальной синхронизации неподвижных и движущихся часов, которое введено в работе автора [5].

Под идеальной синхронизацией будем понимать такую синхронизацию часов, при которой часы, будучи теоретически абсолютно точно синхронизированными один раз, останутся синхронизированными неопределенно долго (теоретически вечно).

**Определение движущихся часов, идеально синхронизированных с неподвижными часами**

Перейдем к рассмотрению синхронизации неподвижных и движущихся часов.

Рассмотрим часы *A*, движущиеся в непосредственной близости от бесконечного ряда предварительно синхронизированных неподвижных часов, которые расположены на оси *X* инерциальной системы отсчета (рис. 2.6).

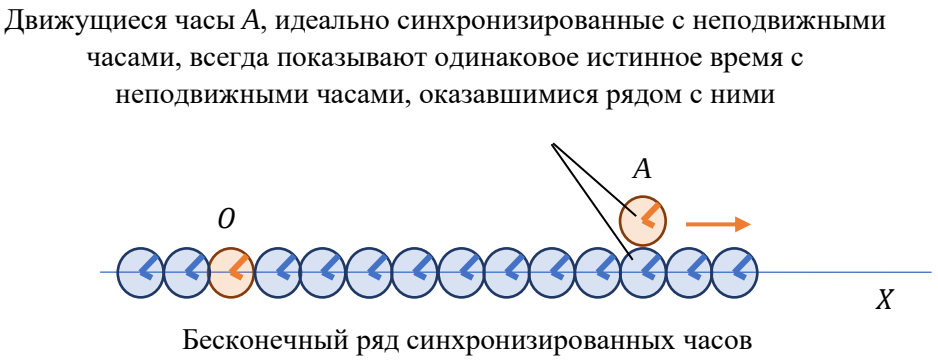



Рис. 2.6. Движение часов *A* идеально синхронизированных со всеми неподвижными часами

Возле каждых неподвижных часов с известной координатой $x$ имеется датчик, фиксирующий показания $t_{tr\,A}$ часов $A$ в момент прохождения их мимо него, а также показания $t_{tr\,x}$ ближайших к датчику неподвижных часов на оси $X$.

Будем считать, что часы $A$ *идеально синхронизированы со всеми неподвижными часами* на оси $X$, если показания часов $A$ всегда совпадают с показаниями ближайших неподвижных часов при прохождении мимо них с любой скоростью и с любым ускорением. Другими словами, для идеально синхронизированных часов всегда выполняется равенство $t_{tr\,x} = t_{tr\,A}$, где $x$ – координата часов $A$ и неподвижных часов, оказавшихся рядом с ними.

Итак, движущиеся часы, идеально синхронизированные с неподвижными, всегда показывают одинаковое время с часами, мимо которых они проходят, независимо от скорости и ускорения. Это главное свойство движущихся часов, идеально синхронизированных с неподвижными часами.

## 2.6. Физический смысл аберрации темпа хода движущихся часов

Пусть в точке *O* (начале координат) ИСО находится наблюдатель. Вдоль оси *X* системы отсчета движутся часы *A*, которые идеально синхронизированы с неподвижными часами *O,* рядом с которыми расположен наблюдатель (рис. 2.6). В этом случае истинный темп хода движущихся часов *A* равен истинному темпу хода неподвижных часов *O,* то есть $\mu_{tr\,A} = \mu_{tr\,O} = 1$.

При этом наблюдаемый темп хода движущихся часов *A* определяется формулой (2.5) (для удобства приведем ее повторно):

$$\mu_{obs} = \frac{1}{1+\frac{v_{rad}}{c}}.$$

В соответствии с (2.5) при движении часов от наблюдателя, то есть при $v_{rad} > 0$, наблюдаемый темп хода времени меньше единицы. Это значит, что наблюдаемые показания движущихся от наблюдателя часов идут медленнее по сравнению с неподвижными часами, расположенными рядом с наблюдателем. При движении часов к наблюдателю, то есть при $v_{rad} < 0$, наблюдаемый темп хода времени больше единицы. Это значит, что наблюдаемые показания движущихся к наблюдателю часов идут быстрее по сравнению с неподвижными часами.

Рассмотрим следующий пример.

Пусть часы движутся от наблюдателя со скоростью света, то есть $v_{rad} = 1$ с. При этом наблюдаемый темп хода часов равен

$$\mu_{obs} = \frac{1}{1+1} = 0{,}5.$$

Это значит, что наблюдаемые показания этих часов идут в 2 раза медленнее по сравнению с показаниями неподвижных часов.

Если часы движутся к наблюдателю с радиальной скоростью $v_{rad} = -0{,}8$ с, то в соответствии с формулой (2.5)

$$\mu_{obs} = \frac{1}{1-0{,}8} = 5.$$

Это означает, что наблюдаемая секундная стрелка движущихся к наблюдателю часов будет двигаться с темпом 5 секунд за 1 секунду по неподвижным часам. Другими словами, наблюдатель зафиксирует, что наблюдаемые показания движущихся к нему часов идут в 5 раз быстрее по сравнению с неподвижными часами.

## 2.7. Аберрация интервалов времени

Из соотношения (2.5), выражающего наблюдаемый темп хода движущихся относительно наблюдателя часов, следует, что интервал времени, отсчитанный по наблюдаемым показаниям движущихся часов, связан с соответствующим интервалом истинного времени этих же часов очевидным соотношением

$$\Delta t_{obs} = \frac{\Delta t_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.6}$$

где $\Delta t_{obs}$ – интервал времени, отсчитанный по наблюдаемым показаниям движущихся часов;

$\Delta t_{tr}$ – истинный интервал времени, отсчитанный по показаниям этих же часов.

Если движущиеся часы идеально синхронизированы с неподвижными часами, которые расположены рядом с наблюдателем, то величина $\Delta t_{tr}$ равна интервалу времени, отсчитанному по показаниям неподвижных часов.

Другими словами, если по неподвижным часам рядом с наблюдателем пройдет интервал времени $\Delta t_{tr}$, то при этом по наблюдаемым показаниям движущихся часов пройдет интервал времени $\Delta t_{obs}$, причем величины $\Delta t_{tr}$ и $\Delta t_{obs}$ связаны соотношением (2.6).

Рассмотрим следующий пример.

Пусть на космическом корабле расположены часы, идеально синхронизированные с неподвижными часами. Показания этих часов в режиме реального времени транслируются по видеосвязи на Землю.

Допустим, корабль летит от Земли со скоростью света. За то время, когда по земным часам пройдет 30 сек, по наблюдаемым показаниям часов корабля пройдет

$$\Delta t_{obs} = \frac{\Delta t_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}} = \frac{30}{2} = 15 \text{ сек.}$$

В этом случае наблюдаемые показания часов корабля будут идти в 2 раза медленнее земных часов.

Если же космический корабль приближается к Земле со скоростью $v_{rad} = -0{,}8\ c$, то за 30 сек, отсчитанных по земным часам, по наблюдаемым показаниям часов космического корабля пройдет

$$\Delta t_{obs} = \frac{\Delta t_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}} = \frac{30}{0{,}2} = 150 \text{ сек.}$$

В данном случае наблюдаемые показания часов корабля будут идти в 5 раз быстрее земных часов.

## 2.8. Взаимосвязь наблюдаемых и истинных показаний движущихся часов

Взаимосвязь между истинными и наблюдаемыми показаниями движущихся часов выражается соотношением

$$t_{tr} = t_{obs} + \frac{r_{tr}}{c+v_{rad}} = t_{obs} + \frac{r_{obs}}{c}, \qquad (2.7)$$

где $r_{tr}$ и $r_{obs}$ – соответственно истинное и наблюдаемое расстояние от часов до наблюдателя в момент наблюдения.

Соотношение (2.7) позволяет определить истинные показания движущихся часов по их наблюдаемым показаниям.

## 2.9. Аберрация скорости движения материальной точки

Рассмотрим движение материальной точки относительно наблюдателя (рис. 2.1, 2.2).

Введем следующие определения.

*Истинная скорость* движения материальной точки – это скорость перемещения истинного местоположения $M_{tr}$ точки относительно наблюдателя.

*Наблюдаемая скорость* движения материальной точки – это скорость перемещения наблюдаемого местоположения $M_{obs}$ точки относительно наблюдателя.

Взаимосвязь между наблюдаемой скоростью движения материальной точки $v_{obs}$ и ее истинной скоростью $v_{tr}$ определяется формулой

$$v_{obs} = \frac{v_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}. \qquad (2.8)$$

Из (2.8) следует, что при движении точки от наблюдателя, то есть при $v_{rad} > 0$, наблюдаемая скорость движения точки меньше ее истинной скорости. Напротив, при движении точки к наблюдателю, то есть при $v_{rad} < 0$, наблюдаемая скорость движения точки больше ее истинной скорости.

Рассмотрим примеры.

Из (2.8) следует, что при удалении материальной точки от наблюдателя с истинной скоростью, равной $v_{rad} = 0{,}999\,c$, ее наблюдаемая скорость будет почти равна половине скорости света.

Если материальная точка (например, наблюдаемая в телескоп звезда) движется к Земле со скоростью $v_{rad} = -0{,}9$ скорости света, то ее наблюдаемая скорость $v_{obs}$ будет в 10 раз больше. Иначе говоря, на экране гипотетического радиолокатора мы будем видеть ее со

скоростью движения равной 9 $c$, то есть в 9 раз превышающей скорость света.

Если же звезда движется к Земле с истинной скоростью $v_{rad} = -0{,}999\,c$, то наблюдаемая скорость ее движения будет превосходить скорость света в 999 раз.

## 2.10. Аберрация частоты излучения (эффект Доплера)

Эффект Доплера является частным случаем закона аберрации величин движущегося тела.

Эффект Доплера — это физическое явление, в соответствии с которым происходит изменение частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем, при движении источника колебаний и наблюдателя относительно друг друга.

Пусть рядом с движущимися относительно наблюдателя часами размещен передатчик. Движущиеся часы идеально синхронизированы с неподвижными часами, возле которых расположен наблюдатель. Передатчик передает электромагнитные волны с истинной частотой $\nu_{tr}$ Гц, причем частота определяется по движущимся часам, расположенным рядом с передатчиком. Таким образом, за 1 секунду по движущимся часам передатчик передает $\nu_{tr}$ волн излучения.

Приемник, расположенный рядом с наблюдателем, примет электромагнитные волны с частотой

$$\nu_{obs} = \frac{\nu_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}. \quad (2.9)$$

В соответствии с (2.9) в случае движения передатчика от неподвижного приемника, т.е. при $v_{rad} > 0$, принимаемая частота электромагнитных волн будет меньше частоты передаваемых волн, $\nu_{obs} < \nu_{tr}$.

В случае движения передатчика к приемнику, при $v_{rad} < 0$, принимаемая частота электромагнитных волн будет больше частоты передаваемых волн, $\nu_{obs} > \nu_{tr}$.

## 2.11. Аберрация величин вращения и гармонических колебаний

Рассмотрим вращательное движение материальной точки вокруг центра вращения, причем центр вращения движется относительно наблюдателя равномерно и прямолинейно.

**Угловая скорость**

*Угловая скорость* – векторная величина, характеризующая быстроту и направление вращения материальной точки или абсолютно твердого тела относительно оси вращения. Модуль угловой скорости для вращательного движения совпадает с мгновенной угловой частотой вращения.

Пусть материальная точка $P$ равномерно вращается по окружности радиуса $A$ с постоянной угловой скоростью $\omega_{tr}$ (рис. 2.7).

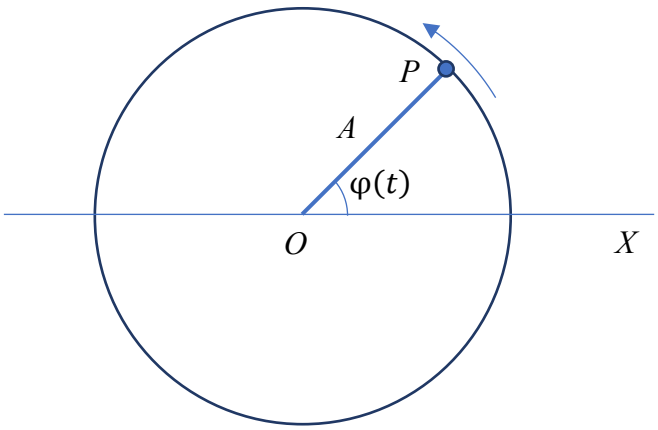



Рис. 2.7. Вращение материальной точки вокруг центра $O$

Угловая скорость $\omega_{tr}$ при равномерном вращении равна производной угла поворота $\varphi_{tr}$ по времени

$$\omega_{tr} = \frac{d\varphi_{tr}}{dt}.$$

**Круговая частота**

Круговая или угловая частота (синонимы: радиальная частота, циклическая частота) — это скалярная физическая величина, мера частоты вращательного или колебательного движения. В случае вращательного движения угловая частота равна модулю вектора угловой скорости. Угловая частота в системах СИ и СГС выражается в радианах в секунду, её размерность обратна размерности времени (радианы безразмерны).

Круговая частота $\omega'$ связана с частотой вращения $n$ соотношением

$$\omega' = 2\pi n.$$

Круговая частота равна числу оборотов за $2\pi$ секунд.

Рассмотрим наблюдение вращающейся материальной точки *P* по окружности.

Истинная частота вращения (отношение числа оборотов ко времени) равна $n_{tr}$.

Будем считать, что за вращением материальной точки (рис. 2.8) следит наблюдатель, который расположен на оси вращения и находится на значительном удалении от центра вращения *O*. Другими словами, ось зрения (наблюдения) наблюдателя перпендикулярна плоскости вращения материальной точки. Центр вращения *O* материальной точки движется относительно наблюдателя со скоростью $v_{rad}$.

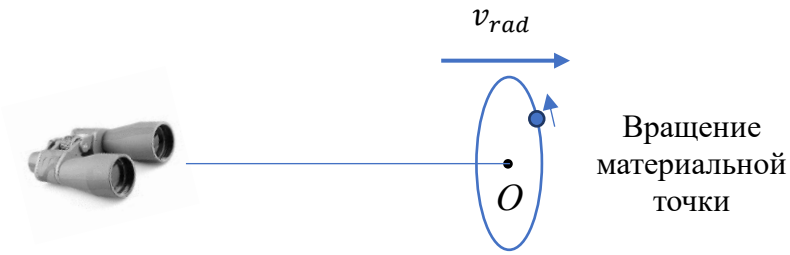



Рис. 2.8. Вращение материальной точки

В соответствии с законом аберрации (2.1) будут иметь место следующие соотношения

$$n_{obs} = \frac{n_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.10}$$

где $n_{tr}$ и $n_{obs}$ – соответственно истинная частота и наблюдаемая частота вращения точки;

$$\omega'_{obs} = \frac{\omega'_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.11}$$

где $\omega'_{tr}$ и $\omega'_{obs}$ – соответственно истинная круговая частота и наблюдаемая круговая частота вращения точки;

$$\omega_{obs} = \frac{\omega_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.12}$$

где $\omega_{tr}$ и $\omega_{obs}$ – соответственно истинная угловая скорость и наблюдаемая угловая скорость вращения точки.

**Наблюдение вращающегося тела**

Пусть наблюдатель рассматривает движущееся относительно него вращающееся тело. Радиальная скорость движения равна $v_{rad}$. Этим телом может быть, например, гипотетический вращающийся астероид, за которым астроном следит с помощью телескопа.

В соответствии с законом аберрации (2.1) имеют место следующие соотношения:

$$n^*_{obs} = \frac{n^*_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \quad (2.13)$$

где $n^*_{tr}$ и $n^*_{obs}$ – соответственно истинная частота и воспринимаемая наблюдателем частота вращения тела;

$$\omega^{*\prime}_{obs} = \frac{\omega^{*\prime}_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \quad (2.14)$$

где $\omega^{*\prime}_{tr}$ и $\omega^{*\prime}_{obs}$ – соответственно истинная угловая скорость и наблюдаемая угловая скорость вращения тела;

$$\omega^*_{obs} = \frac{\omega^*_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \quad (2.15)$$

где $\omega^*_{tr}$ и $\omega^*_{obs}$ – соответственно истинная круговая частота и наблюдаемая круговая частота вращения тела.

**Наблюдение прямолинейных гармонических колебаний материальной точки**

Рассмотрим прямолинейное горизонтальное движение материальной точки по неподвижной гладкой плоскости под действием упругой силы пружины [6, с. 256-258].

При этом горизонтальная координата *x* точки может быть описана уравнением

$$x = A\cos(\omega''_{tr}t - \varphi_0),$$

где $A$ – наибольшее значение отклонения $x$ точки от положения равновесия, называемое амплитудой колебаний;

$\varphi_0$ – начальная фаза;

$\omega''_{tr}$ – истинная круговая частота, равная числу колебаний за $2\pi$ секунд.

Истинная круговая частота $\omega''_{tr}$ и истинная частота колебаний $n''_{tr}$ связаны формулой

$$\omega''_{tr} = 2\pi n''_{tr}.$$

Истинная частота колебаний $n''_{tr}$ представляет собой число колебаний в секунду, единицей частоты является герц.

В соответствии с законом аберрации (2.1) при движении положения равновесия точки относительно наблюдателя со скоростью $v_{rad}$ имеют место следующие соотношения:

$$n''_{obs} = \frac{n''_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.16}$$

где $n''_{obs}$ и $n''_{tr}$ – соответственно наблюдаемая и истинная частота прямолинейных гармонических колебаний материальной точки;

$$\omega''_{obs} = \frac{\omega''_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \tag{2.17}$$

где $\omega''_{obs}$ и $\omega''_{tr}$ – соответственно наблюдаемая и истинная круговая (циклическая) частота прямолинейных гармонических колебаний материальной точки.

**Некоторые следствия. Наблюдаемое вращение стрелок на циферблате движущихся относительно наблюдателя часов.**

Представим себе наблюдателя, который следит за стрелками часов, циферблат которых расположен перпендикулярно оси, соединяющей наблюдателя и центр циферблата. На основании формулы (2.15) можно сделать вывод, что если наблюдаемые часы будут двигаться от наблюдателя, при этом $v_{rad} > 0$, то наблюдаемая угловая скорость вращения их стрелок уменьшится по сравнению с их истинной угловой скоростью. Другими словами, движущиеся от наблюдателя часы в точном соответствии с (2.15) по наблюдениям будут

идти *медленнее* точно таких же неподвижных часов при условии, что движущиеся и неподвижные часы идеально синхронизированы. В то время как по неподвижным часам, расположенным рядом с наблюдателем, пройдет одна секунда, по наблюдаемым показаниям движущихся от наблюдателя часов пройдет $\frac{1}{1+\frac{v_{rad}}{c}}$ секунд (меньше секунды).

Соответственно при движении наблюдаемых часов к наблюдателю в соответствии с формулой (2.15) наблюдаемая угловая скорость (и частота) вращения стрелок увеличится. Движущиеся к наблюдателю часы (при $v_{rad} < 0$) по наблюдениям будут идти *быстрее* таких же неподвижных часов, расположенных рядом с наблюдателем. Пока по неподвижным часам пройдет одна секунда, по наблюдаемым показаниям движущихся к наблюдателю часов пройдет $\frac{1}{1+\frac{v_{rad}}{c}}$ секунд (больше секунды).

## 2.12. Аберрация частоты периодического процесса

Пусть на движущейся относительно наблюдателя материальной точке протекает некоторый периодический процесс.

В соответствии с законом аберрации (2.1) взаимосвязь между наблюдаемой и истинной частотой этого периодического процесса выражается соотношением

$$f_{obs} = \frac{f_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}. \qquad (2.18)$$

где $f_{obs}$ и $f_{tr}$ – соответственно наблюдаемая и истинная частота процесса.

Рассмотрим космический корабль, часы которого идеально синхронизированы с земными часами.

Например, если на космическом корабле, скорость удаления которого от Земли равна $v_{rad} = 0{,}5\ c$, будет работать электродвигатель с частотой вращения ротора $f_{tr}$ = 100 оборотов в минуту, то наблюдаемая на транслируемом на Землю видеоизображении частота вращения ротора $f_{obs}$ составит около 67 оборотов в минуту (в 1,5 раза меньше истинной частоты).

Если корабль будет приближаться к Земле с такой же скоростью $v_{rad} = -0{,}5\ c$, то на транслируемом с корабля видеоизображении наблюдаемая частота вращения ротора $f_{obs}$ составит 200 оборотов в минуту, то есть будет в 2 раза больше истинной частоты.

## 2.13. Подтверждение достоверности закона аберрации

В работе [8] объясняется эффект искажения видимой неподвижным наблюдателем формы движущихся тел, который возникает вследствие различного запаздывания света, испущенного различными участками объекта. Приводятся формулы, связывающие

– видимое и истинное положение тела (формулы (3) и (12) в [8]),

– видимую (наблюдаемую) скорость тела и его истинную скорость, определяемую с помощью часов и линейки, непосредственно на траектории (формулы (6) и (13) в [там же]),

– видимую длительность и истинную длительность события, происходящего на теле (формулы (7) и (14) в [там же]), (формула (7), по всей видимости, приведена не корректно),

– видимую и истинную частоты периодического процесса (формулы (9) и (15)).

По сути, приведенные в [там же] формулы подтверждают достоверность формул (2.2), (2.6), (2.8) и (2.18) закона аберрации, приведенного в нашей работе.

Однако авторы работы [8] не обратили внимание читателя на тот факт, что между наблюдаемыми и истинными величинами, упоминаемыми в работе, имеется взаимосвязь общего вида, выраженная формулой (2.1), для удобства приведем ее повторно:

$$\boldsymbol{Q}_{obs} = \frac{\boldsymbol{Q}_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}, \qquad (2.1)$$

где $\boldsymbol{Q}_{obs}$ и $\boldsymbol{Q}_{tr}$ – соответственно, наблюдаемые и истинные величины тела.

Авторы [8] не привели представленные ими соотношения к одинаковому по форме виду, не увидели системы, которая выражается законом аберрации (2.1), и не смогли сформулировать этот закон. Кроме того, в формуле (7) [там же], выражающей соотношение между

видимой длительностью и истинной длительностью происходящего на теле события, имеется неточность (вместо деления в правой части этой формулы приведено умножение).

Формула (2.6), выражающая соотношение интервала времени, отсчитанного по наблюдаемым показаниям движущихся часов и соответствующего интервала истинного времени этих же часов

$$\Delta t_{obs} = \frac{\Delta t_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}$$

подтверждена экспериментально группой из 100 ученых и инженеров, в состав которой входил автор настоящей работы в качестве научного руководителя. Ход и результаты этого эксперимента представлены в научных публикациях [1, 2, 9, 10].

Следует заметить, что формула (2.8), описывающая взаимосвязь между наблюдаемой скоростью движения материальной точки и ее истинной скоростью,

$$v_{obs} = \frac{v_{tr}}{1+\frac{v_{rad}}{c}}.$$

приводит к выводу о возможности движения тел с наблюдаемой сверхсветовой скоростью. В соответствии с этой формулой, если объект движется к наблюдателю, то есть при $v_{rad} < 0$, его наблюдаемая скорость может превысить скорость света. При этом истинная скорость тела не превышает скорость света.

В астрономии известно явление «сверхсветового движения», в соответствии с которым космические объекты при движении с истинной околосветовой скоростью создают иллюзию движения со скоростью в несколько раз превышающей скорость света. С одной стороны, явление космического «сверхсветового движения» подтверждает достоверность закона аберрации, выраженного формулой (2.8). С другой стороны, формула (2.8) корректно описывает это наблюдаемое явление.

## 2.14. Выводы

Подводя итог о сути закона аберрации величин движущегося тела, приведем следующий гипотетический пример.

Пусть астроном с использованием оптических средств наблюдения, например, с помощью телескопа с высоким разрешением, а также с помощью радиолокатора, наблюдает за астероидом. Радиолокатор обеспечивает возможность с высокой точностью определять трехмерную наблюдаемую форму астероида.

Допустим, астероид вращается вокруг своей оси в произвольном направлении с частотой вращения 1 оборот в минуту. Кроме того, астероид движется вдоль линии, соединяющей астероид и наблюдателя со скоростью $v_{rad}$. На астероиде расположены часы, идеально синхронизированные с часами, расположенными на Земле. Показания часов астероида в режиме реального времени транслируются на Землю с использованием радиоканала передачи данных.

Если астероид удаляется от Земли со скоростью света, то есть $v_{rad} = 1\ c$, то наблюдающий за ним астроном зафиксирует:

– наблюдаемое местоположение астероида находится в 2 раза ближе к Земле, чем его истинное местоположение;

– наблюдаемая длина пути, пройденного астероидом за некоторый интервал времени, в 2 раза меньше, чем истинная длина пути;

– астероид сжался в 2 раза в направлении линии, соединяющей наблюдателя и астероид, причем в направлениях, перпендикулярных этой линии, наблюдаемые размеры астероида остались без изменений. При этом истинные размеры астероида не изменились;

– наблюдаемые показания часов астероида, отображаемые на Земле, идут в 2 раза медленнее, чем земные часы;

– наблюдаемая скорость движения астероида равна 0,5 скорости света, то есть в 2 раза меньше, чем его истинная скорость;

– наблюдаемая скорость вращения астероида равна 0,5 оборотов в минуту, то есть в 2 раза меньше, чем его истинная скорость вращения.

Если же астероид будет приближаться к Земле со скоростью $v_{rad} = -0{,}99$ скорости света, то астроном зафиксирует:

– наблюдаемое местоположение астероида находится в 100 раз дальше от Земли, чем его истинное местоположение;

– наблюдаемая длина пути, пройденного астероидом за некоторый интервал времени, в 100 раз больше, чем истинная длина пути;

– астероид растянулся в 100 раз в направлении линии, соединяющей наблюдателя и астероид (астероид примет длинную сигарообразную форму), причем в направлениях, перпендикулярных этой линии наблюдаемые размеры астероида остались без изменений. При этом истинные размеры астероида не изменились;

– наблюдаемые показания часов астероида, отображаемые на Земле, идут в 100 раз быстрее, чем земные часы;

– наблюдаемая скорость движения астероида равна 99 скоростям света, то есть в 100 раз больше, чем его истинная скорость;

– наблюдаемая скорость вращения астероида равна 100 оборотам в минуту, то есть в 100 раз больше, чем его истинная скорость вращения.

В соответствии с законом аберрации (2.1) аналогичным образом изменятся все 16 наблюдаемых величин астероида, перечисленных в табл. 2.1.

Графическая иллюстрация закона аберрации приведена на рис. 2.9.

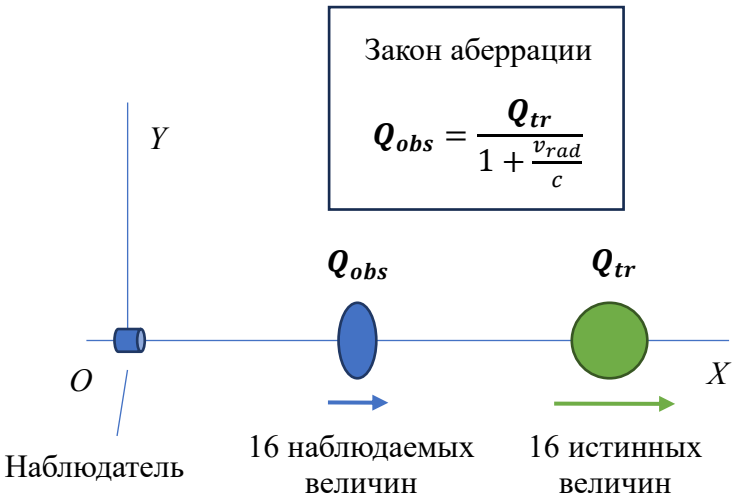



Рис. 2.9. Закон аберрации величин движущегося тела. При движении тела наблюдаемые величины прямо пропорциональны истинным величинам, коэффициент пропорциональности равен $\frac{1}{1+\frac{v_{rad}}{c}}$, где $v_{rad}$ – радиальная скорость движения тела относительно наблюдателя

## Заключение

В работе представлен разработанный автором принципиально новый хронометрический метод определения координат объекта (космического аппарата, воздушного судна, транспортного средства). Потенциальная погрешность хронометрического метода составляет миллиметры. Преимущество хронометрического метода по сравнению с аналогами заключается в том, что он обеспечивает возможность определения координат объекта при асинхронных (неодновременных) импульсных сигналах, излучаемых неподвижными или движущимися маяками. Хронометрический метод может использоваться для разработки разнообразных высокоточных радиотехнических средств наблюдения, навигации и посадки в авиации и космонавтике.

Хронометрический метод разработан с использованием закона аберрации величин движущегося тела, открытого автором. По сути, хронометрический метод является практическим приложением этого закона, наряду с другими приложениями, представленными в работе [3].

Представленный в работе закон аберрации величин движущего тела не противоречит аналогичным формулам СТО, поскольку рассматриваемые в настоящей работе движущиеся часы, по которым отсчитываются интервалы времени на теле, идеально синхронизированы с неподвижными часами. В СТО движущиеся часы идут медленнее, чем неподвижные часы.

Замечания и предложения по представленной работе направляйте по почте.

E-mail: al.plyasovskih@yandex.ru

д.т.н. Плясовских Александр Петрович

## Источники информации


1. Плясовских, А. П. Хронометрический метод определения четырехмерных координат движущегося объекта с использованием радиовещательных маяков / А. П. Плясовских // Электросвязь. – 2025. – № 12. – С. 34-42. – DOI 10.34832/ELSV.2025.74.12.005.
2. Плясовских А. П. Теория аберрации. Первая теория, альтернативная специальной теории относительности [Электронный ресурс]. — М.: Знание-М, 2023. — 503 с. — ISBN 978-5-00187-483-6. https://www.litres.ru/book/a-p-plyasovskih/teoriya-aberracii-pervaya-teoriya-alternativnaya-specialno-69424369/
3. Плясовских А. П. Закон аберрации и его приложения в навигации и управлении воздушным движением. — М.: Знание-М, 2022. — 70 с. — ISBN 978-5-00187-223-8. https://www.litres.ru/a-p-plyasovskih/zakon-aberracii-i-ego-prilozheniya-v-navigacii-i-67775394/
4. Plyasovskikh A.P. Eshmuradov D.E. Theory of aberration – an alternative to the special theory of relativity. – T.: «Fan va texnologiyalar mashriyot-matbaa uyi», 2024. – 432 p. – ISBN: 978-9910-748-53-0.
5. Плясовских А. П. Идеальная синхронизация множества движущихся с релятивистскими скоростями часов / А. П. Плясовских // Вестник метролога. – 2025. – № 4. – С. 3-8.
6. Старжинский В. М., Теоретическая механика. Учебник: Краткий курс по полной программе втузов. — М.: Главная

редакция физико-математической литературы, 1980. — 464 с. С. 256-258.

7. Потенциальная точность измерений: Науч. издание – Учебн. пособие / Под ред. В.А. Слаева – С.Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2005 — 104 с.: ил.
8. Болотовский Б. М., Малыкин Г. Б. Видимая форма движущихся тел // Успехи физических наук. 2019. Т. 189. № 10. С. 1084-1103.
9. Плясовских А. П. и другие. Эксперимент по измерению наблюдаемого темпа хода движущихся часов //Автоматика и программная инженерия. 2022, №4(42) URL: http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2022-4.pdf
10. Plyasovskikh A. P. Eshmuradov D. E. Experiment on measuring the observed rate of a moving clock // International Scientific Journal "Science and Innovation". Series A. Volume 2 Issue 3. 24.03.2023. — P. 169-188. URL: http://scientists.uz/view.php?id=4089 https://doi.org/10.5281/zenodo.776773

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**Плясовских** Александр Петрович

# ХРОНОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ. ЗАКОН АБЕРРАЦИИ ВЕЛИЧИН ДВИЖУЩЕГОСЯ ТЕЛА

Издается в авторской редакции
Публикуется из оригинал-макета, подготовленного автором
Главный редактор *В. М. Коровин*

Изображение на обложке создано с помощью Magnific (www.magnific.com)

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
https://publishing.intelgr.com
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63
Интернет-магазин издательства
https://shop.intelgr.com/

Подписано в печать 17.07.2026.
Формат 60×84/16
Объем 3,875 п.л.
Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-00271-159-8