

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

МАНГА

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Масафуми Ямамото

Кэйта Такацу



DMK
ИЗДАТЕЛЬСТВО

OHM
Ohmsha

**Занимательная физика.
Теория относительности.
Манга**

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ МАНГА

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Ямамото Масафуми (автор)
Такацу Кэйта (художник)

Перевод Сенниковой Т. И.



УДК 530.12
ББК 22.313
Я54

Ямамото Масафуми

Я54 Занимательная физика. Теория относительности. Манга / Ямамото Масафуми (автор), Такацу Кэйта (художник); Перевод Сенниковой Т. И. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 184 с. : ил. – (Серия «Образовательная манга»).

ISBN 978-5-97060-564-6

Все пошло вверх дном в Академии Такаи. Когда полоумный директор заставляет весь класс, в котором учится Минаги, учить теорию относительности все летние каникулы, Минаги вызывается учить ее один за весь класс. Только есть одна проблема: он никогда раньше не слышал про теорию относительности! К счастью, учить Минаги берется отважный педагог мисс Юрага.

Читая эту мангу вы узнаете, как Минаги знакомится с нетривиальными законами, по которым существует наша Вселенная. Вместе с ним вы усвоите некоторые сложные понятия, такие как системы отсчета, объединенное пространство-время и принцип эквивалентности. Вы даже узнаете, как принципы теории относительности влияют на современные исследования в астрономии, и выясните почему системы GPS и другие современные технологии зависят от потрясающего открытия, сделанного Альбертом Эйнштейном.

Книга также научит вас понимать и использовать самое известное в мире уравнение: $E = m \cdot c^2$; вычислять эффекты замедления времени с помощью теоремы Пифагора; понимать классические мысленные эксперименты, такие как, Парадокс Близнецов; увидеть, при каких условиях длина сокращается, а масса увеличивается.

Эта книга будет полезна школьникам старших классов, студентам вузов, а также всем людям, интересующимся проблемами современной физической науки.

Original Japanese edition Manga de Wakaru Soutaisei Riron (Manga Guide:

The Theory of Relativity) By Masafumi Yamamoto (Author),

Keita Takatsu (Illustrator) and Trend-Pro Co., Ltd. (Producer).

Published by Ohmsha, Ltd. 3-1 Kanda Nishikicho, Chiyodaku, Tokyo, Japan.

Russian language edition copyright © 2018 by ДМК Пресс

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

Книга «Занимательная теория относительности» Ямамото Масафуми подготовлена и издана по договору с Ohmsha Ltd.

ISBN 978-4-27406-759-4 (яп.) Copyright © 2009 by Masafumi Yamamoto and Trend-Pro Co., Ltd
ISBN 978-5-97060-564-6 (рус.) © Перевод, оформление, издание, ДМК Пресс, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Добро пожаловать в мир, где действует теория относительности!

Всем интересно, что же такое теория относительности. Так как эта теория рассказывает о явлениях, которые кажутся нам невероятными в нашей повседневной жизни (например, замедление времени и сокращение длины тела), она может показаться каким-то непостижимым волшебством.

Несмотря на удивительные и парадоксальные утверждения, теория относительности Эйнштейна в наши дни не раз находила свое подтверждение благодаря бесчисленным физическим опытам. Принципы теории относительности и квантовой механики – это незаменимые инструменты для изучения и понимания физических явлений.

Во времена Ньютона, когда физики имели дело со скоростями намного меньшими скорости света, было легко считать, что параметры движения, то есть скорость и время, – это независимые, постоянные и нерушимые понятия. Однако к концу 19 века точные измерения скорости света вместе с активно проводимыми исследованиями электромагнетизма создали основу для открытия теории относительности. В результате пришлось пересмотреть понятия пространства и времени, которые всегда считались абсолютными и независимыми.

И вот на сцене появляется Альберт Эйнштейн. Он высказывает предположение, что пространство и время на самом деле понятия относительные, отвергает идею о том, что пространство и время это абсолют, и считает, что они не всегда должны считаться постоянными, а скорость света постоянна всегда.

Этот радикальный подход привел к большим и серьезным спорам – как в свое время утверждение Галилея о том, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот, повергло в шок его современников, однако подтверждение чему мы получили, как только проложили дорогу в космос.

Схожим образом теория относительности позволила нам лучше понять сущность устройства пространства-времени, в которых мы и живем. Другими словами теория относительности – это ответ на вопрос, что же на самом деле происходит в нашем мире, а не как в нашем мире казалось бы должно быть.

Хотя это предисловие может показаться немного сложным, я надеюсь, вам понравятся загадки теории относительности в мире манги, а также Минаги и его преподавательница мисс Юрага. В заключение я хотел бы выразить глубокую признательность всем, кто работал над этой книгой в издательстве Ошма, re_akino, который трудился над сценарием, и мистеру Кеита Такатсу, который превратил все это в такую интересную мангу.

Ну, а теперь, давайте нырнем в мир теории относительности.

*Масафуми Яомото.
Июнь, 2009 г.*

★ О Г Л А В Л Е Н И Е ★

ПРОЛОГ. Скандальная церемония окончания учебного года	1
---	---

Глава 1. Что такое теория относительности?	9
--	---

1.1. Что такое теория относительности?	14
1.2. Принцип относительности Галилея и механика Ньютона	16
1.3. Загадочная скорость света	23
1.4. Эйнштейн отверг механику Ньютона	34
Дополнительная информация	40
Что такое свет?	40
Скорость света постоянна и тому есть доказательства (SPring-8)	44
Одновременность событий зависит от вас?! (Несовпадение одновременности)	45
Принцип относительности Галилея и преобразования Галилея	47
Разница между принципом относительности Галилея и специальным принципом относительности Эйнштейна	48
А как же теперь складывать скорости?	49



Глава 2. Что значит «время замедляется»? 51

- 2.1. Эффект Уришимы (замедление времени)..... 54
- 2.2. Почему замедляется время? 56
- 2.3. Замедление хода времени взаимно
и одинаково влияет на каждую из сторон 64
- 2.4. Замедление времени в уравнениях..... 73

Дополнительная информация..... 78

- Замедление времени и ее доказательство с помощью
теоремы Пифагора 78
- Насколько замедляется время? 81

Глава 3. Чем быстрее движется тело, тем короче и тяжелее оно становится? 83

- 3.1. Сокращается ли длина тела, если двигаться быстрее?.... 86
- 3.2. Становимся ли мы тяжелее, если движемся быстрее?... 92

Дополнительная информация..... 106

- Как объяснить сокращение длины с помощью уравнения
(Лоренцево сокращение) 106
- Мюоны с увеличенным сроком жизни 108
- Масса тела при движении..... 109
- Взаимозависимость между энергией и массой 111
- Масса света равна нулю?..... 112



Глава 4. Что такое общая теория относительности? 113

4.1. Принцип эквивалентности.....	118
4.2. Свет отклоняется от прямой из-за гравитации	131
4.3. Гравитация замедляет время	141
4.4. Теория относительности и Вселенная.....	147
Дополнительная информация.....	156
Замедление времени в общей теории относительности....	156
Истинная природа гравитации в общей теории относительности	161
Явления, открытые благодаря общей теории относительности	161
Глобальная навигационная система и теория относительности	165
Заключение.....	167
Предметный указатель	174



**СКАНДАЛЬНАЯ ЦЕРЕМОНИЯ
ОКОНЧАНИЯ УЧЕБНОГО ГОДА**

Последний
учебный
день перед
летними
каникулами

Академия
Тайгай

Студенты полны
ожиданий сходить
на пляж поплавать,
расслабиться на
пикнике и завязать
романтические
знакомства...

Я ПОНИМАЮ,
ЧТО НА ПОРОГЕ
КАНИКУЛЫ...

ТАК,
ЧТО...

Я ХОЧУ ПРЕПОДНЕСТИ
ПОДАРОК МЛАДШЕМУ
КУРСУ, ЧТОБЫ ВЫ
ПОЛУЧИЛИ ЕЩЕ БОЛЬШЕЕ
УДОВОЛЬСТВИЕ
ОТ КАНИКУЛ.

Директор школы
Рэйз Йага

ЧТО ЕЩЕ ОН
ТАМ ПРИДУМАЛ?
НАШ ДИРЕК
ТАКОЙ ПРИДУРОК!







ЧТО?
МОЙ ДОРОГОЙ ЗАМ,
ВЫ УЖЕ СКАЗАЛИ
МНЕ ОБ ЭТОМ?
НЕ ТАК ЛИ?

ЧТО-ТО МЫ НЕ
ПОНИМАЕМ ЗАМДИРА,
НО ОН, ПОХОЖЕ,
НЕДОВОЛЕН ДИРЕКТОМ!

ЧТО?!
ТУТ СОБАКА ЯВЛЯЕТСЯ
ЗАМЕСТИТЕЛЕМ
ДИРЕКТОРА?



ВЫ НЕ МОЖЕТЕ
ПРОСТО ВЗЯТЬ
И ПОВЕСИТЬ
ЭТО НА НАС!

ЭЦ-ЭЦ



А! ЭТО ТЫ,
НАСТЫРНЫЙ ПРЕЗЦЕНТ
СТУАСОВЕТА.



ВСЯ ЭТА ИСТОРИЯ
С КОЛЕСОМ И ДРОТЦКАМИ,
ПОЛНАЯ ЧУШЬ!
ВЫ ПРОСТО
ИЗДЕВАЕТЕСЬ.

БАЦ!

ВСЕ УЖЕ
РАСПЛАНИРОВАЛИ
СВОИ КАНКУЛЫ!

Президент
студенческого совета
Рyка Минаги





ОТЛИЧНО. Я НЕ
ВОЗРАЖАЮ, ЕСЛИ
ТОБОЙ ЗАЙМЕТСЯ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ
ЮРАГА.

ЛАДНО!

НО К КОНЦУ КАНИКУЛ
ДОКЛАД ПО ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ТЫ
НАПИШЕШЬ САМ!

А ЕСЛИ НЕ СМОЖЕШЬ
СДЕЛАТЬ...

НЕ СМОГУ...?
Я...?!

А ТЫ, АЛИСА...
ПРОВЕДЕШЬ СТАРШИЙ
КУРС В КАЧЕСТВЕ
МОЕГО...

ЛИЧНОГО
СЕКРЕТАРЯ!

АА НИ ЗА ЧТО
НА СВЕТЕ!

ЕЩЕ ПОСМОТРИМ!
ВСЁ У МЕНЯ
ПОЛУЧИТСЯ!

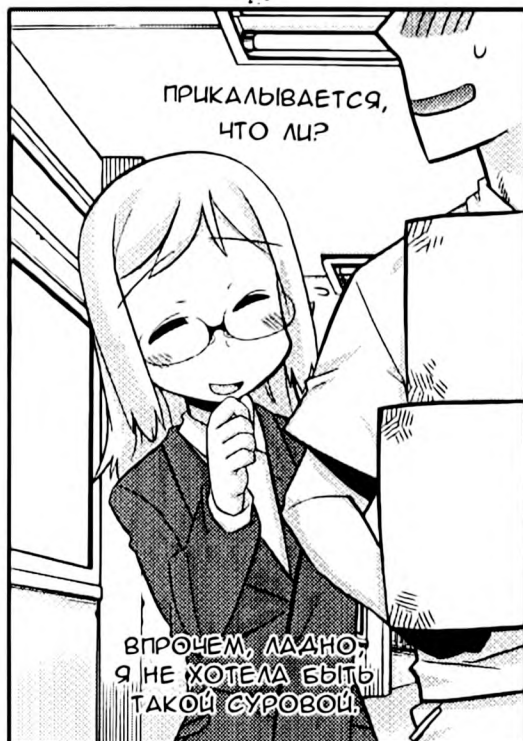
ГАВ!

ЦЛОК
♥



ЧТО ТАКОЕ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?









1.1. ЧТО ТАКОЕ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?



ОБЩАЯ ТЕОРИЯ - ЭТО БОЛЕЕ ОБОБЩЕННЫЙ ВАРИАНТ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ.

А РАЗВЕ СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПОЯВИЛАСЬ НЕ ПОЗЖЕ ОБЩЕЙ?



ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГОВОРИТ О ТОМ, ЧТО ТЕЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ, РАССТОЯНИЕ (ДЛИНА) И МАССА ЗАВИСЯТ ОТ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТОГО, КТО ПРОИЗВОДИТ НАБЛЮДЕНИЕ. В СЛУЧАЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ МЫ РАССМАТРИВАЕМ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ В СОСТОЯНИИ ПОКОЯ ИЛИ ДВИЖУЩИХСЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ. ТАКАЯ ТОЧКА НАБЛЮДЕНИЯ НАЗЫВАЕТСЯ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ОТСЧЕТА.

КОГДА НАБЛЮДАТЕЛЬ ДВИЖЕТСЯ С УСКОРЕНИЕМ, СЧИТАЕТСЯ, ЧТО ОН ПРОИЗВОДИТ НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ НЕИНЕРЦИАЛЬНОЙ (УСКОРЕННОЙ) СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА, И МЫ ОБЯЗАНЫ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ОБЩУЮ ТЕОРИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. ДАВАЙ Я ОБЪЯСНЮ ЭТИ ТЕОРИИ В ШИРОКОМ СМЫСЛЕ.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ГОВОРИТ О ТОМ, ЧТО ДЛЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ...

...ВРЕМЯ ЗАМЕДЛЯЕТСЯ, ДЛИНА СОКРАЩАЕТСЯ, А МАССА УВЕЛИЧИВАЕТСЯ.

ПОДОЖДИТЕ, КАК СОКРАЩАЕТСЯ?! НЕУЖЕЛИ И В САМОМ ДЕЛЕ ЭТО ПРОИСХОДИТ?!

Сокращайся!
Увеличивайся!

Трансформеры,
вперед!

НЕТ... НЕ СОВСЕМ ТАК, КАК ТЕБЕ ЭТО ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ.

Трансформеры — машины в виде роботов из американских комиксов и фильма «Трансформеры».

ВЛИЯНИЕ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ СТАНОВИТСЯ ЗАМЕТНО ТОЛЬКО НА СКОРОСТЯХ БЛИЗКИХ К СКОРОСТИ СВЕТА. ЭТО ЧРЕЗВЫЧАЙНО ВЫСОКИЕ СКОРОСТИ, ПОЭТОМУ МЫ ВЕСЬМА РЕДКО МОЖЕМ НАБЛЮДАТЬ ДЕЙСТВИЕ ЭТОЙ ТЕОРИИ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ НА ЗЕМЛЕ.

ЧТО ЗА ФЛИПЕР?

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГОВОРИТ О
ТОМ, ЧТО ОБЪЕКТ, ОБЛАДАЮЩИЙ
МАССОЙ, СОЗДАЕТ ГРАВИТАЦИЮ
БЛАГОДАРЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ НА
ВРЕМЯ И ПРОСТРАНСТВО.



ЧТО ТАКОЕ
ГРАВИТАЦИЯ?

ОТНО-
СИТЕЛЬ-
НОСТЬ,
ВОЗНИКНИ!



ТАК..., НАПРИМЕР,
СВЕТ...

ЗВЕЗДЫ ОБЛАДАЮТ ТАКОЙ
ОГРОМНОЙ МАССОЙ, ЧТО ОНИ
ИСКАЖАЮТ ПРОСТРАНСТВО И
ВРЕМЯ НАСТОЛЬКО, ЧТО МЫ
МОЖЕМ НАБЛЮДАТЬ ИЗГИБ
ПРОХОДЯЩЕГО МИМО НИХ
СВЕТОВОГО ПОТОКА.



НАБЛЮДЕНИЕ ЗА
ИЗОГНУТЫМ СВЕТОВЫМ
ПОТОКОМ У БОЛЬШИХ
ЗВЕЗД СТАЛО ПЕРВЫМ
ПОДТВЕРЖДЕНИЕМ ОБЩЕЙ
ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

И ПОСКОЛЬКУ ОБЩАЯ
ТЕОРИЯ БОЛЕЕ
РАЗВЕРНУТАЯ И
СЛОЖНАЯ...
ДАВАЙ СОСРЕДО-
ТОЧИМСЯ НА
СПЕЦИАЛЬНОЙ
ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНО-
СТИ. ТЫ ДОЛЖЕН
ОЦЕНИТЬ ЭТО.



АГА-А...

ПОТОМУ ЧТО, ЕСЛИ Я
НЕ ПОЙМУ, ТО МНЕ
ПРИДЕТСЯ СОВСЕМ
ТУГО...



1.2. ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ И МЕХАНИКА НЬЮТОНА

ЧТОБЫ ТЫ ЛУЧШЕ
ПОНЯЛ ТЕОРИЮ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ, ДАВАЙ
НАЧЕМ С ИСТОРИЧЕСКИХ
ПРЕДПОСЫЛОК.

ИСТОРИЧЕСКИЕ
ПРЕДПОСЫЛКИ?

ВОЗМОЖНО, ТЕБЕ ЛЕГЧЕ
БУДЕТ ВСЕ ПОНЯТЬ,
ЕСЛИ Я РАССКАЖУ,
ОТКУДА ВЗЯЛАСЬ ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

ВЖ-Ж
ВЖ-Ж

КСТАТИ, РАЗ УЖ Я СМЯГЧУ
НЕКОТОРЫЕ МОМЕНТЫ,
НАДЕЮСЬ, ТЫ ПРОСТИШЬ, ЧТО
В МОЕМ ОБЪЯСНЕНИИ БУДЕТ
НЕ ТАК МНОГО НАУЧНОЙ
СТРОГОСТИ.

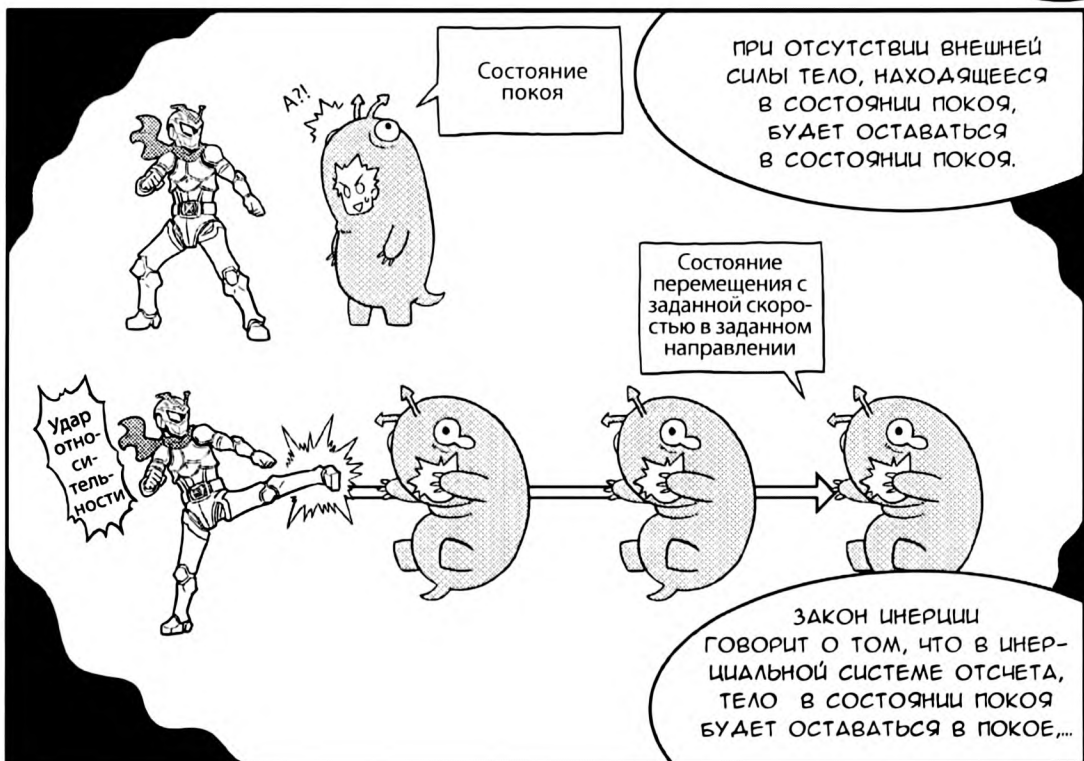
НАВЕРНО,
НИЧЕГО
СТРАШНОГО,
ГЛАВНОЕ
ПОНЯТЬ
ОСНОВНУЮ
МЫСЛЬ.

ЗА БОЛЕЕ ЧЕМ 300 ЛЕТ
ДО РОЖДЕНИЯ АЛЬБЕРТА
ЭЙНШТЕЙНА...

ГАЛИЛЕО
ГАЛИЛЕЙ

...ПОЯВИЛСЯ, ТАК НАЗЫВАЕМЫЙ,
ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ГАЛИЛЕЯ, ОТКРЫТЫЙ
ИТАЛЬЯНСКИМ ФИЗИКОМ
И АСТРОНОМОМ ГАЛИЛЕО
ГАЛИЛЕЕМ.

ПРИНЦИП...
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?
УЖЕ ТОГДА ОН ТАК
НАЗЫВАЛСЯ?



ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ ГЛАСИТ, ЧТО ЗАКОНЫ НЬЮТОНА ОСТАЮТСЯ НЕИЗМЕННЫМИ В ЛЮБОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА, КАКУЮ БЫ МЫ НЕ ВЫБРАЛИ. ДРУГИМИ СЛОВАМИ, НЕВАЖНО, ГДЕ НАХОДИТСЯ НАБЛЮДАТЕЛЬ, ИЛИ КАК БЫСТРО ОН ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ – ЗАКОНЫ ФИЗИКИ ОСТАНУТСЯ НЕИЗМЕННЫМИ.

ВРОДЕ ПОНЯТНО...

К ПРИМЕРУ, ЕСЛИ Я ПОДБРОШУ ВВЕРХ МЯЧ НА ПЛОЩАДКЕ, КОТОРАЯ СТОИТ НА МЕСТЕ, ОН УПАДЕТ ОБРАТНО НА МОЮ РУКУ, ТАК?

И, ЕСЛИ Я ТОЧНО ТАК ЖЕ ПОДБРОШУ МЯЧ, НАХОДЯСЬ В ДВИЖУЩЕМСЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ ПОЕЗДЕ, ОН ТАКЖЕ УПАДЕТ НА МОЮ РУКУ.

ОП-П!

ДРУГИМИ СЛОВАМИ, НЕВАЖНО, НАХОДИШЬСЯ ЛИ ТЫ В ПОКОЕ, ИЛИ ПЕРЕМЕЩАЕШЬСЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ – ЗАКОНЫ ФИЗИКИ РАБОТАЮТ АБСОЛЮТНО ОДИНАКОВО.

А ЕСЛИ ЗЕМЛЯ САМА ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ ПО НАШЕЙ ГАЛАКТИКЕ, ЗНАЧИТ ЛИ ЭТО, ЧТО ОНА НАХОДИТСЯ В НЕИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА?

ВЖ-Ж
ВЖ-Ж

ВЕРНО! ПОТОМУ ЧТО В ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ НИ ОДНА СИСТЕМА ОТСЧЕТА НЕ ИМЕЕТ ПРЕДПОЧТЕНИЯ ПЕРЕД ДРУГОЙ. ДАЖЕ ЗЕМЛЯ САМА ПО СЕБЕ НЕ МОЖЕТ СЧИТАТЬСЯ «АБСОЛЮТНОЙ» СИСТЕМОЙ ОТСЧЕТА.

А ЕСЛИ ЗЕМЛЯ САМА ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ ПО НАШЕЙ ГАЛАКТИКЕ, ЗНАЧИТ ЛИ ЭТО, ЧТО ОНА НАХОДИТСЯ В НЕИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА?

ВЖ-Ж
ВЖ-Ж

ВЕРНО! ПОТОМУ ЧТО В ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ НИ ОДНА СИСТЕМА ОТСЧЕТА НЕ ИМЕЕТ ПРЕДПОЧТЕНИЯ ПЕРЕД ДРУГОЙ. ДАЖЕ ЗЕМЛЯ САМА ПО СЕБЕ НЕ МОЖЕТ СЧИТАТЬСЯ «АБСОЛЮТНОЙ» СИСТЕМОЙ ОТСЧЕТА.

КАК ЭТО?

ТЫ-АБИХ

ТЫ ЖЕ ЧУВСТВУЕШЬ
ЭТО, КОГДА ЕДЕШЬ
В ПОЕЗДАЕ?

ТЫ-АБИХ

ТЫ-АБИХ

КАК ЭТО?

ТЫ-АБИХ

ТЫ ЖЕ ЧУВСТВУЕШЬ
ЭТО, КОГДА ЕДЕШЬ
В ПОЕЗДАЕ?

ТЫ-АБИХ

ТЫ-АБИХ

КАК ЭТО?

ТЫ-АБИХ

ТЫ ЖЕ ЧУВСТВУЕШЬ
ЭТО, КОГДА ЕДЕШЬ
В ПОЕЗДАЕ?

ТЫ-АБИХ

НАПРИМЕР, КОГДА ТЫ
НАХОДИШЬСЯ В ПОЕЗДЕ,
АВИЖУЕМСЯ СО СКОРОСТЬЮ
50 КМ/Ч, А МИМО...

...ПРОХОДИТ ПОЕЗД,
СКОРОСТЬ
КОТОРОГО
ТАКЖЕ 50 КМ/Ч,
ТО ТЕБЕ КАЖЕТСЯ,
ЧТО ЧЕЛОВЕК В ТОМ
ПОЕЗДЕ АВИЖЕТСЯ СО
СКОРОСТЬЮ 100 КМ/Ч.

ТЫ-ДЫХ

ПОНЯТНО. ИМЕННО
ТАК И КАЖЕТСЯ.

НАПРИМЕР, КОГДА ТЫ
НАХОДИШЬСЯ В ПОЕЗДЕ,
АВИЖУЕМСЯ СО СКОРОСТЬЮ
50 КМ/Ч, А МИМО...

...ПРОХОДИТ ПОЕЗД,
СКОРОСТЬ
КОТОРОГО
ТАКЖЕ 50 КМ/Ч,
ТО ТЕБЕ КАЖЕТСЯ,
ЧТО ЧЕЛОВЕК В ТОМ
ПОЕЗДЕ АВИЖЕТСЯ СО
СКОРОСТЬЮ 100 КМ/Ч.

ТЫ-ДЫХ

ПОНЯТНО. ИМЕННО
ТАК И КАЖЕТСЯ.

НАПРИМЕР, КОГДА ТЫ
НАХОДИШЬСЯ В ПОЕЗДЕ,
АВИЖУЕМСЯ СО СКОРОСТЬЮ
50 КМ/Ч, А МИМО...

...ПРОХОДИТ ПОЕЗД,
СКОРОСТЬ
КОТОРОГО
ТАКЖЕ 50 КМ/Ч,
ТО ТЕБЕ КАЖЕТСЯ,
ЧТО ЧЕЛОВЕК В ТОМ
ПОЕЗДЕ АВИЖЕТСЯ СО
СКОРОСТЬЮ 100 КМ/Ч.

ТЫ-ДЫХ

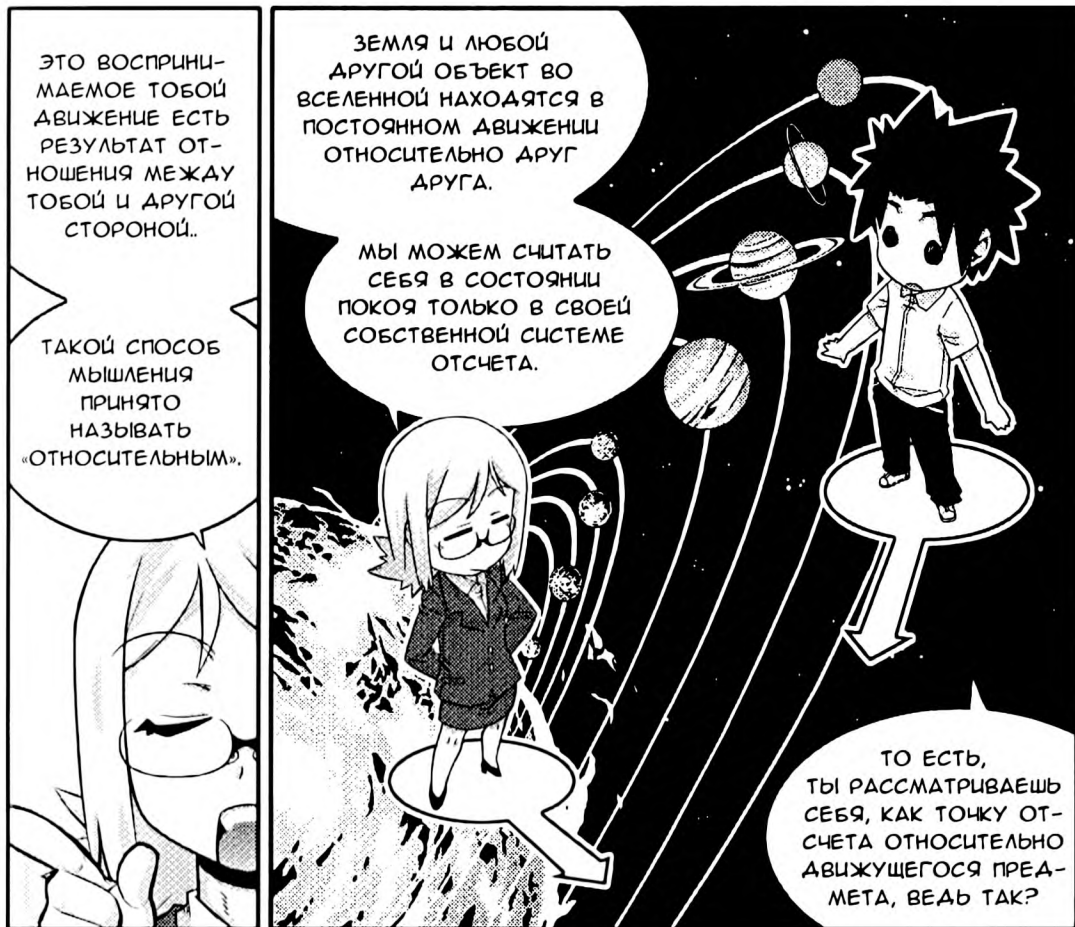
ПОНЯТНО. ИМЕННО
ТАК И КАЖЕТСЯ.

НАПРИМЕР, КОГДА ТЫ
НАХОДИШЬСЯ В ПОЕЗДЕ,
АВИЖУЕМСЯ СО СКОРОСТЬЮ
50 КМ/Ч, А МИМО...

...ПРОХОДИТ ПОЕЗД,
СКОРОСТЬ
КОТОРОГО
ТАКЖЕ 50 КМ/Ч,
ТО ТЕБЕ КАЖЕТСЯ,
ЧТО ЧЕЛОВЕК В ТОМ
ПОЕЗДЕ АВИЖЕТСЯ СО
СКОРОСТЬЮ 100 КМ/Ч.

ТЫ-ДЫХ

ПОНЯТНО. ИМЕННО
ТАК И КАЖЕТСЯ.



В XVII ВЕКЕ НЬЮТОН
ОБЪЕДИНИЛ РАЗЛИЧНЫЕ
ЗАКОНЫ, КАСАЮЩИЕСЯ
ДВИЖЕНИЯ, В, ТАК
НАЗЫВАЕМЫЕ, «ТРИ
ЗАКОНА МЕХАНИКИ».

**ПЕРВЫЙ
ЗАКОН**
ТЫК ТЫК

Три закона механики Ньютона

Первый закон:	Закон инерции
Второй закон:	Связь ускорения с силой ($F = ma$)
Третий закон:	Закон действия и противодействия

ТЫК!

ЭТО И ЕСТЬ ТРИ
ОСНОВНЫХ ЗАКОНА
МЕХАНИКИ.

ТОТ ФАКТ, ЧТО ТРИ ЗАКОНА
НЬЮТОНА ПРИМЕНИМЫ
ВО ВСЕХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ
СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА,
ЭТО И ЕСТЬ ПРИНЦИП
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ГАЛЛЕЯ.

Три закона механики Ньютона	
Первый закон:	Закон инерции
Второй закон:	Связь ускорения с силой
Третий закон:	Закон действия и противодействия

НЕСМОТРЯ НА ТО, ЧТО
ЭТИ ПОЛОЖЕНИЯ БЫЛИ
СФОРМУЛИРОВАНЫ
ДАВНЫМ-ДАВНО, МЫ В
БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ
ПО-ПРЕЖНЕМУ ИХ
ИСПОЛЬЗУЕМ.

АА?

КАК ЭТО
В БОЛЬШИНСТВЕ
СЛУЧАЕВ?

ХОРОШИЙ
ВОПРОС,
МИНАГИ.

ЕСТЬ ОДНО ТАКОЕ
ЯВЛЕНИЕ, КОТОРОЕ
НЕЛЬЗЯ ОБЪЯСНИТЬ
С ПОМОЩЬЮ ЭТИХ
ЗАКОНОВ.

ЭТО -
СКОРОСТЬ
СВЕТА!

1.3. ЗАГАДОЧНАЯ СКОРОСТЬ СВЕТА

ЕЕ ТАКЖЕ НЕЛЬЗЯ
ОБЪЯСНИТЬ, КАК И
ПРАВИЛА НАШЕГО
ЧОКНУТОГО
ДИРЕКТОРА...

ОХО!



1. Уважай директора.
2. Старайся совершать для него один хороший поступок в день.
3. Не обвиняй ни в чем директора.
4. Ненароком не угости чем-нибудь заместителя директора.

ХА-ХА-ХА!



ЕГО ЗАКОНЫ ДАЖЕ
НЬЮТОНА НА
КОЛЕНИ ПОСТАВЯТ.

ХВАТИТ ШУТИТЬ!
ЭТО ВСЕ
ШКОЛЬНЫЕ
ПОРЯДКИ!

А Я
РАССКАЗЫВАЮ
О СКОРОСТИ
СВЕТА!



У-У-У!



ПОДУМАЕШЬ,
КАКОЕ ДЕЛО!

НЕ ПЫТАЙСЯ
СОСКОЧИТЬ
С ТЕМЫ!

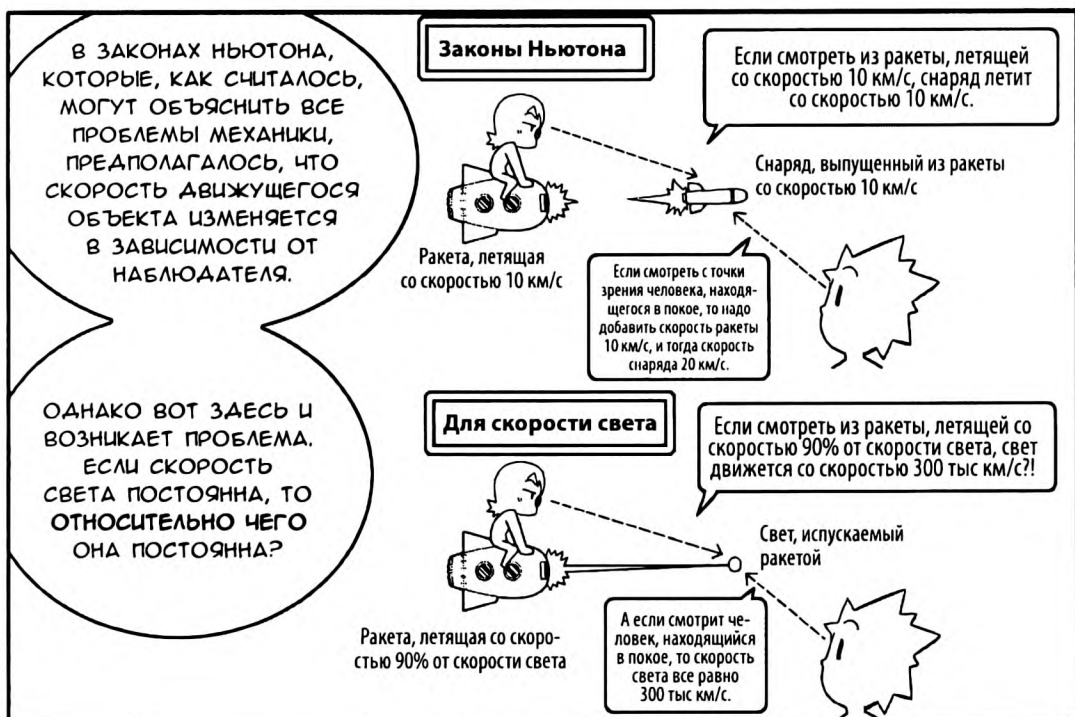
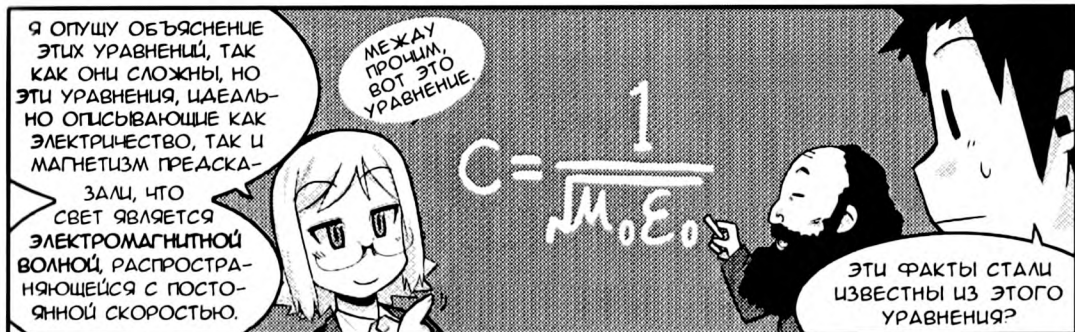
СВЯЗАНЫ ЛИ
СКОРОСТЬ СВЕТА
И ПРИНЦИПЫ ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?

ОЧЕНЬ ДАЖЕ
СВЯЗАНЫ!



НЕ БУДЕТ
ПРЕУВЕЛИЧЕНИЕМ
СКАЗАТЬ, ЧТО ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ВОЗНИКЛА БЛАГОДАРИ
ЗАГАДОЧНОМУ
ПОВЕДЕНИЮ СКОРОСТИ
СВЕТА!





КОНЦЕПЦИЕЙ, ПРИЗВАННОЙ
РАЗРЕШИТЬ ЭТУ ДИЛЕММУ, СТАЛ
АБСОЛЮТНЫЙ НЕПОДВИЖНЫЙ
ЭФИР, ЯКОБЫ ЗАПОЛНЯЮЩИЙ
ВСЕЛЕННУЮ, В КОТОРОМ
СКОРОСТЬ СВЕТА БЫЛА БЫ
ПОСТОЯННОЙ.

ЭФИР! ПО-МОЕМУ,
Я ЧТО-ТО СЛЫШАЛ
ОБ ЭТОМ...

Я УЖЕ ГОВОРИЛА,
ЧТО ИЗ УРАВНЕНИЙ МАКС-
ВЕЛЛА НАМ ИЗВЕСТНО,
ЧТО СВЕТ - ЭТО ЭЛЕКТРО-
МАГНИТНАЯ ВОЛНА.

ТАК КАК ЭТО ВОЛНА, ХОТЯ
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ, ОНА
ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВАМИ
ВОЛНЫ, ТАК ЖЕ КАК И ЗВУК.



НО ЕСЛИ ЭТО ВОЛНА,
ТО СЧИТАЛОСЬ, ЧТО
ЕЙ НЕОБХОДИМА
КАКАЯ-ТО «СРЕДА»
ДЛЯ РАСПРОСТРАНЕ-
НИЯ.



ЧТО ТАКОЕ
СРЕДА?

КРАСИВАЯ
„ПЕСНЯ“

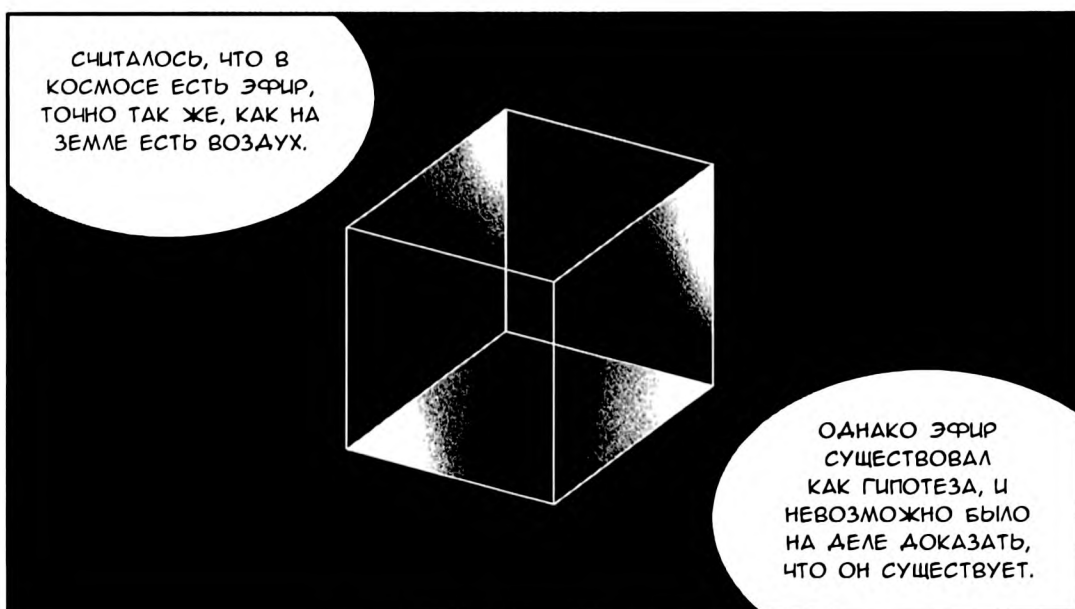


Воздух — это среда для
распространения звука.

Средой для распростране-
ния морских волн служит
морская вода.

СРЕДА - ЭТО ВЕЩЕСТВО,
В КОТОРОМ РАСПРОСТРА-
НЯЮТСЯ ВОЛНЫ. НАПРИ-
МЕР, ВОЗДУХ - СРЕДА
ДЛЯ ЗВУКА, ВОДА -
СРЕДА ДЛЯ МОРСКИХ
ВОЛН.



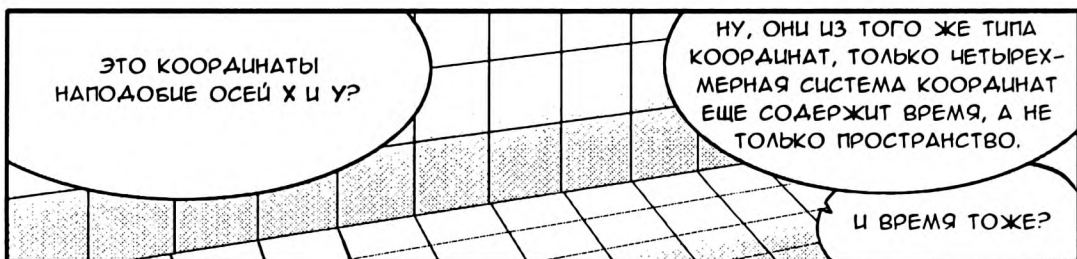




ДАЛЕЕ Я РАССКАЖУ ОБ
АБСОЛЮТНОМ СТАЦИО-
НАРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ,
НО СНАЧАЛА ОБЪЯСНЮ,
ЧТО ТАКОЕ ЧЕТЫРЕХМЕР-
НАЯ СИСТЕМА КООРДИ-
НАТ.

ЧТО ЭТО?

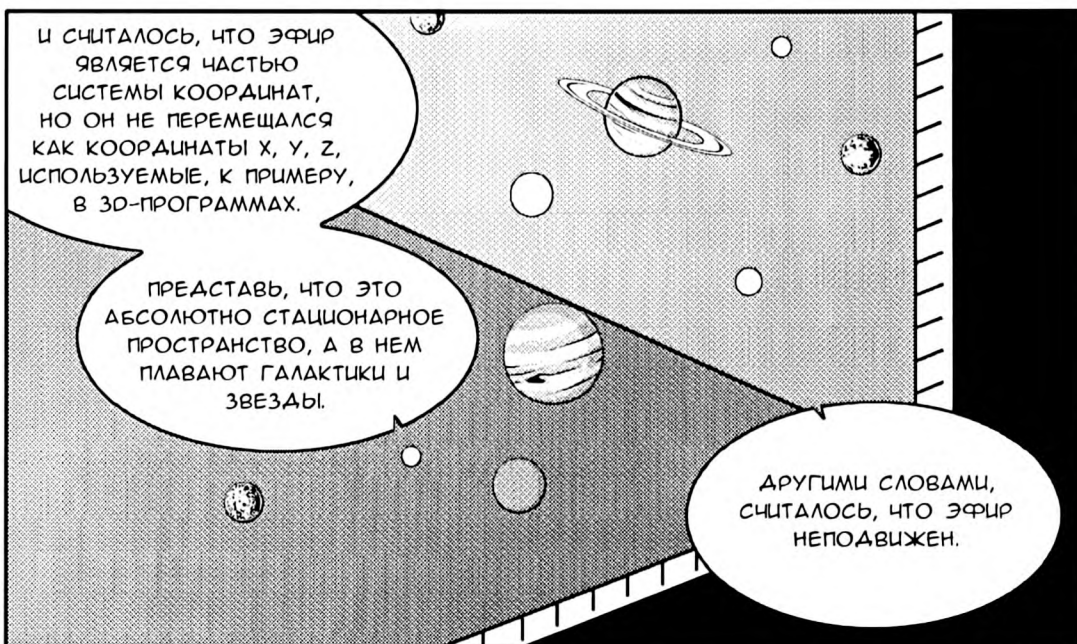
ЭТО СИСТЕМА ВЕЛИЧИН,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОЛО-
ЖЕНИЕ ДВИЖУЩЕГОСЯ
ИЛИ ПОКОЯЩЕГОСЯ ТЕЛА
ИЛИ ВРЕМЯ С НИМ СВЯЗАН-
НОЕ. ГОВОРЯ ПРОЩЕ, ЭТО
КАРТА ДЛЯ ТОЛКОВАНИЯ
ПРОСТРАНСТВА И ВРЕ-
МЕНИ.



ЭТО КООРДИНАТЫ
НАПОДОБИЕ ОСЕЙ X И Y ?

НУ, ОНИ ИЗ ТОГО ЖЕ ТИПА
КООРДИНАТ, ТОЛЬКО ЧЕТЫРЕХ-
МЕРНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ
ЕЩЕ СОДЕРЖИТ ВРЕМЯ, А НЕ
ТОЛЬКО ПРОСТРАНСТВО.

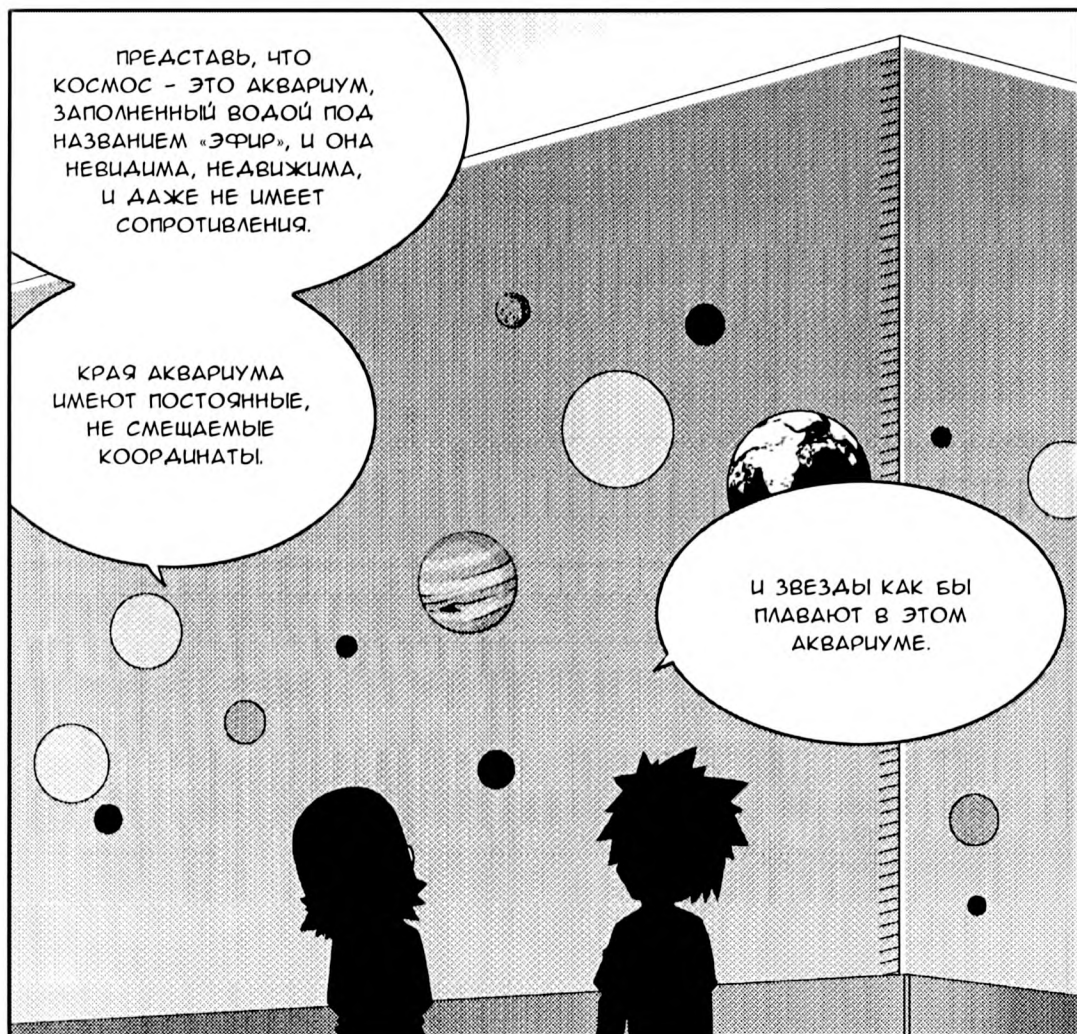
И ВРЕМЯ ТОЖЕ?



И СЧИТАЛОСЬ, ЧТО ЭФИР
ЯВЛЯЕТСЯ ЧАСТЬЮ
СИСТЕМЫ КООРДИНАТ,
НО ОН НЕ ПЕРЕМЕЩАЛСЯ
КАК КООРДИНАТЫ X , Y , Z ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ, К ПРИМЕРУ,
В 3D-ПРОГРАММАХ.

ПРЕДСТАВЬ, ЧТО ЭТО
АБСОЛЮТНО СТАЦИОНАРНОЕ
ПРОСТРАНСТВО, А В НЕМ
ПЛАВАЮТ ГАЛАКТИКИ И
ЗВЕЗДЫ.

ДРУГИМИ СЛОВАМИ,
СЧИТАЛОСЬ, ЧТО ЭФИР
НЕПОДВИЖЕН.



ЭЭ..., А КАК ЭТО СВЯЗАНО
С УТВЕРЖДЕНИЕМ,
ЧТО СКОРОСТЬ СВЕТА
ПОСТОЯННА?



ХМ...,
В ОСНОВЕ ЛЕЖИТ
СЛЕДУЮЩЕЕ...

СВЕТ ДВИЖЕТСЯ СО СКО-
РОСТЬЮ 300 ТЫС. КМ/С
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА,
НАХОДЯЩЕГОСЯ В ПОКОЕ
В АБСОЛЮТНО СТАЦИО-
НАРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ.
ДРУГИМИ СЛОВАМИ СЧИ-
ТАЛОСЬ, ЧТО...

...СКОРОСТЬ СВЕТА -
ЭТО ПОСТОЯННАЯ ВЕЛИ-
ЧИНА, РАВНАЯ, ЕСЛИ БЫТЬ
ТОЧНЫМ, 299 792 458 М/С,
ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ПРИ
НАБЛЮДЕНИИ ИЗ АБСО-
ЛЮТНО СТАЦИОНАРНОГО
ПРОСТРАНСТВА.

СВЕТ ДВИЖЕТСЯ
СО СКОРОСТЬЮ
300 ТЫС. КМ/С.

Свет

А ЧТО ПРОИСХОДИТ СО
СКОРОСТЬЮ СВЕТА, ЕСЛИ
НА ВСЕ ЭТО СМОТРЕТЬ НЕ
ИЗ АБСОЛЮТНО СТАЦИО-
НАРНОГО ПРОСТРАНСТВА,
А ИЗ ТОГО, ЧТО ПЕРЕ-
МЕЩАЕТСЯ?

Наблюдатель
в состоянии
покоя

ЭТО ВАЖНЫЙ
ВОПРОС.

ЕСЛИ БЫ ЗА СВЕТОМ
НАБЛЮДАЛИ ИЗ ЧЕГО-ТО
ДВИЖУЩЕГОСЯ В АБСО-
ЛЮТНО СТАЦИОНАРНОМ
ПРОСТРАНСТВЕ, ТО СЧИ-
ТАЛОСЬ, ЧТО СКОРОСТЬ
СВЕТА СТАЛА БЫ
ИЗМЕНЯТЬСЯ.

Наблюдатель
в движении

СКОРОСТЬ СВЕТА
ПО-ПРЕЖНЕМУ
300 ТЫС. КМ/С?

Свет

ОНА БОЛЬШЕ НЕ БУДЕТ
ПОСТОЯННОЙ,
ВЕДЬ ТАК?

НУ, АА, НАДО
ДУМАТЬ, ТАК
ОНО И ЕСТЬ.



ЗЕМЛЯ НЕ НАХОДИТСЯ В СОСТОЯНИИ ПОКОЯ В АБСОЛЮТНО СТАЦИОНАРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ, ПОТОМУ ЧТО ОНА ПОСТОЯННО МЕНЯЕТ СВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, ТАК КАК ВРАЩАЕТСЯ ВОКРУГ СОЛНЦА.

ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ТАК КАК ЗЕМЛЯ ДВИЖЕТСЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭФИРА, СКОРОСТЬ СВЕТА, ИЗМЕРЕННАЯ НА ЗЕМЛЕ, ДОЛЖНА ИЗМЕНИТЬСЯ, НЕ ТАК ЛИ?

НАПРИМЕР, КОГДА ТЫ ЕДЕШЬ НА ВЕЛОСИПЕДЕ, ТЫ ЧУВСТВУЕШЬ ВЕТЕР, ДАЖЕ ЕСЛИ ВЕТРА НЕТ.



ТОЧНО ТАКЖЕ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ, ЧТО ЗЕМЛЯ, ПЕРЕМЕЩАЮЩАЯСЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭФИРА, БУДЕТ ОЩУЩАТЬ НЕКИЙ «ЭФИРНЫЙ ВЕТЕР».

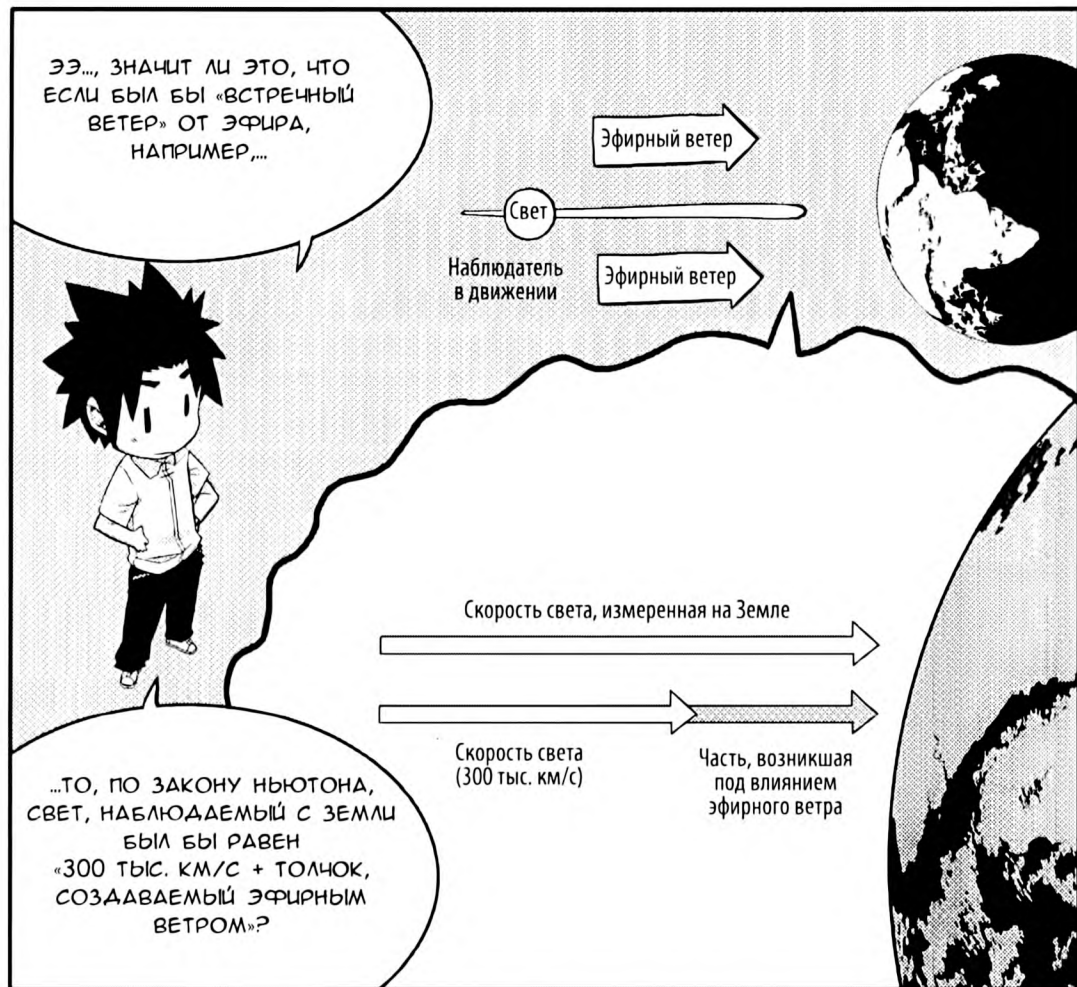


КОНЕЧНО.

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ЕСЛИ ЗЕМЛЯ ПОДВЕРГАЕТСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭФИРНОГО ВЕТРА...

...НЕ ДОЛЖНА ЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА НА ЗЕМЛЕ ОТКЛОНИТЬСЯ ОТ ЗНАЧЕНИЯ 300 ТЫС. КМ/С ИЗ-ЗА ЕГО ВЛИЯНИЯ?







1.4. ЭЙНШТЕЙН ОТВЕРГ МЕХАНИКУ НЬЮТОНА

И ВОТ, НА СЦЕНУ
ВЫШЕЛ ЗНАМЕНИТЫЙ
ЭЙНШТЕЙН!

О!
НАКОНЕЦ-ТО!

АЛЬБЕРТ
ЭЙНШТЕЙН

ЭЙНШТЕЙН ПОЛОЖИЛ
ФАКТ ПОСТОЯНСТВА
СКОРОСТИ СВЕТА В
ОСНОВАНИЕ СВОЕЙ
ТЕОРИИ.

ДРУГИМИ СЛОВАМИ
ОН ОТВЕРГ МЕХАНИКУ
НЬЮТОНА, ОСНОВАННУЮ НА
ПРИНЦИПЕ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ГАЛИЛЕЯ...

...И ПРИНЯЛ, ЧТО
СКОРОСТЬ СВЕТА
ПОСТОЯННА НЕЗАВИСИМО
ОТ НАБЛЮДАТЕЛЯ.

Скорость
света
постоянна

ЭТО БЫЛ
РЕШАЮЩИЙ
ВЗГЛЯД НА
ПРОБЛЕМУ!

КРОМЕ ТОГО, ОН ПРЕД-
ЛОЖИЛ ЗАМЕНИТЬ ПРИНЦИП
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ
НОВЫМ ПРИНЦИПОМ. ЭТОТ НО-
ВЫЙ ПРИНЦИП ГЛАСИЛ, ЧТО ВСЕ
ЗАКОНЫ ФИЗИКИ, ВКЛЮЧАЯ И
ТЕ, ЧТО ОТНОСЯТСЯ К СВЕТУ,
ВЫПОЛНЯЮТСЯ ОДИНАКОВО
НЕЗАВИСИМО ОТ СИСТЕМЫ
ОТСЧЕТА.

ЭТО И ЕСТЬ
СПЕЦИАЛЬНАЯ
ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ЭЙНШТЕЙНА!

ДРУГИМИ СЛОВАМИ,
ОН ГОВОРИЛ, ЧТО
МЫ НЕ ТОЛЬКО
СВЕТ ДОЛЖНЫ
РАССМАТРИВАТЬ
ОСОБЫМ ОБРАЗОМ?

ВЕРНО.

ОН СКАЗАЛ, ЧТО, ТАК
КАК ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
ВСЕГДА В ДВИЖЕНИИ,
ВО ВСЕЛЕННОЙ НЕЛЬЗЯ
ОПРЕДЕЛИТЬ ТАКОЕ МЕСТО,
КОТОРОЕ БЫ ПОСТОЯННО
БЫЛО НЕПОДВИЖНО...

И ТАК КАК ТАКОЕ
МЕСТО ОПРЕДЕЛИТЬ
НЕЛЬЗЯ, ТО И НЕ
СТОИТ НАМ ДУМАТЬ
ОБ ЭТОМ.

Земля
движется.

Солнечная система,
к которой относит-
ся и Земля, также
движется.

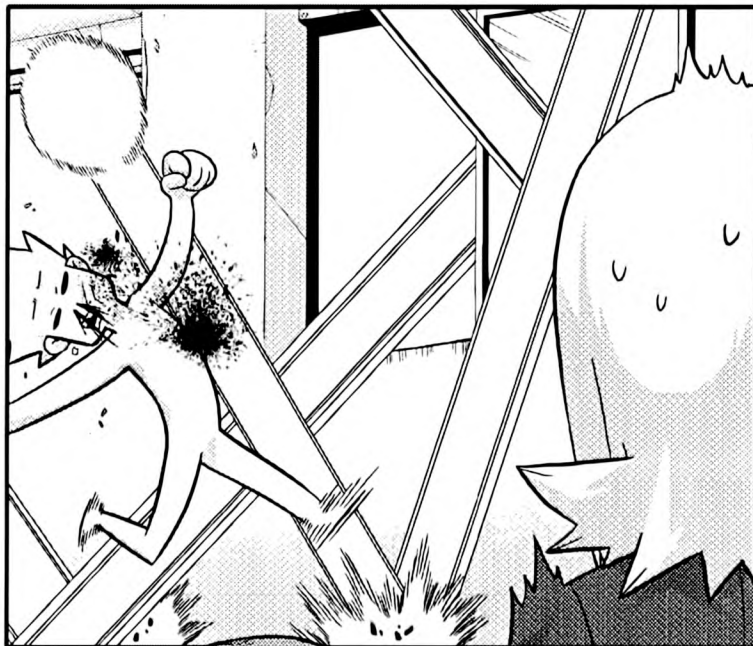
Галактика «Млечный
путь», куда входит
Солнечная система,
тоже движется.

И так далее и тому
подобное, куда бы там
дальше не входила
наша галактика.

ОН ПРЕДПОЛОЖИЛ, ЧТО
СКОРОСТЬ СВЕТА РАВНА
300 ТЫС. КМ/С НЕЗАВИСИМО
ОТ НАБЛЮДАТЕЛЯ, А НЕ ТОЛЬКО,
КОГДА ОНА ИЗМЕРЯЕТСЯ ИЗ
АБСОЛЮТНОГО СТАЦИОНАРНОГО
ПРОСТРАНСТВА.







ЧТО ЭТО? МЯЧ
ДЛЯ ХУДОЖЕСТ-
ВЕННОЙ ГИМНАС-
ТИКИ?

БАМ БАМ
ЧТО ТАКОЕ! ОТКУ-
ДА ОН ПРИЛЕТЕЛ?
А МОЙ ПОРТФЕЛЬ
ГДЕ?!

НАДО БЫ СНАЧАЛА
ОБ УЧЕНИКЕ
ПОДУМАТЬ?



ПРОСТИТЕ,
ЗА МОЙ
МЯЧ...

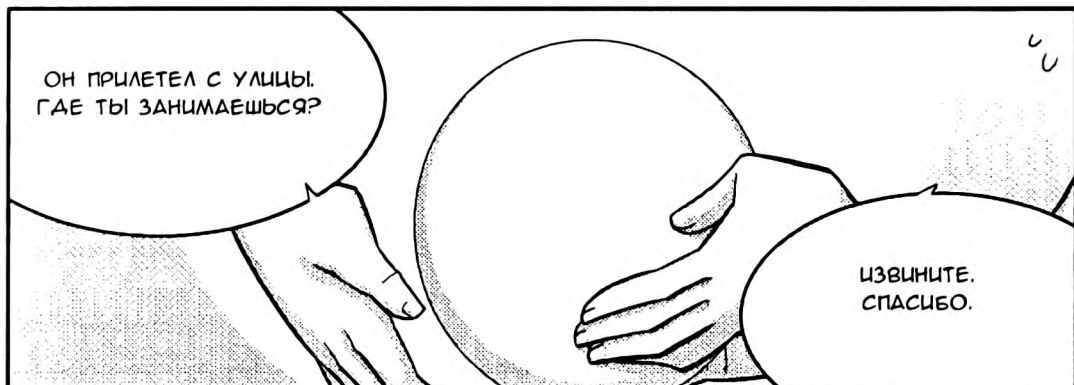


С ВАМИ ВСЕ
В ПОРЯДКЕ?

АА, МОЙ
ПОРТФЕЛЬ НЕ
ПОСТРАДАЛ.

ВСЕ
НОРМАЛЬНО.

ПРОСТИТЕ,
НАДЕЮСЬ
ОБОШЛОСЬ БЕЗ
ЖЕРТВ!





ЧТО ТАКОЕ СВЕТ?

Уравнения Максвелла говорят о том, что свет – это электромагнитная волна. Цвет светового потока определяется длиной этой электромагнитной волны. Длина волны красного спектра равна 630 нм, а голубого немного меньше, примерно 400 нм, где один нанометр (1 нм) = одной миллиардной части метра (10^{-9} м). Электромагнитное излучение на разных длинах волн характеризует разные виды излучения, например, радиоволны, рентгеновские лучи и гамма-лучи (γ) (см. **рис. 1.1**).

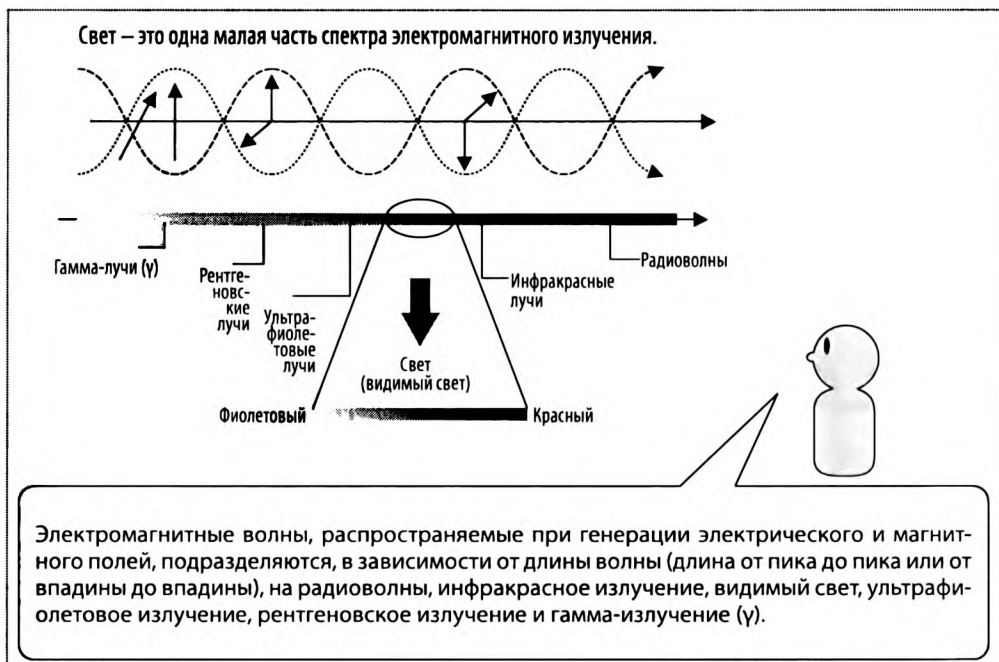


Рис. 1.1. Свет – это электромагнитная волна

Хотя свет и может показаться достаточно обыденной вещью (он ведь повсюду нас окружает) имеет фундаментальное значение, как для теории относительности, так и для квантовой теории, двух краеугольных камней современной физики. Но перед тем, как мы углубимся в изучение истинной природы света, давайте познакомимся со свойствами света, известными с давних пор.

Прежде всего известно, что свет отражается от поверхности зеркала или воды. Вам также известно о рефракции (преломлении) света: достаточно лишь посмотреть на свои ноги, когда вы принимаете ванну, или заметить, как «преломляется» ваша соломинка в стакане с водой. Любое изменение среды меняет направление волны из-за изменения скорости распространения волны в этой среде.

В некоторых средах свет разной длины волны преломляется с разным отклонением. Другими словами, свет разного спектра отклоняется под разными углами. Такое свойство называют *дисперсией*. В результате белый свет, состоящий из света всех цветов, раскладывается в спектр от красного до фиолетового. Благодаря дисперсии мы можем увидеть семь цветов радуги.

Эти свойства – отражение, преломление и дисперсия – использовались для создания линз прецизионных фотоаппаратов и телескопов. На **рис. 1.2** показано, что происходит со светом, когда он отражается, преломляется и рассеивается.

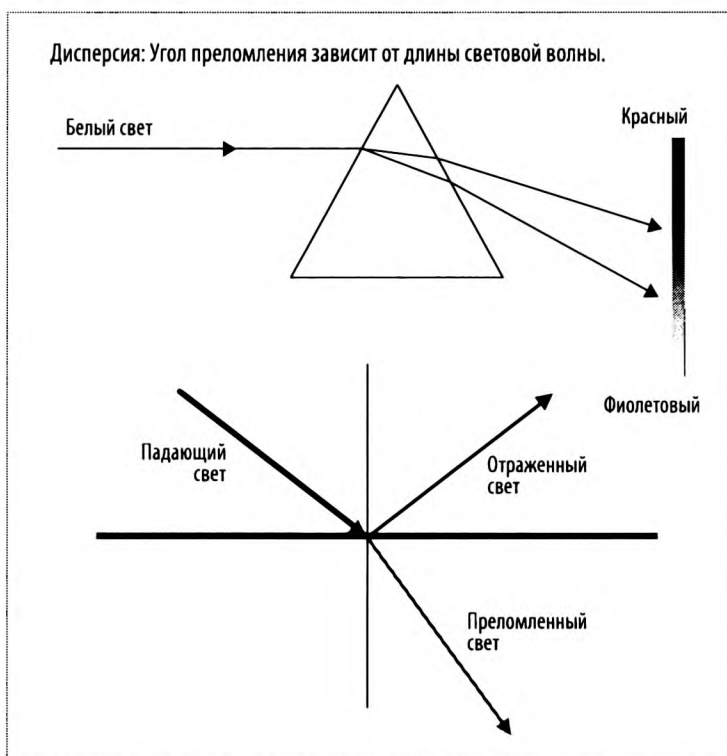


Рис. 1.2. Дисперсия, отражение и преломление света

Далее рассмотрим более хитрые явления, под названием *интерференция* и *дифракция*. Эти явления происходят из того факта, что свет – это волна. Интерференция описывает явление, которое происходит, когда две световые волны приходят в одну точку одновременно. Когда такое происходит, получается либо *усиливающая интерференция*, когда амплитуды волн складываются, или *ослабляющая интерференция*, когда амплитуда одной волны вычитается из амплитуды другой. На **рис. 1.3** показаны разные виды интерференции.

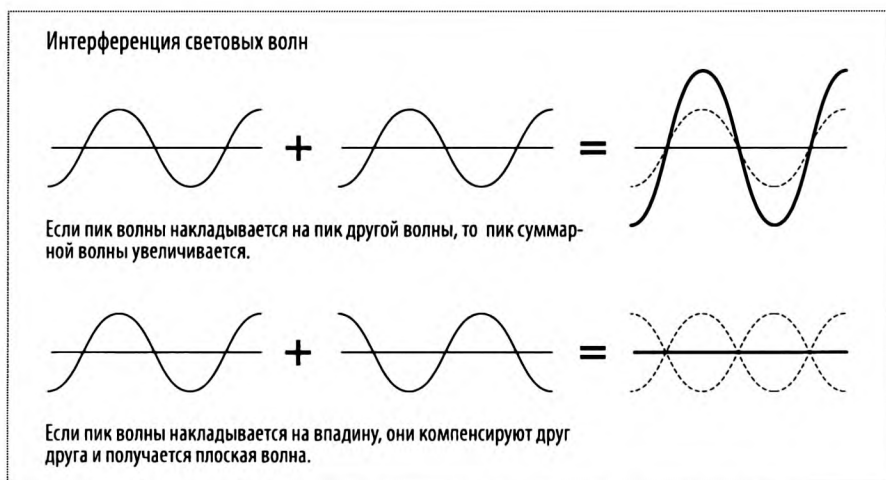


Рис. 1.3. Интерференция может усилить или ослабить суммарную волну

Дифракцию можно наблюдать, когда свет проходит через крошечное отверстие того же размера, что и длина волны этого луча. Благодаря усиливающей и ослабляющей интерференции разных частей световой волны, прохождение через крошечное отверстие заставляет свет расходиться или отклоняется, как это показано на **рис.1.4**. Зачастую именно дифракция ограничивает возможное разрешение микроскопов.

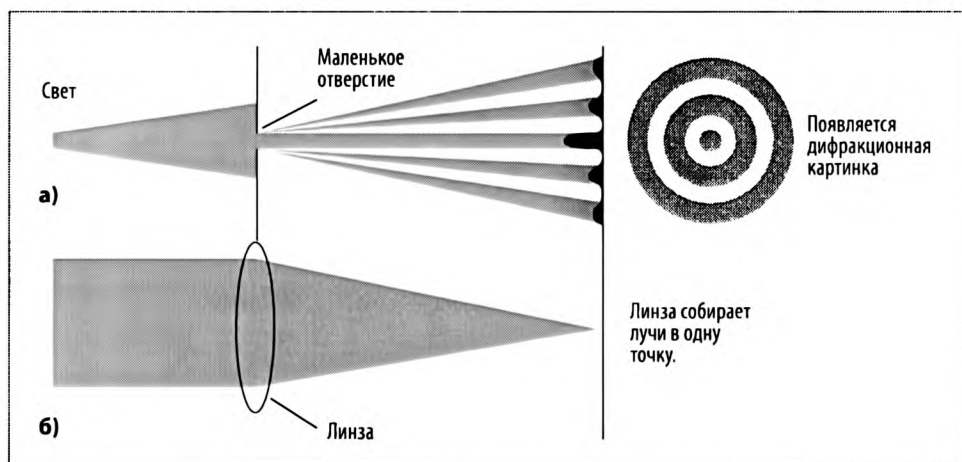


Рис. 1.4. Дифракция света (а) и преломление света выпуклой линзой (б)

Еще одно свойство света называется *поляризацией* – свойство, которое описывает ориентацию перпендикулярных электрических и магнитных составляющих электромагнитной волны. Это свойство очень полезно. Оно позволяет изготовить специальные фильтры (поляризационные фильтры), через которые может пройти только свет определенной поляризации (см. **рис. 1.5**).

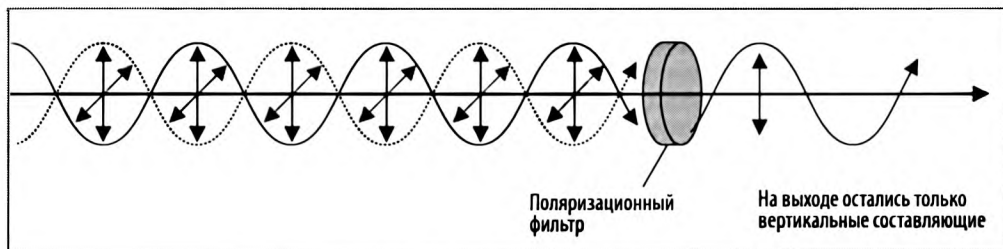


Рис. 1.5. Поляризация

При *рассеивании* свет сталкивается с пылью и другими частицами в воздухе, и, следовательно, меняет направление (см. **рис. 1.6**). Так как синий свет (с более короткой длиной волны) рассеивается молекулами воды, содержащимися в воздухе, больше, чем красный свет (с более длинной волной), поэтому небо нам кажется синим.

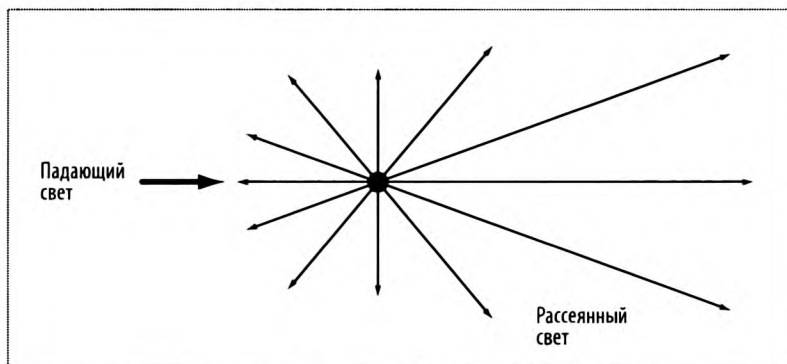


Рис. 1.6. Рассеяние

СКОРОСТЬ СВЕТА ПОСТОЯННА И ТОМУ ЕСТЬ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА (SPRING-8)

Для подтверждения того факта, что скорость света постоянна, было проведено множество различных экспериментов. Этот факт важен потому, что является одной из фундаментальных составляющих теории относительности.

Один из способов проверки этого свойства света – это измерение скорости света, приходящего от тела, перемещающегося на очень высокой скорости. Если скорость света не является константой, ньютоновое понятие «сложения» относительных скоростей предполагает, что свет, исходящий от тела, движущегося к наблюдателю, будет равен скорости света плюс скорость движения тела. Например, если тело перемещается со скоростью близкой к скорости света, то свет от тела должен идти со скоростью почти в 2 раза превышающей скорость света. Если скорость свет постоянна, то свет от быстро движущегося тела будет просто скоростью света. Измерения подтвердили, что скорость света всегда одна и та же, независимо от скорости объекта, из которого свет исходит (см. **рис. 1.7**).

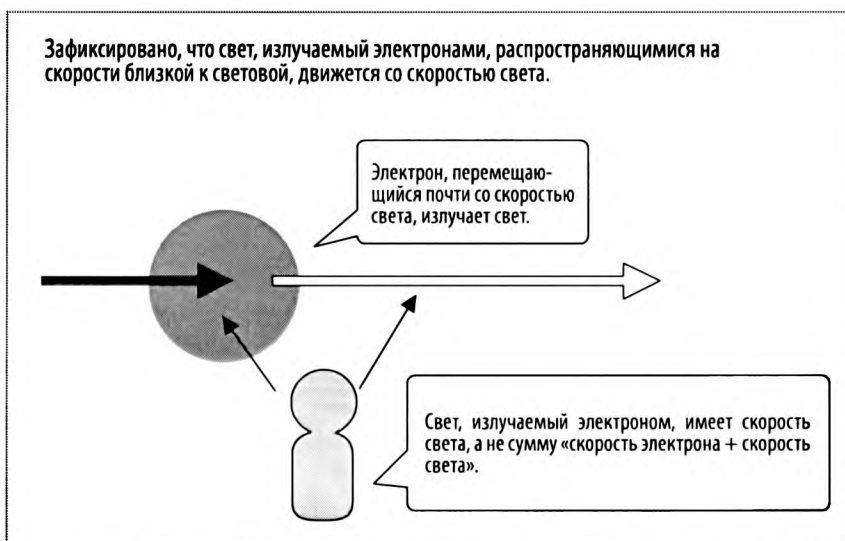


Рис. 1.7. Подтверждение постоянства скорости света в установке SPring-8

Ставить эксперименты с телами, перемещающимися на скоростях, близких к скорости света, чрезвычайно сложная задача. И такие эксперименты выполняются в специально построенных научных установках. SPring-8 – это ускорительный комплекс, источник синхротронного излучения, расположенный в префектуре Хего, Япония. Там выполняются эксперименты по столкновению электронов, движущихся на чрезвычайно высоких скоростях (99,9999998 процентов от скорости света). Кроме подтверждения того факта, что скорость света постоянна, эти эксперименты помогают ученым открыть основные строительные блоки вещества.

ОДНОВРЕМЕННОСТЬ СОБЫТИЙ ЗАВИСИТ ОТ ВАС?! (НЕСОВПАДЕНИЕ ОДНОВРЕМЕННОСТИ)

Если признать, что принцип «скорость света постоянна», то многие явления могут показаться странными. Одно из них называется несовпадением одновременности, которое означает, что то, что одновременно для меня, не то же самое, что одновременно для тебя.

Представлю себе, что вы думаете: «Что ты такое говоришь?» Ну что ж, давайте рассмотрим этот принцип еще раз. Будем сравнивать случай ньютоновского сложения скоростей (нерелятивистское сложение скоростей) со случаем, где скорость света постоянна (релятивистское сложение скоростей).

Представим космонавта, который летит в ракете, перемещающейся с постоянной скоростью, и наблюдателя, который следит за космонавтом со стационарной космической станции. Предположим космонавт находится в середине ракеты. На нос и корму ракеты установлены датчики. Космонавт кидает мячи (или излучает свет) в сторону носа и кормы. Мы будем следить, как эти мячи (или пучки света) будут попадать в датчики.

■ ЕСЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА НЕ ПОСТОЯННА (НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЕ СЛОЖЕНИЕ СКОРОСТЕЙ)

Сначала с помощью движущихся мячей мы рассмотрим случай, когда скорости складываются по законам механики Ньютона (до того, как рассмотрим ситуацию с теорией относительности).

Давайте посмотрим на космонавта на **рис. 1.8**. Так как с точки зрения космонавта ракета не движется, мячи, которые летят на одной скорости из центра ракеты на корму и нос, достигают датчиков «одновременно».

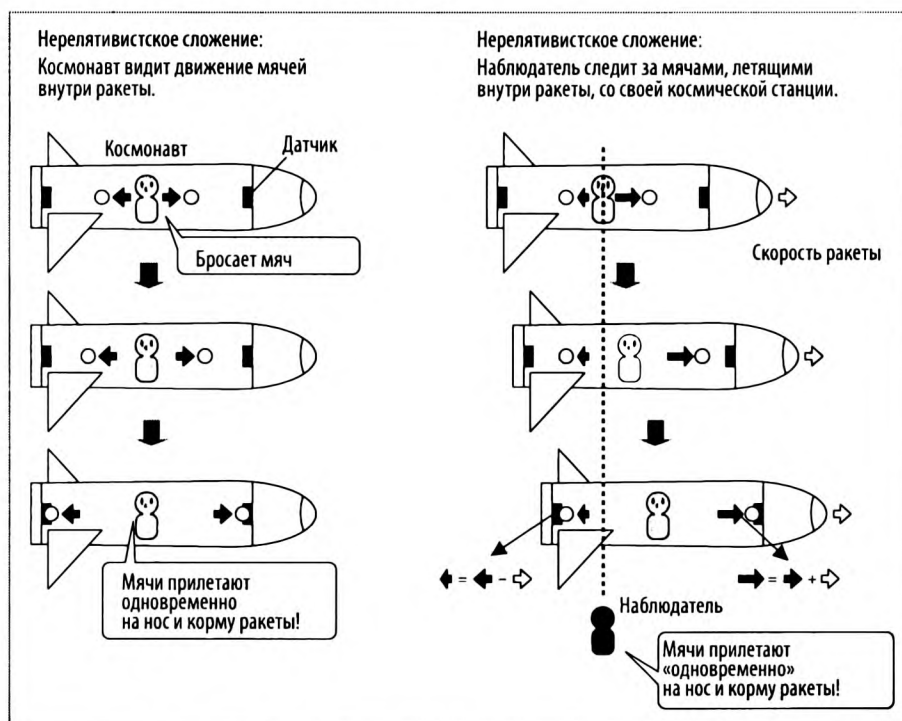


Рис. 1.8. Сложение скоростей по законам механики Ньютона

Далее, с точки зрения наблюдателя, находящегося на станции, ракета понемногу продвигается в направлении своего движения. Другими словами, если принять точку вылета мячей (точка, расположенная на пунктирной линии) за точку отсчёта, то нос ракеты будет быстро продвигаться вперёд (отдаляться от точки отсчёта), а корма – быстро приближаться к ней. Однако скорость вычисляется простым суммированием, поэтому мяч, летящий к носу, будет преследовать убегающий нос с увеличенной скоростью, так как к скорости мяча прибавится скорость ракеты (см. **рис.1.9**), а скорость мяча, летящего к корме, уменьшится ровно на скорость ракеты (на рисунке это показано более короткой стрелкой), и он будет медленно приближаться к догоняющему его хвосту. Следовательно, с точки зрения наблюдателя оба мяча достигнут носа и хвоста ракеты «одновременно».

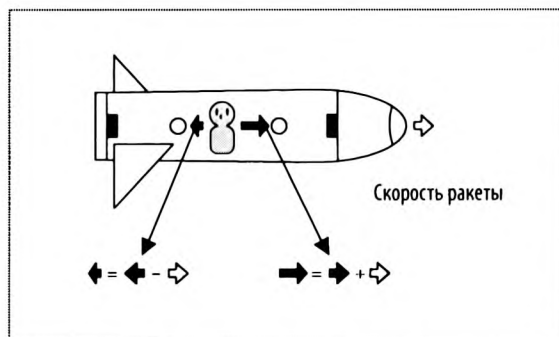


Рис. 1.9. Скорость ракеты

Если рассчитывать «по старому», не используя теорию относительности, то новая скорость мяча, летящего к носу ракеты, будет равна изначальной скорости мяча плюс скорость ракеты, а новая скорость мяча, летящего к корме ракеты, будет равна изначальной скорости мяча минус скорость ракеты, поэтому мячи придут одновременно (разница скоростей этих мячей показана с помощью стрелок разной длины).

■ ЕСЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА ПОСТОЯННА (РЕЛЯТИВИСТСКОЕ СЛОЖЕНИЕ СКОРОСТЕЙ)

А теперь рассмотрим случай, когда скорость света постоянна. Вместо раскидывания мячей космонавт будет излучать свет, перемещаясь практически со скоростью света (см. **рис. 1.10**).

Возможно, вы уже поняли в чем тут разногласие: наблюдение с космической станции отличается от наблюдения космонавта в ракете.

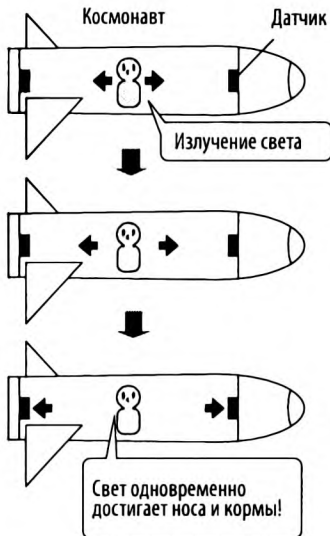
Для космонавта даже, если скорость света постоянна, свет достигнет носа и кормы «одновременно».

Однако, с точки зрения наблюдателя на станции, свет, движущийся в сторону носа ракеты, не достигает его очень долго. Свету надо догнать корабль, который удаляется от него практически со скоростью света. Следовательно, свет достигает кормы до того, как он достигнет носа.

Всё так. При наблюдении с космической станции свет в ракете не достигает «одновременно» носа и кормы.

Свойство одновременности у света различается в зависимости от места наблюдения. Этот феномен называется *несовпадением одновременности*.

Когда скорость света постоянна:
Космонавт наблюдает за движением света
внутри ракеты.



Когда скорость света постоянна:
Наблюдатель следит за движением света со своей
космической станции. Так как свет движется с посто-
янной скоростью, он сначала окажется на корме, и
долго не сможет достичь носа ракеты.

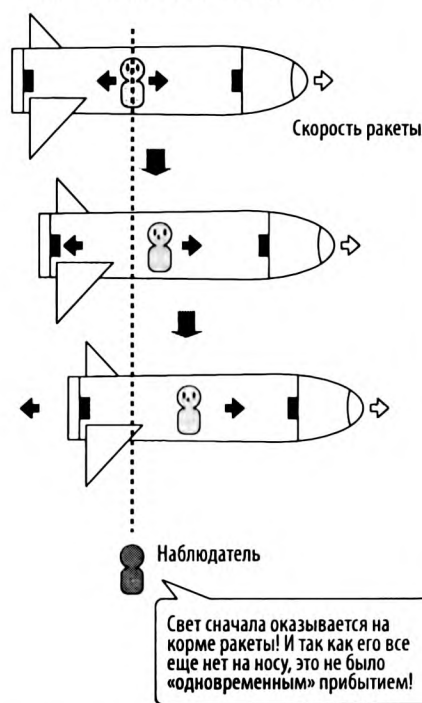


Рис. 1.10. Скорость света постоянна (релятивистское сложение скоростей)

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ

Принцип относительности Галилея гласит, что «законы физики неизменны независимо от состояния системы координат, откуда ведется наблюдение: покой или постоянная скорость». Другими словами механика Ньютона (физические законы, управляющие движением) всегда одинаковы, независимо то того, ведется ли наблюдение в системе координат, находящейся в покое, или в той, что движется с постоянной скоростью. Этот принцип был выявлен в ходе эксперимента, когда железный шар падал с мачты корабля, как показано на **рис. 1.11**. Железный шар падал точно под мачтой независимо от того, двигалось судно или стояло на месте.



Рис. 1.11. Принцип относительности Галилея

Так как законы физики равны для любых систем координат, Галилей описал, как наблюдения выглядят в зависимости от того, в какой системе координат вы находитесь. В наши дни для лучшего понимания «сложения» относительных скоростей используются алгебраические уравнения, называемые *преобразованиями Галилея*.

Возьмем две системы координат: одну с переменными x и t – (x, t) , а другую с переменными x' и t' – (x', t') , где x и x' описывают положение тела, t и t' – время. Тело может переходить из одной системы координат в другую, при этом скорость одной системы относительно другой равна v .

$$x' = x - vt, \quad t' = t$$

Эти уравнения показывают соотношение между координатами системы находящейся в покое и системы координат, движущейся с постоянной скоростью v относительно системы координат в покое. Инерциальные системы координат взаимосвязаны друг с другом с помощью преобразования Галилея. Если сравнить их при помощи уравнений движения Ньютона, можно доказать, что уравнения движения Ньютона принимает тот же вид в каждой инерциальной системе. Другими словами, когда принцип Галилея выполняется, тогда же выполняется механика Ньютона.

РАЗНИЦА МЕЖДУ ПРИНЦИПОМ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ И СПЕЦИАЛЬНЫМ ПРИНЦИПОМ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА

Как было описано выше, принцип относительности Галилея показывает, что механика Ньютона применима ко всем инерциальным системам координат, когда объединена с преобразованием Галилея.

С другой стороны предположение, что скорость света постоянна в любой системе координат, вынудило физиков переформулировать преобразования Галилея так, чтобы она соотносилась с постоянством скорости света. Эта новая трансформация называется *преобразованием Лоренца*.

Преобразования Лоренца выражаются с помощью уравнений, показанных ниже. Они показывают соотношение между координатами системы координат в покое и координатами системы, движущейся с постоянной скоростью относительно первой системы координат. Переменные с символом $(')$ представляют собой координаты, отслеживаемые из системы координат, находящейся в покое, а переменные без такого символа обозначают координаты, отслеживаемые из движущейся системы. Заметим, что здесь в уравнениях появляется скорость света c . Еще один интересный момент – это время t , которое преобразовано наподобие длины: время не существует само по себе, а должно рассматриваться вместе с пространством.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

А КАК ЖЕ ТЕПЕРЬ ★ ★ СКЛАДЫВАТЬ СКОРОСТИ?

Когда мы предполагаем, что скорость света постоянна, что происходит, когда скорости складываются?

Согласно принципу относительности, при подсчете на основе преобразований Лоренца, сложение скоростей определяется следующим уравнением:

$$w = \frac{u + v}{1 + \frac{vu}{c^2}}$$

Это уравнение описывает результат сложения скоростей снаряда w , когда скорость ракеты равна v , а скорость снаряда (наблюдаемая с ракеты), выпущенного с ракеты, равна u , как показано на **рис. 1.12**. Разница очевидна, если сравнить это уравнение с обычным (нерелятивистским) уравнением сложения скоростей $w = u + v$.

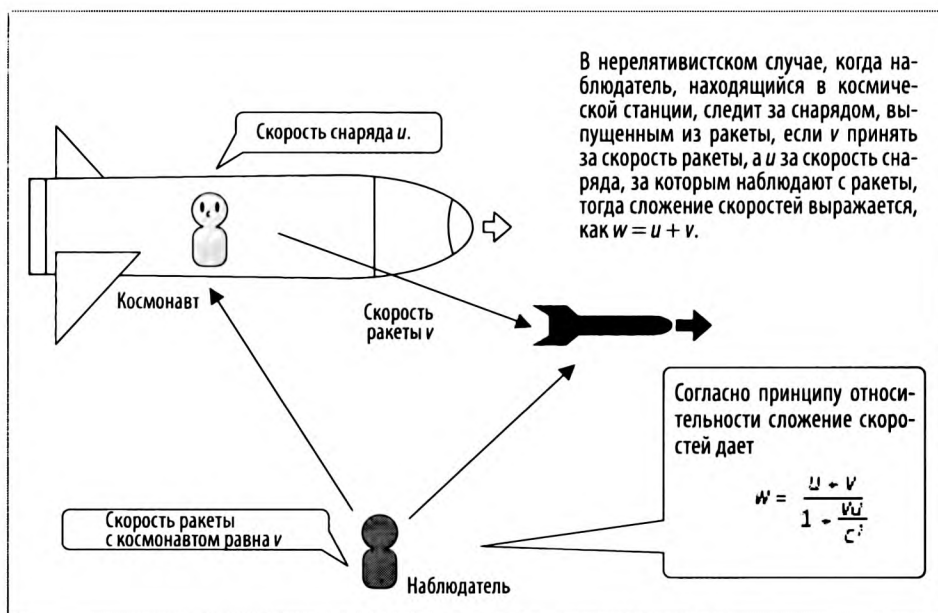


Рис. 1.12. Сложение скоростей

Если мы введем в уравнение специальные скорости, то получим интересный результат.

Например, когда скорость ракеты v составляет 50% от скорости света ($0,5c$), и скорость снаряда, за которым наблюдают из ракеты, u составляет 50% скорости света (также $0,5c$), то скорость снаряда w , наблюдаемого с космической станции, будет составлять 80% скорости света ($0,8c$).

$$w = \frac{(0,5c + 0,5c)}{\left[1 + \frac{(0,5c)^2}{c^2}\right]} = \frac{c}{1,25} = 0,8c$$

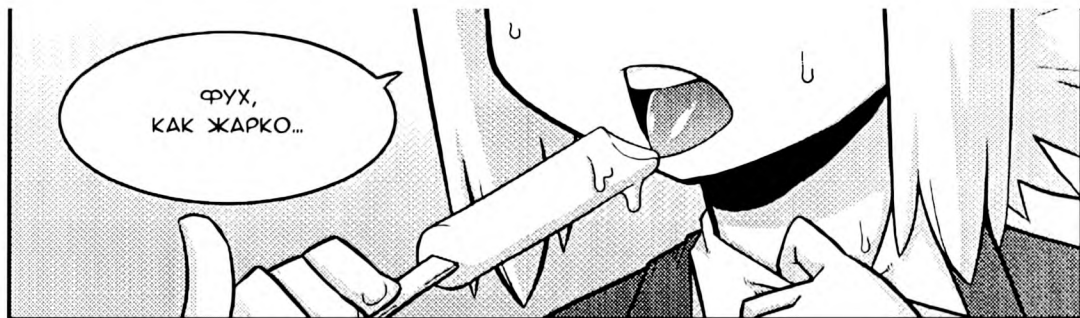
Это уравнение также дает интересный результат, когда v и u принимают максимальные значения. Если скорость ракеты v равна 100% скорости света (то есть фактически $v = c$; это невозможное условие для тела с массой, то есть для ракеты), а скорость снаряда u , за которым наблюдают из ракеты, тоже равна 100% скорости света, тогда скорость снаряда w , со стороны наблюдателя на станции, будет равна скорости света.

$$w = \frac{(c + c)}{\left[1 + \frac{c^2}{c^2}\right]} = \frac{2c}{2} = c$$

Скорость света нельзя превзойти ни при каких условиях!



**ЧТО ЗНАЧИТ
«ВРЕМЯ ЗАМЕДЛЯЕТСЯ»?**





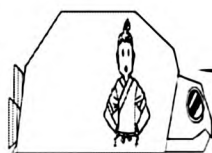
2.1. ЭФФЕКТ УРИШИМЫ (ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ)



ПРЕДПОЛОЖИМ, ЧТО КОСМИЧЕСКИЙ
КОРАБЛЬ ВЕСОМ 10 ТОНН И ДЛИНОЙ
100 МЕТРОВ ЛЕТИТ СО СКОРОСТЬЮ
99,6% ОТ СКОРОСТИ СВЕТА.

ДОПУСТИМ, ЧТО НАБЛЮДАТЕЛЬ НА
ЗЕМЛЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬ КОСМОСА -
РОДНЫЕ СЕСТРЫ-БЛИЗНЕЦЫ.

Исследователь космоса внутри
ракеты, летящей со скоростью
99,6% скорости света.



Для наблюдателя на Земле ракета
исследователя, улетающая от него со
скоростью 99,6% скорости света, будет
представляться длиной 9 м и массой
110 тонн.

Та ракета, с сестрой на
борту, летит со скоростью 99,6%
скорости света.



Для наблюдателя на Земле
его собственная ракета имеет
длину 100 м и массу 10 тонн.

Наблюдатель на Земле, в ракете в состоянии покоя.

ЕСЛИ
РАКЕТА УЛЕТИТ С ЗЕМЛИ
СО СКОРОСТЬЮ 99,6% СКОРОСТИ СВЕТА
И ПРОБУДЕТ В КОСМОСЕ 1 ГОД ПО СВОЕМУ
ИЗМЕРЕНИЮ, А ЗАТЕМ ВЕРНЕТСЯ НАЗАД, ТО НА
ЗЕМЛЕ ПРОЙДЕТ ПРИМЕРНО 10 ЛЕТ.

Близнецы

ДРУГИМИ СЛОВАМИ,
ИЗ-ЗА ЭФФЕКТА
УРИШИМИ РАЗНИЦА В
ВОЗРАСТЕ СОСТАВИТ
9 ЛЕТ.





2.2. ПРОЧЕМУ ЗАМЕДЛЯЕТСЯ ВРЕМЯ?





ЧТОБЫ ПОНЯТЬ, КАК
ЗАМЕДЛЯЕТСЯ ВРЕМЯ,
ДАВАЙ ПРЕДПОЛОЖИМ, ЧТО
ТЫ, МИНАГИ, НАХОДИШЬСЯ
НА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ,
КОТОРАЯ ЛЕТИТ БЕЗ
УСКОРЕНИЯ.

А РАКЕТА, В КОТО-
РОЙ ЛЕЧУ Я НА СКОРО-
СТИ БЛИЗКОЙ К СКОРОСТИ
СВЕТА, ПРОЛЕТАЕТ ПРЯМО
ПЕРЕД ТОБОЙ. МОЖНО ПРО-
ИЛЛЮСТРИРОВАТЬ ЭТО
ВОТ ТАК.



О... РАКЕТА СО
СКОРОСТЬЮ
СВЕТА! ОТЛИЧНЫЕ
УСЛОВИЯ, ПОЛНЫЕ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ!

Космонавт Юрага на ракете,
летающей почти со скоростью
света.

ТЫ ЭТО
О ЧЕМ?

Наблюдатель Минаги,
в состоянии покоя на
космической станции.

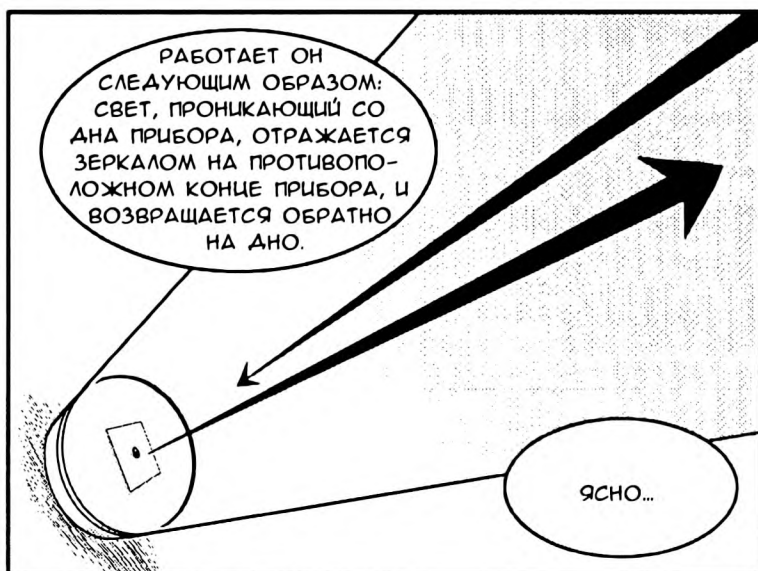
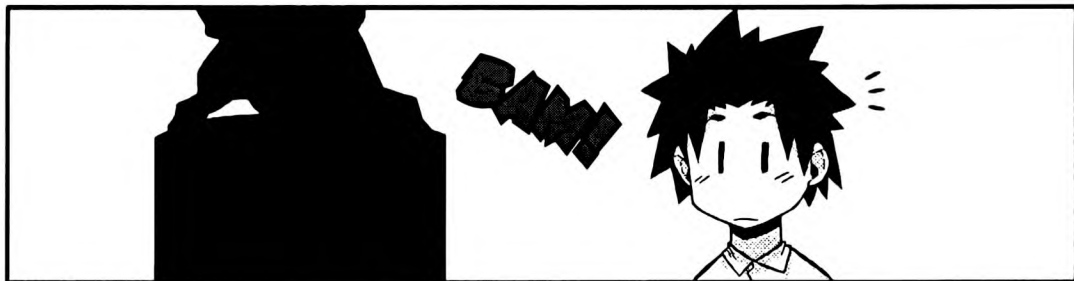


В ЭТИХ УСЛОВИЯХ МЫ
МОЖЕМ ИЗМЕРИТЬ
ИХ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ
ВРЕМЯ.

НО!

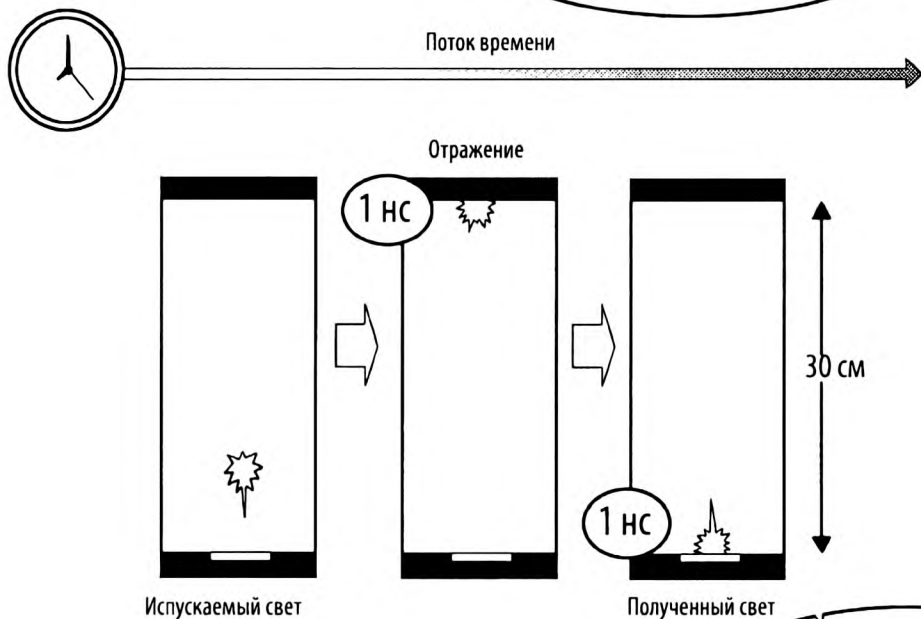
ЧТОБЫ ИЗМЕРИТЬ
ВРЕМЯ, МЫ ВОСПОЛЬ-
ЗУЕМСЯ ОСОБЫМ ПРИЕО-
РОМ, В ОСНОВЕ КОТОРОГО
ПРИНЦИП - СКОРОСТЬ СВЕТА
ПОСТОЯННА.

ОСОБЫЙ
ПРИБОР?



ТАК КАК ДЛИНА ТРУБЫ РАВНА 30 СМ,
СВЕТ ДОСТИГНЕТ ВЕРХА ЗА 1 НС
(НАНОСЕКУНДУ)...

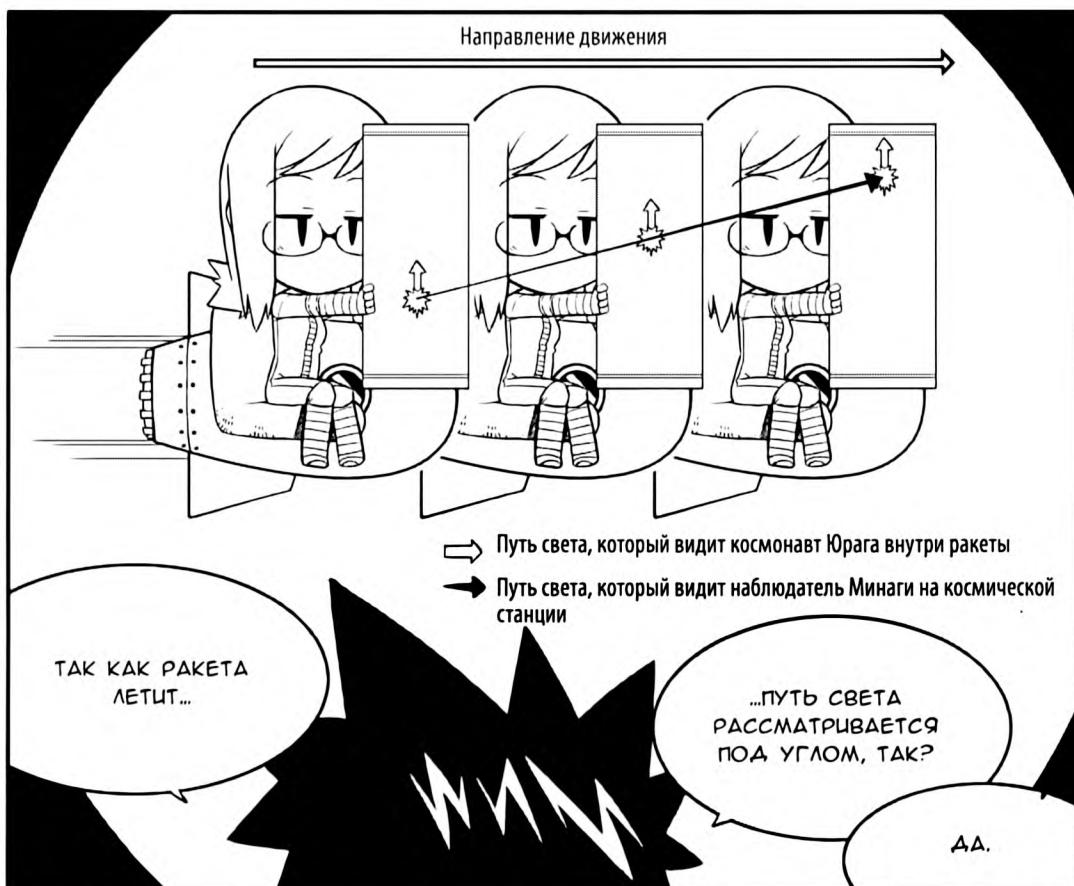
А КОГДА ОН ОТРАЗИТСЯ
И ВЕРНЕТСЯ ОБРАТНО, НАДО
ПРИБАВИТЬ ЕЩЕ 1 НС.
КСТАТИ, 1 НС - ЭТО 1 МИЛЛИАРДАЯ
ДОЛЯ СЕКУНДЫ.



ВРЕМЯ ИЗМЕРЯЕТСЯ
БЛАГОДАРИ ДВИЖЕНИЮ
СВЕТА, ДА?

У КАЖДОГО ИЗ НАС - У МИНАГИ
(НА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ) И У
МЕНЯ (ЛЕТЯЩЕЙ НА РАКЕТЕ) ЕСТЬ
ТАКИЕ ЧАСЫ, И МЫ ПОПРОБУЕМ
ПРОВЕРИТЬ, КАК ДВИЖЕТСЯ ВРЕМЯ
ДЛЯ КАЖДОГО ИЗ НАС.

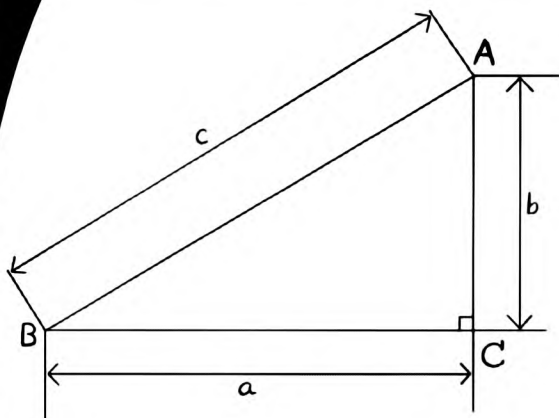
ХОРОШО.



НА СВОИХ ЧАСАХ МЫНАГИ
ВИДИТ СВЕТОПАДУЩИЙ
СТРОГО ВВЕРХ-ВНИЗ, А НА
МОИХ ЧАСАХ ОН ВИДИТ
СВЕТОПРЕОДОЛЕВАЮЩИЙ
ПОД УГЛОМ БОЛЕЕ
ДЛИННЫЙ ПУТЬ.



ДАВАЙ
РАССМОТРИМ
ЭТО С ПОМОЩЬЮ
ТЕОРЕМЫ
ПИФАГОРА.



Теорема Пифагора

$$c^2 = a^2 + b^2$$

ТЕОРЕМА ПИФАГОРА
ГЛАСИТ, ЧТО «КВАДРАТ
ГИПОТЕНУЗЫ РАВЕН
СУММЕ КВАДРАТОВ
КАТЕТОВ»... ТО ЕСТЬ...

ЭТО ТА ТЕОРЕМА, ГДЕ
ГОВОРЯТСЯ ЧТО ДЛЯ
ПРЯМОУГОЛЬНОГО
ТРЕУГОЛЬНИКА ABC ВЕРНО
ОТНОШЕНИЕ $c^2 = a^2 + b^2$,
ТАК?



ЕСЛИ ПРИМЕНИТЬ ТЕОРЕМУ ПИФАГОРА К НАШЕМУ НАБЛЮДЕНИЮ ЗА СВЕТО-
ВЫМИ ЧАСАМИ, МЫ ОБНАРУЖИМ, ЧТО
СВЕТ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВОДОЙ
ГИПОТЕНУЗЫ, ПРОХОДИТ БОЛЬШЕЕ
РАССТОЯНИЕ, ЧЕМ ВЫСОТА СВЕТО-
ВЫХ ЧАСОВ, ВЕРНО?

АА,
ТОЧНО!

ЕСЛИ ПРИНЯТЬ ВО ВНИМАНИЕ ПРИН-
ЦИП ПОСТОЯНСТВА СКОРОСТИ СВЕТА,
КОТОРЫЙ ГЛАСИТ, ЧТО СКОРОСТЬ
СВЕТА ПОСТОЯННА НЕЗАВИСИМО
ОТ ТОЧКИ НАБЛЮДЕНИЯ,

ТО ЕСТЬ, ДАЖЕ
КОГДА МИНАГИ СМОТРИТ НА
СВЕТОВЫЕ ЧАСЫ С КОСМИЧЕСКОЙ
СТАНЦИИ И ЗАМЕЧАЕТ, ЧТО 1 НС УЖЕ
ПРОЛЕТЕЛА, А СВЕТ ЕЩЕ НЕ ДОС-
ТИГ ВЕРШИНЫ СВЕТОВЫХ ЧАСОВ
НА РАКЕТЕ.

Еще не
достиг

Свет исходит
одновременно!

Хм?

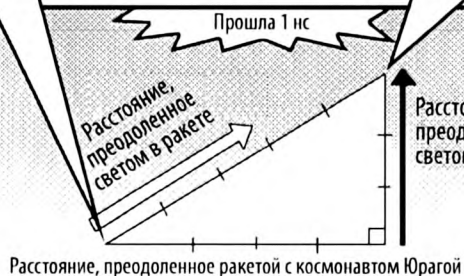
Свет еще не дошел
до вершины часов
на ракете?!

1 нс

БЭМС!

А здесь уже
дошел!

МОЖНО ПРОИЛ-
ЛЮСТРИРОВАТЬ
ЭТО ВОТ ТАК.

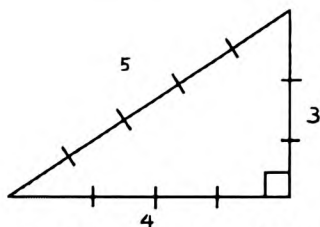


И ЧТО, ВСЁ ТАК
И ЕСТЬ?

ПОКА МИНАГИ ЖАЕТ,
КОГДА СВЕТ В МОЕЙ
РАКЕТЕ ВЕРНЕТСЯ ОБРАТ-
НО НА ДНО ЧАСОВ, НА
ЕГО СОБСТВЕННЫХ ЧАСАХ
ПРОЦАЕТ БОЛЬШЕ 2 НС.

ДРУГИМИ СЛОВАМИ ВРЕМЯ
ЦАЕТ МЕДЛЕННЕЕ НА РАКЕТЕ,
ГДЕ НАХОЖУСЬ Я.

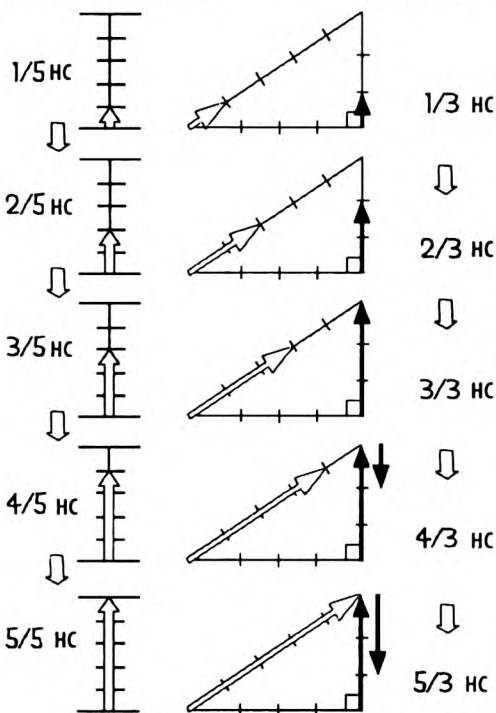
ХОТЯ ЭТО И СТРАННО
ЗВУЧИТ, НО ТАК ОНО
НА САМОМ ДЕЛЕ И
ПРОИСХОДИТ.



Возьмем для примера
прямоугольный треугольник со
соотношением сторон 3:4:5

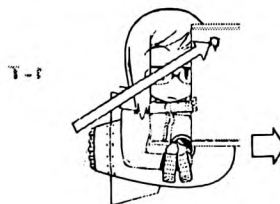
Течение времени (и движение света)
при наблюдении с космической
станции (наблюдает Минаги)

Свет на космической
станции (наблюдает
Минаги) ↑

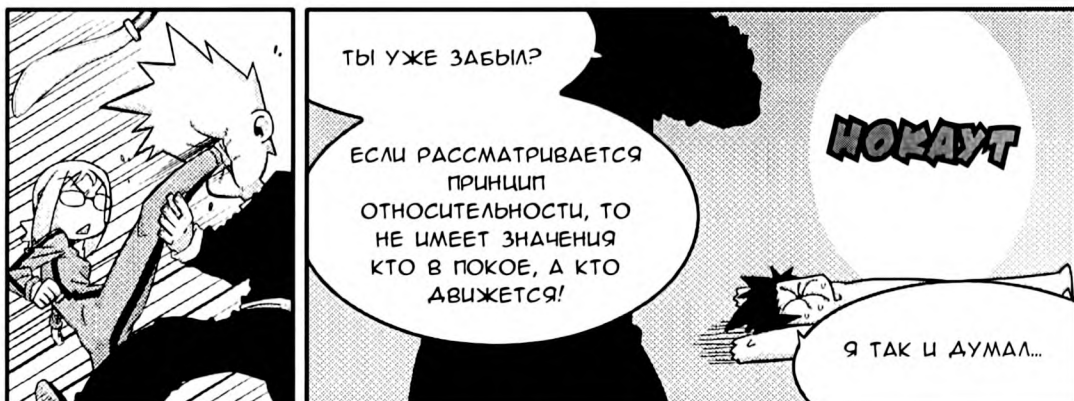


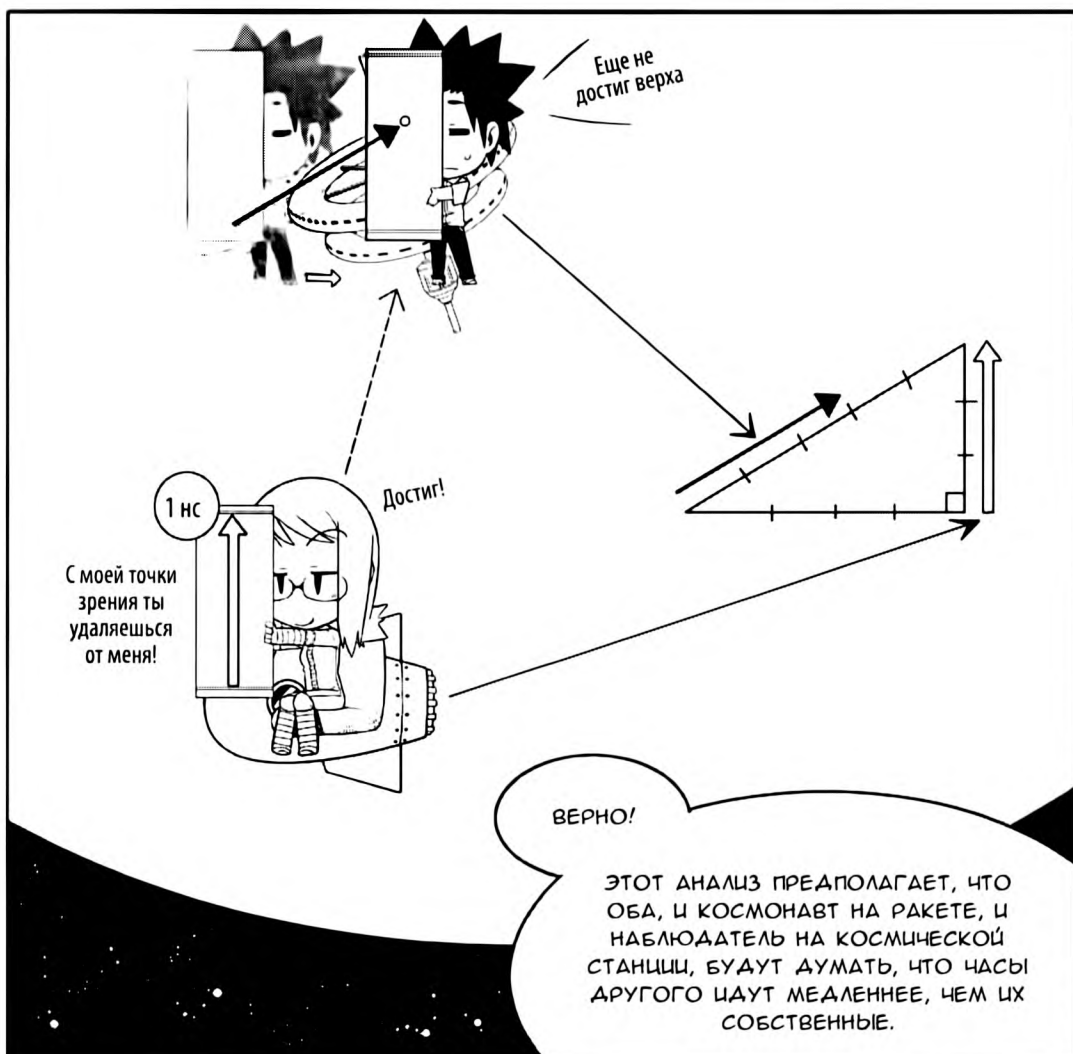
Свет на ракете
(наблюдает Минаги)

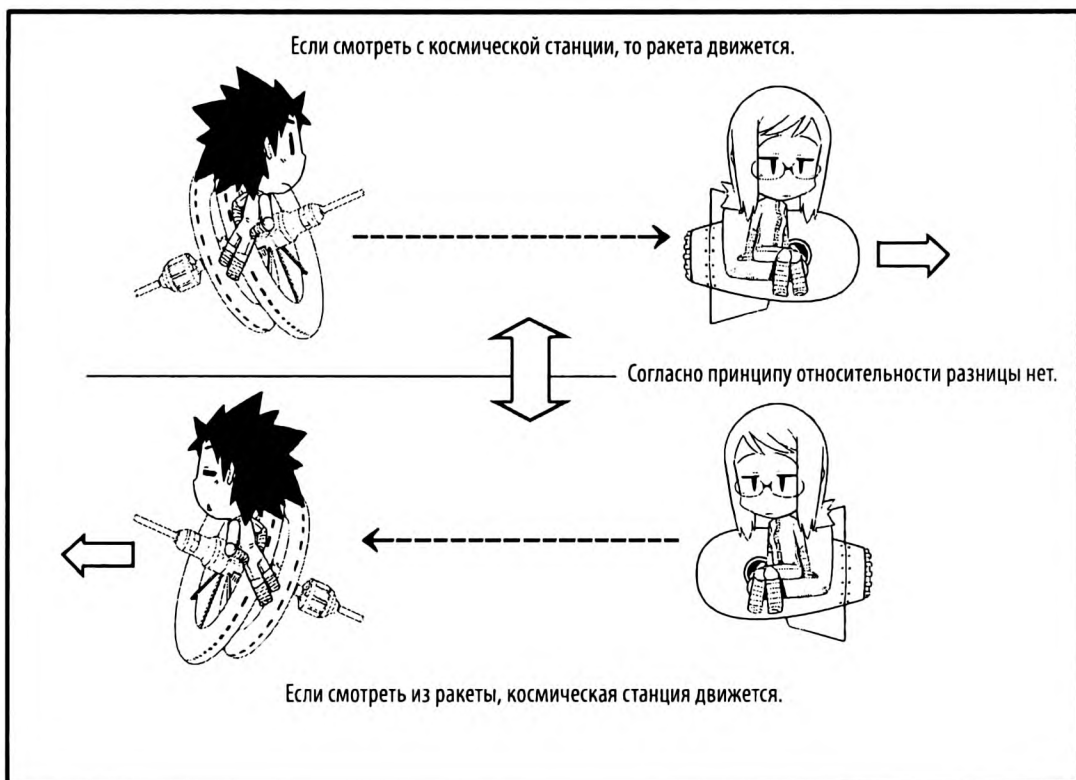
Путь, пройденный
светом внутри ракеты,
как это видно с
космической станции



2.3. ЗАМЕДЛЕНИЕ ХОДА ВРЕМЕНИ ВЗАИМНО И ОДИНАКОВО ВЛИЯЕТ НА КАЖДУЮ ИЗ СТОРОН



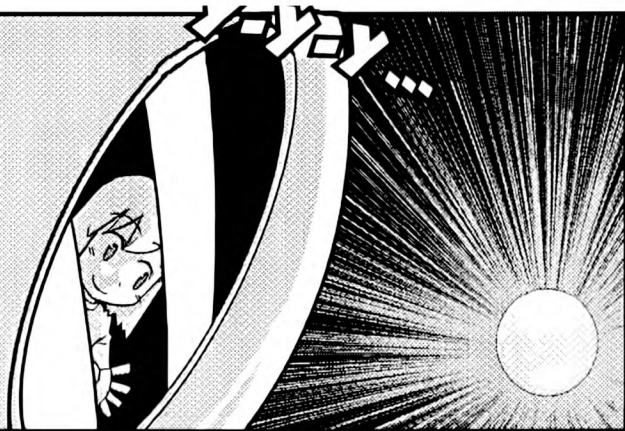






НО С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СТАРШЕЙ СЕСТРЫ, ЗЕМЛЯ, ГДЕ НАХОДИЛАСЬ МЛАДШАЯ СЕСТРА, ДВИГАЛАСЬ ТОЖЕ ПОЧТИ ЧТО СО СКОРОСТЬЮ СВЕТА. И ВРЕМЯ МЛАДШЕЙ СЕСТРЫ ЗАМЕДЛЯЛОСЬ. ТУТ МЫ ВИДИМ ПРОТИВОРЕЧИЕ.

Я ПОНИМАЮ, О ЧЕМ ВЫ...



Младшая сестра говорит «у моей старшей сестры время замедлилось», ведь ракета же двигалась.



Обе заявляют, что у сестры «замедлилось время». В этом и заключается парадокс.



СОГЛАСНО ТЕОРИИ, ВРЕМЯ ЗАМЕДЛЯЕТСЯ ДЛЯ СТАРШЕЙ СЕСТРЫ, КОТОРАЯ ЛЕТИТ В РАКЕТЕ, И КОГДА ОНА ВЕРНЕТСЯ НА ЗЕМЛЮ, МЛАДШАЯ СЕСТРА БУДЕТ СТАРШЕ НЕЕ.

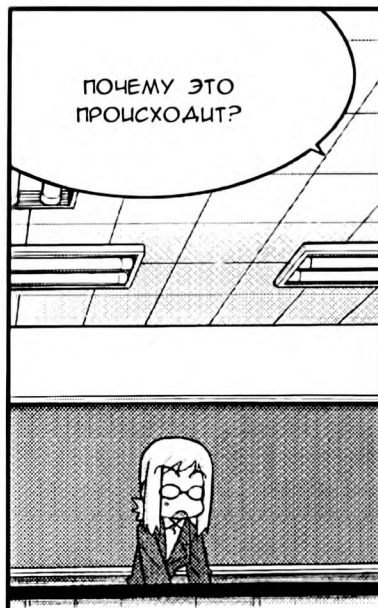
Старшая сестра заявляет «у моей младшей сестры время замедлилось», ведь Земля же двигалась.

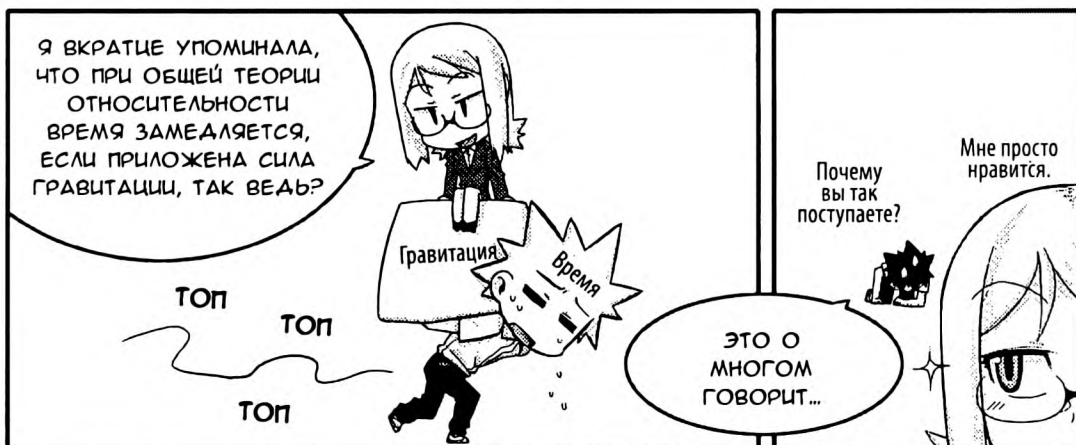
Какой неожиданно вкусный краб.



Да, он такой. Нравится?







ЧТОБЫ ЛЕГЧЕ БЫЛО
ПОНЯТЬ, ДАВАЙ
СООРУДИМ ВОТ
ТАКУЮ РАКЕТУ.

ОНА ИДЕАЛЬНО
КРУГЛАЯ И ОСНА-
ЩЕНА ДВУМЯ ДВИ-
ГАТЕЛЯМИ СВЕРХУ
И СНИЗУ.

Система координат, в которой Земля
находится в покое



Ракета движется с постоянной скоростью.



Ракета продувает двигатели, чтобы снизить скорость и изменить направление.



На короткое время скорость становится равной нулю, когда ракета меняет направление.



Когда достигнута нужная скорость на пути обратно, ракета перестает продувать двигатели.

КОГДА РАКЕТА
РАЗВОРАЧИВАЕТСЯ,
ЧТОБЫ ВЕРНУТЬСЯ НА
ЗЕМЛЮ...



...СТАРШАЯ СЕСТРА
ЧУВСТВУЕТ, КАК БУДОТ НА
НЕЕ ДЕЙСТВУЕТ СИЛЬНАЯ
ГРАВИТАЦИЯ, А НЕ ТО, ЧТО
ОНА ЗАМЕДЛЯЕТСЯ ИЛИ
УСКОРЯЕТСЯ.

ГРАВИТАЦИЯ

А НА САМОМ
ДЕЛЕ РАКЕТА
ЗАМЕДЛЯЕТСЯ И
УСКОРЯЕТСЯ, ЧТОБЫ
РАЗВЕРНУТЬСЯ.



СТАРШАЯ СЕСТРА
НАБЛЮДАЕТ, КАК ЗЕМЛЯ
МЕНЯЕТ НАПРАВЛЕНИЕ ИЗ-ЗА
ГРАВИТАЦИИ. ДРУГИМИ
СЛОВАМИ ОНА ВИДИТ, КАК
ЗЕМЛЯ ПАДАЕТ В ЕЕ
СТОРОНУ.

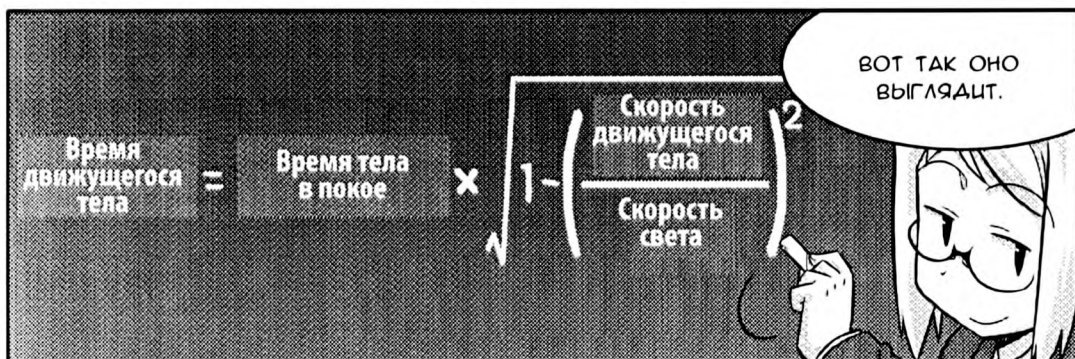


С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
СЕСТРЫ ИМЕННО
ЗЕМЛЯ ПАДАЕТ.





2.4. ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ В УРАВНЕНИЯХ



УДИВИТЕЛЬНО,
НАСКОЛЬКО
ЭТО ПРОСТОЕ
УРАВНЕНИЕ, НЕ
ПРАВДА ЛИ?

К ПРИМЕРУ, КОСМИЧЕСКИЙ
ЧЕЛНОК ЛЕТИТ СО
СКОРОСТЬЮ 8 КМ/С. ЕСЛИ В
УРАВНЕНИЕ ПОСТАВИТЬ ЭТО
ЗНАЧЕНИЕ, КАК «СКОРОСТЬ
ДВИЖУЩЕГОСЯ ТЕЛА»...

...И ВЫПОЛНИТЬ РАСЧЕТ,
КОЭФФИЦИЕНТ ВНУТРИ
КВАДРАТНОГО КОРНЯ БУДЕТ
ПРАКТИЧЕСКИ РАВЕН НУЛЮ,
ПОЭТОМУ КВАДРАТНЫЙ
КОРЕНЬ БУДЕТ ПРАКТИЧЕСКИ
РАВЕН ЕДИНИЦЕ.

ДРУГИМИ СЛОВАМИ,
ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ
ВООБЩЕ ВРЯД ЛИ
ВОЗНИКНЕТ.

АА, ЭТО ТАК.

НО, ЕСЛИ ПРОВЕСТИ
ВЫЧИСЛЕНИЯ, ВЗЯВ 90%
ОТ СКОРОСТИ СВЕТА, ИЛИ
270 000 КМ/С, ТО САМ
КВАДРАТНЫЙ КОРЕНЬ...

ТЕПЕРЬ ДАВАЙ
ТЫ, МИНАГИ.

ЛОВЦ!

ЧТО...
ЭМ... ГМ...

$$\sqrt{1 - \left(\frac{270000}{300000}\right)^2}$$

СЛЕДОВА-
ТЕЛЬНО...

=0.43588989...

ТАК,
ПРАВИЛЬНО.

АА, ПОХОЖЕ,
ТЫ ВСЕ ХОРОШО
УСВОИЛ?

Там далее не все
цифры важны, но ты
отлично справился.

ОДИН ГОД ЭТО
60 СЕКУНД ×
60 МИНУТ × 365 ДНЕЙ =
31536000 СЕКУНД...

...ДАЛЬШЕ УМНОЖАЕМ
 $31536000 \times 0,4358898943$,
И ПОЛУЧАЕМ, ЧТО ВРЕМЯ
ТЕЛА НАХОДЯЩЕГОСЯ В
ПОКОЕ РАВНО 13746223
СЕКУНДЫ.

ЕСЛИ ПЕРЕВЕСТИ
ЭТО В ДНИ...

...ЭТО ПРИМЕРНО
159 ДНЕЙ.

ЩЕЛК
ЩЕЛК
ЩЕЛК

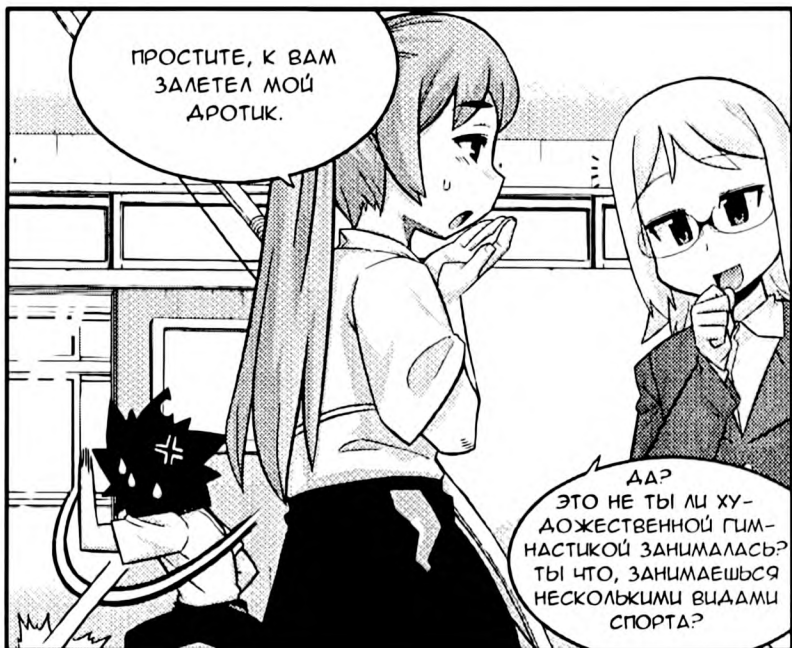
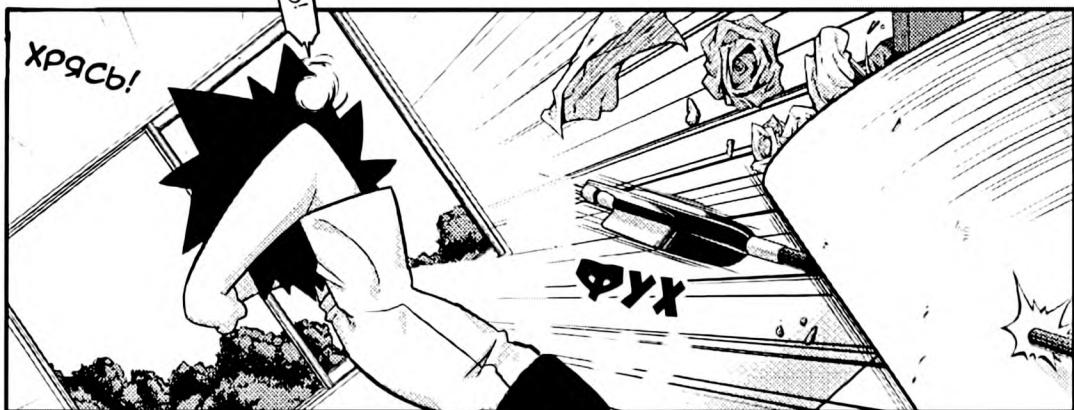
ПОЛУЧАЕТСЯ, ЧТО
ВРЕМЯ ТЕЧЕТ
В 2,29 РАЗ
МЕДЛЕННЕЕ.

ТО ЕСТЬ ГОД ДЛЯ
ЧЕЛОВЕКА В ПОКОЕ
ВАШЕ МЕНЬШЕ ВРЕ-
МЕНИ ЧЕЛОВЕКА, ДВИЖУ-
ЩЕГОСЯ СО СКОРОСТЬЮ
БЛИЗКОЙ К СКОРОСТИ
СВЕТА?

АГА.

О?

ОГО!







ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ЭТОГО С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ ПИФАГОРА

Мы уже знаем, что согласно теории относительности для тела, движущегося со скоростью близкой к скорости света, время идет медленнее. Но вот насколько медленнее? Мы уже рассматривали этот вопрос с демонстрацией теоремы Пифагора для прямоугольного треугольника. Теперь привлечем формулы.

Пусть t означает затраченное время по мнению человека (наблюдателя), находящегося на космической станции и смотрящего на световые часы в ракете, а t' означает затраченное время по мнению человека (космонавта), находящегося в ракете и смотрящего на свои собственные часы (см. **рис. 2.1**).

t : Время, наблюдаемое на станции.

t' : Время, наблюдаемое в ракете.

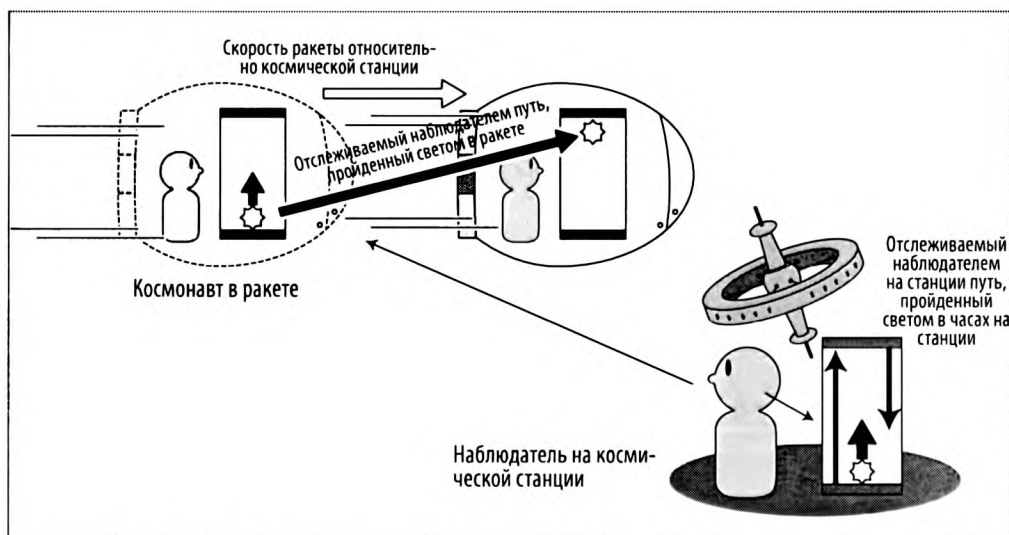


Рис. 2.1. Космонавт в ракете и наблюдатель на космической станции

Когда космонавт в ракете смотрит на свои часы, свет просто движется вверх-вниз, потому что световые часы перемещаются вместе с космонавтом. Следовательно, если c – скорость света, то, когда свет продвинется вперед на высоту световых часов, он преодолеет расстояние равное ct' .

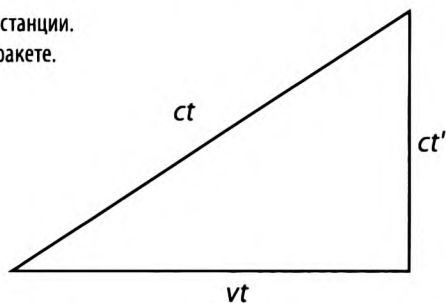
Теперь, если наблюдатель на космической станции следит за движением света в световых часах ракеты, то, конечно же, для него свет будет двигаться вверх под углом со скоростью света c из-за движения ракеты. Эта наклонная прямая смотрит в сторону зеркала (наверху) ракетных световых часов. Используя время t наблюдателя на станции, получаем что расстояние равно ct .

Так как наблюдатель на станции видит, что дно световых часов ракеты (откуда свет испускается) движется горизонтально со скоростью ракеты v , это дно продвинется на расстояние vt вправо за время t , за которое свет достигнет верха часов.

Это определяет нам три стороны треугольника.

t : Время, наблюдаемое на станции.

t' : Время, наблюдаемое в ракете.



Следовательно, по теореме Пифагора мы получаем

$$c^2 t^2 = c^2 t'^2 + v^2 t^2.$$

Перенесем v^2 в левую часть уравнения:

$$(c^2 - v^2) t^2 = c^2 t'^2$$

Поменяем стороны местами:

$$c^2 t'^2 = (c^2 - v^2) t^2$$

Поделив все на c^2 , получаем:

$$t'^2 = \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) t^2$$

Теперь извлечем квадратный корень с двух сторон равенства и оставим положительное значение корня:

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \times t$$

Это отношение между временем t' космонавта в ракете и временем t наблюдателя на станции. Заметим, что $t' < t$ так как

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1$$

Одна секунда (1 с), измеренная на световых часах космонавта в ракете соотносится с более продолжительным временем, измеренным наблюдателем на станции. Поэтому наблюдатель на станции видит, что часы в ракете отсчитывают время медленнее, чем его собственные. Другими словами время течет медленнее для космонавта в ракете, по сравнению с наблюдателем на станции.

Это также очевидно, если рассмотреть выражение

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

и этот эффект замедления тем больше, чем ближе v к c .

Используя эту формулу, мы можем подсчитать эффект замедления времени для тела, движущегося с любой скоростью относительно неподвижного наблюдателя.

НАСКОЛЬКО ЗАМЕДЛЯЕТСЯ ВРЕМЯ?

Мы уже выяснили, что время замедляется для движущихся тел. Теперь давайте точно определим, на какую величину оно замедляется. В качестве примера для вычислений будем использовать космическое путешествие.

Как мы уже видели ранее, замедление времени связано со скоростью движущегося тела. Вспомните, что, чем ближе скорость летящего тела к скорости света, тем больше эффект замедления времени.

В качестве конечной точки нашего путешествия возьмем звезду, самую близкую к нашему Солнцу – Альфа Центавра (см. **рис. 2.2**). Если выбрать конечную точку в нашей Солнечной системе, мы не сможем подвергнуть теорию относительности эксперименту, потому что до Марса и Венеры можно долететь за несколько лет даже используя сегодняшние технологии, которые далеки от скоростей сопоставимых со скоростью света.

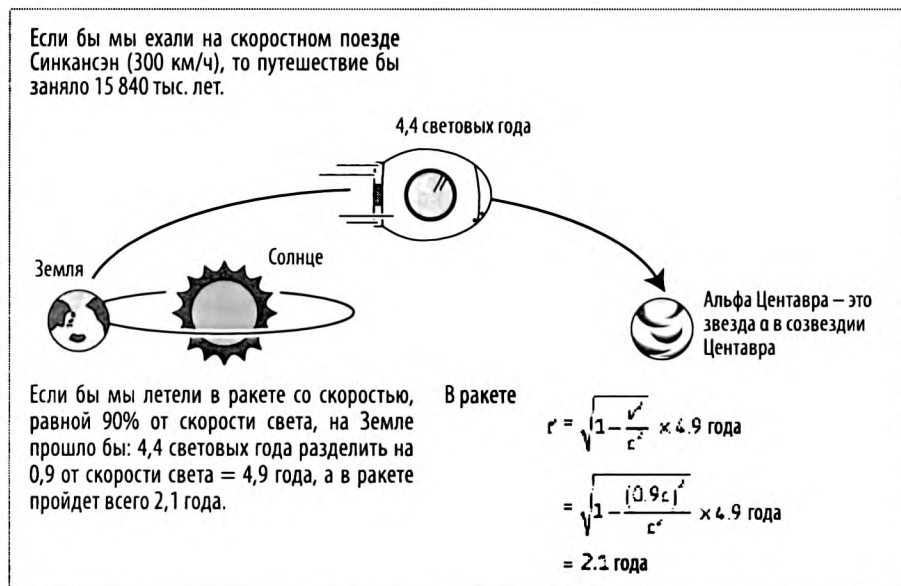


Рис. 2.2. Время путешествия к Альфа Центавра

Альфа Центавра (самая яркая звезда в созвездии Центавра) лежит на расстоянии в 4,4 световых года от Земли. Световой год, который равен расстоянию, пройденному светом за один земной год, примерно равен 9 460 800 000 000 км.* Путешествие длиной 4,4 световых года на скоростном поезде Синкансэн (300 км/ч) примерно заняло бы 15 840 000 лет. Но, если мы пролетим расстояние до Альфа Центавра на скорости 90% от скорости света, то это путешествие заняло бы всего 2,1 года. Это несмотря на тот факт, что на Земле к тому моменту пройдет 4,9 года.

Если бы космонавтов отправили с Земли на Альфа Центавра, и даже если бы они вернулись сразу, как только долетели туда, новостные ленты на Земле следили бы за ними примерно 10 лет, но к моменту, когда бы их встречали на Земле, они составились бы всего только на 4,2 года.

* Давайте посчитаем: $\frac{300\,000 \text{ км}}{1 \text{ с}} \times \frac{60 \text{ сек}}{1 \text{ мин}} \times \frac{60 \text{ мин}}{1 \text{ час}} \times \frac{24 \text{ часа}}{1 \text{ день}} \times \frac{365 \text{ дней}}{1 \text{ год}} = 9\,460\,800\,000 \text{ км!}$

Этот релятивистский эффект замедления времени становится еще больше, если двигаться еще быстрее.

Чтобы понять это соотношение, давайте рассмотрим путешествие от галактики Млечный Путь, куда входит наше Солнце, до галактики Андромеда (М31), находящейся недалеко от Млечного Пути. Галактику Андромеда можно увидеть в темном чистом зимнем небе. Она представляет собой размытое пятно в созвездии Андромеда. Это примерно 2 500 000 световых лет от нас. Так как свету требуется 2,5 млн. лет, чтобы добраться до нас, Андромеда, что мы видим сейчас, это на самом деле Андромеда 2,5 млн. лет назад. Даже если сейчас в этой галактике произойдет взрыв, мы увидим его не раньше, чем через 2,5 млн. лет, ведь именно столько времени от нее до нас идет свет.

Если бы астронавты летели к галактике Андромеда со скоростью 99,999999999% скорости света, то полет только туда занял бы 11,2 года, а вот на Земле прошло бы почти 2,5 млн. лет! Следовательно, когда корабль вернулся бы назад, космонавты состарились бы на 22,4 года, а люди, которые бы их встречали, были бы из времени 5 млн. лет после нас.

Давайте проведем расчеты: если корабль летел бы к Андромеде на скорости 99,999999999% от скорости света, людям на Земле пришлось бы ждать 2,5 млн. лет, пока корабль доберется до Андромеды, и еще 2,5 млн. лет, пока он вернется обратно. Всего возвращения придется ждать 5 млн. лет. Время, потраченное астронавтами на путешествие, для них составит время t' , и его можно посчитать по формуле замедления времени, которая была дана ранее. При этом используется время путешествия до Андромеды, как оно идет для землян ($t = 2\,500\,000$), и скорость космического корабля $v = 0,99999999999\text{ с}$.

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \times t = \sqrt{1 - \left(\frac{0,99999999999\text{ с}}{c} \right)^2} \times t = 11,2 \text{ года}$$

Для космонавтов на космическом корабле путь до Андромеды и обратно займет 22,4 года, как это показано на **рис. 2.3**. Для землян астронавты вернутся всего на 22,4 года старше, чем они были, когда улетали 5 млн. лет назад!

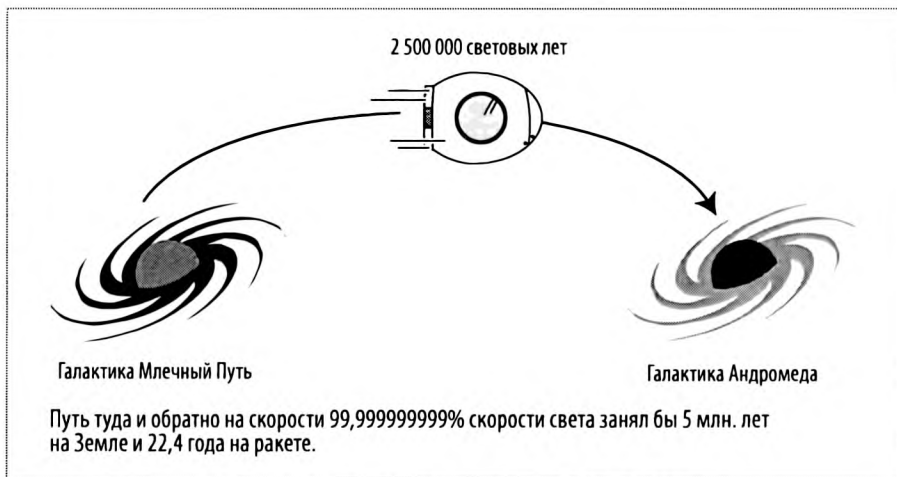


Рис. 2.3. Путешествие к галактике Андромеда



**ЧЕМ БЫСТРЕЕ ДВИЖЕТСЯ ТЕЛО,
ТЕМ КОРОЧЕ И ТЯЖЕЛЕЕ ОНО
СТАНОВИТСЯ?**



А ТЕПЕРЬ
СМОТРИ.

МОЖЕШЬ МАХАТЬ
НА МЕНЯ БОЛЕЕ
РАВНОМЕРНО?

ШУРХ

ФЫРХ

КТО ВАМ СКАЗАЛ,
ЧТО Я В ЭТОМ
СПЕЦИАЛИСТ?

ПОЧЕМУ МЫ
ОКАЗАЛИСЬ У
БАССЕЙНА? ЧТО
ПРОИСХОДИТ?

ХЛЮП

НУ ...



РАЗ ТЫ ВСЕ-ТАКИ ОТКРЫЛ
ПОДАРОК, КОТОРЫЙ ТЕБЕ
ПРИНЕСЛИ, ВОТ МЫ ТЕПЕРЬ И
НЕ МОЖЕМ НАХОДИТЬСЯ В
ЛАБОРАТОРИИ КАКОЕ-ТО
ВРЕМЯ.

ФУ...
ЧТО
ЭТО?

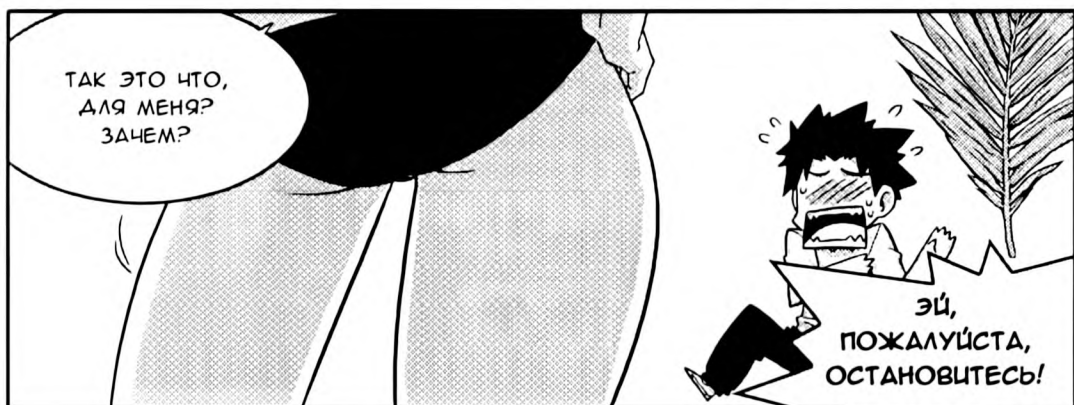
ФУ ФУ ФУ ФУ

Я ОТКРЫЛ ПОДАРОК?!
А ЧТО СЛУЧИЛОСЬ...?

ПО-
ЗВАТЬ
НА ПО-
МОЩЬ?

Пш... Пш...
Пш... Пш...

ТЕБЕ ЛУЧШЕ НЕ
ЗНАТЬ!



3.1. СОКРАЩАЕТСЯ ЛИ ДЛИНА ТЕЛА, ЕСЛИ ДВИГАТЬСЯ БЫСТРЕЕ?

САМОЕ ВАЖНОЕ ЭТО ТО, ЧТО ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ТЕЛОМ, ДВИЖУЩЕМСЯ ПОЧТИ СО СКОРОСТЬЮ СВЕТА, ОНО СОКРАЩАЕТСЯ В НАПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЯ.



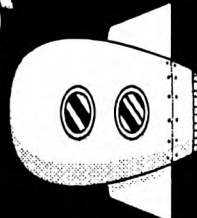
ЭТО ОЗНАЧАЕТ, ЧТО ТЕЛО СОКРАЩАЕТСЯ ИЗ-ЗА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА ИЛИ ЧЕГО-ТО ЕЩЕ, АА?

ППУ-УФ



НЕТ!
СОВСЕМ НЕ ЭТО ПРОИСХОДИТ!

ПРОСТРАНСТВО СОКРАЩАЕТСЯ САМО ПО СЕБЕ, И КАК РЕЗУЛЬТАТ, ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ПОКОЕ, СЖИМАЕТСЯ И ТЕЛО.



Я КАК-ТО И ПОНИМАЮ, НО И НЕ ПОНИМАЮ ТОЖЕ...



ЧТОБЫ ЛЕГЧЕ БЫЛО ПОНЯТЬ, РАССКАЖУ ТЕБЕ ОДНУ ИСТОРИЮ. ЦАИ СЮДА.



ХОРОШО, ЧТО ЗА...

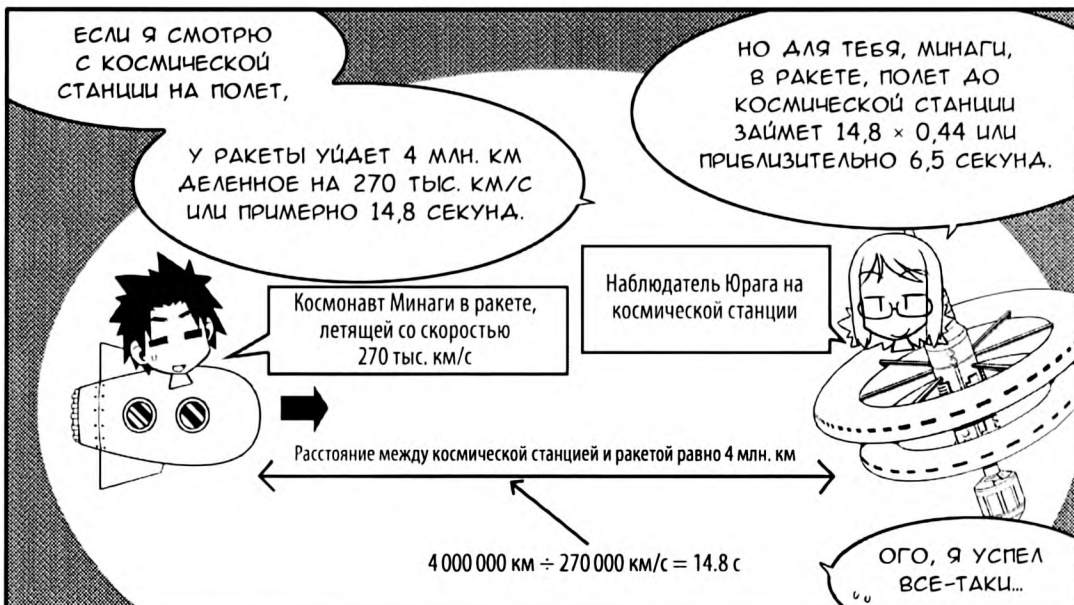
ПЦУ!



БАХ!







НО, КАК-ТО МНЕ НЕ
ОЧЕНЬ НРАВИТСЯ ЭТО
ОБЪЯСНЕНИЕ.



ЭТО БЫЛА ИСТОРИЯ
О ВРЕМЕНИ ВНУТРИ
РАКЕТЫ, ПРАВИЛЬНО?

СЛИШКОМ
ПОЗДНО.

ПОЛУЧИЛОСЬ,
Я ПОПАЛ ТУДА
ВОВРЕМЯ!

ТО ЕСТЬ Я ЗА 10 СЕ-
КУНД ПРОЛЕТЕЛ РАС-
СТОЯНИЕ 4 МЛН. КМ,
ХОТЯ ЛЕТЕЛ СО СКОРО-
СТЬЮ 270 ТЫС. КМ/С...

БА-БАХ!

ГМММ...
ЗНАЧИТ ДЛИНА
СОКРАЩАЕТСЯ.

ЧТО ЗА...?!

ПРЕЖДЕ ВСЕГО, КОГДА
КТО-ТО, НАХОДЯЩИЙСЯ В ПОКОЕ
И ВНЕ РАКЕТЫ, НАБЛЮДАЕТ ЗА
РАКЕТОЙ, ЛЕТЯЩЕЙ НА СКОРОСТИ
270 ТЫС. КМ/С, ТО ЕМУ ВИДИТСЯ,
ЧТО ДЛИНА СОКРАЩАЕТСЯ.

СОКРАТИЛАСЬ

ДЛИНА

ТАК ТЫ ДОЛЖЕН БЫЛ
ЭТО СКАЗАТЬ.

СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ
МОЖНО УВИДЕТЬ
ИЗ СЛЕДУЮЩЕГО
УРАВНЕНИЯ.

$$\text{Длина при движении} = \text{Длина в покое} \times \sqrt{1 - \left(\frac{\text{Скорость движения}}{\text{Скорость света}} \right)^2}$$

ТАК КАК ДЛИНА
ПРОПОРЦИОНАЛЬНА
СКОРОСТИ, ТО $L = v \times t$. ЧТОБЫ
СКОРОСТЬ ОСТАВАЛАСЬ ТАКОЙ ЖЕ,
НЕОБХОДИМО, ЧТОБЫ ПРОПОРЦИЯ
СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ БЫЛА ТАКОЙ
ЖЕ, КАК ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ.

ТОЧНО...
ЭТО ВАЖНЫЙ МОМЕНТ.

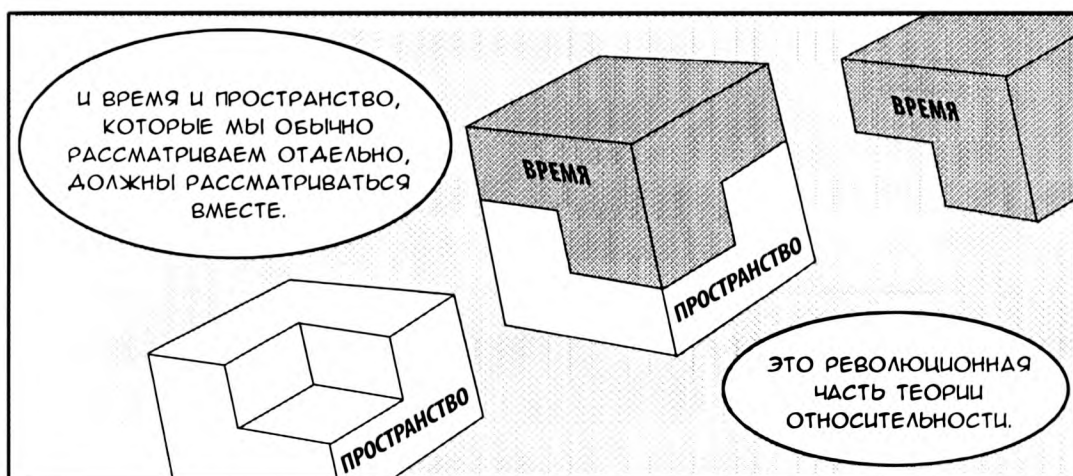
ТО ЕСТЬ?

ЕСЛИ СМОТРЕТЬ ИЗ
РАКЕТЫ, ОКРУЖАЮЩЕЙ
КОСМОС МОЖНО

СЧИТАТЬ ДВИЖУ-
ЩИМСЯ, А КОСМИ-
ЧЕСКУЮ СТАНЦИЮ
ПРИБЛИЖАЮЩЕЙСЯ.

ВЖИ-ИК

ПОТОМУ ЧТО,
СОГЛАСНО ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ, РАКЕТУ
МОЖНО РАССМАТРИВАТЬ
КАК НЕПОДВИЖНОЕ ТЕЛО?



3.2. СТАНОВИМСЯ ЛИ МЫ ТЯЖЕЛЕЕ, ЕСЛИ ДВИЖЕМСЯ БЫСТРЕЕ?





ЕСЛИ МЫ ГОВОРИМ ОБ
ОБЫЧНОЙ БЫТОВОЙ ЖИЗНИ
НА ЗЕМЛЕ, ТО ДЛЯ НАС ВЕС И
МАССА ЭТО ОДНО И ТО ЖЕ...

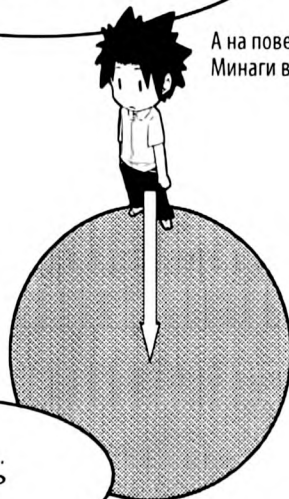
...НО ТАК КАК ВЕС ЭТО ВЕЛИЧИНА,
КОТОРОЙ ОБОЗНАЧАЮТ СИЛУ
ПРЯЖЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩУЮ НА
ТЕЛО, ТО НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ И
ЗЕМЛИ ВЕС БУДЕТ РАЗНЫМ.

Минаги на поверхности Луны
весит всего 13 кг.



Притяжение Луны равно 1/6
от притяжения Земли.

А на поверхности Земли
Минаги весит 75 кг.



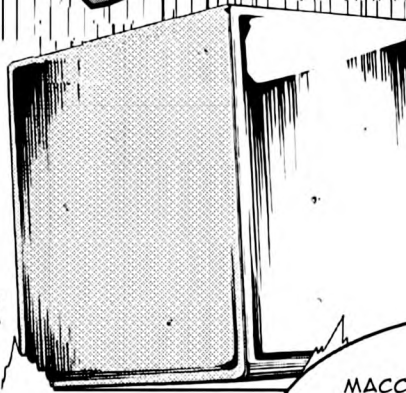
ПОНЯТНО...
А МАССА?

ПРИ НУЛЕВОЙ ГРАВИТАЦИИ
В КОСМИЧЕСКОМ ПРО-
СТРАНСТВЕ, НЕСМОТРЯ НА
ТО, ЧТО ВЕС РАВЕН НУЛЮ,
НУЖНА СИЛА, ЧТОБЫ
ЧТО-ТО ПРИВЕСТИ В
ДВИЖЕНИЕ, ТАК?

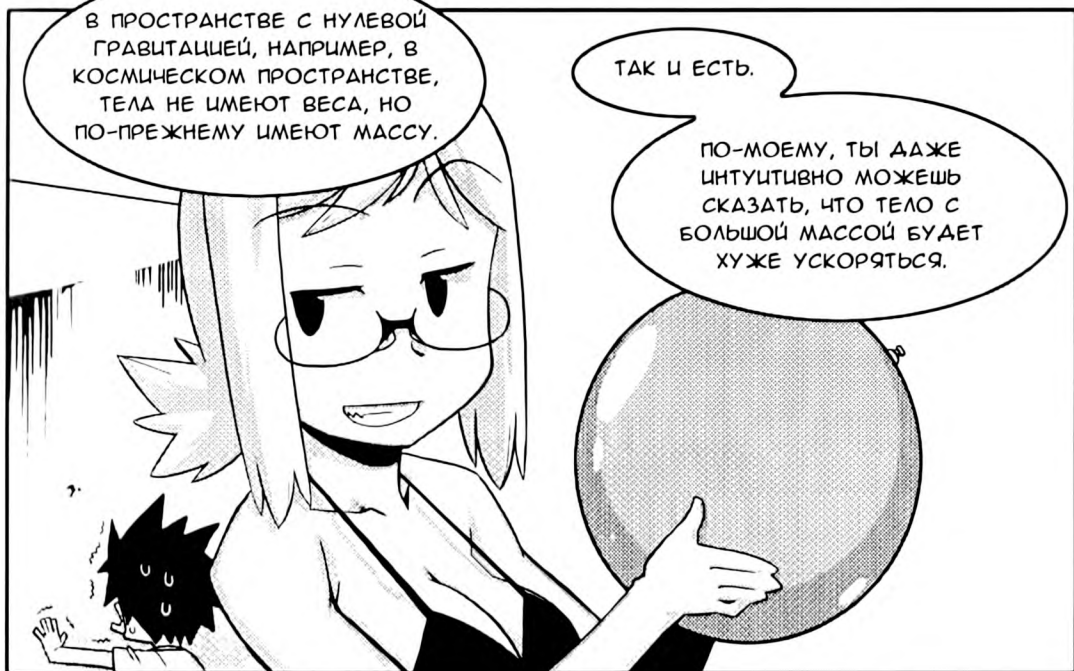


ТАК, НО...?

БАЦ



МАССА - ЭТО ЕДИНИЦА
ИНЕРЦИИ ТЕЛА, НЕОБХОДИМОЙ
ДЛЯ ПРИВЕДЕНИЯ ТЕЛА
В ДВИЖЕНИЕ.

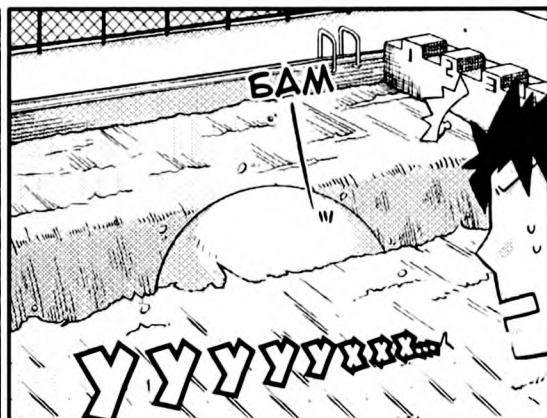


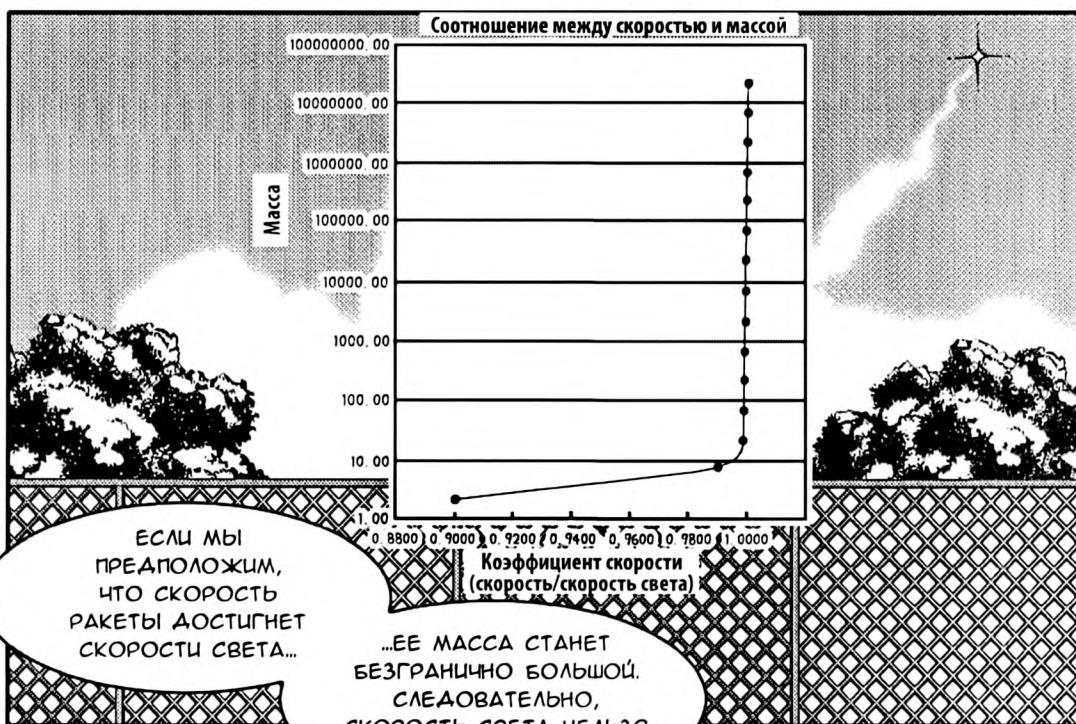
В УРАВНЕНИИ ДВИЖЕНИЯ НЬЮТОНА - МАССА ТЕЛА ОБРАТНО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА УСКОРЕНИЮ, ТО ЕСТЬ КОЭФФИЦИЕНТУ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ.

ДУМАЮ, ЧТО ЭТО ПРАВИЛЬНО...

Три закона Ньютона

1-ый закон: Закон инерции	Тело, на которое не действует никакая сила, остается в покое или продолжает прямолинейное движение.
2-ой закон: Закон движения	Ускорение тела прямо пропорционально приложенной силе и обратно пропорционально его массе.
3-ий закон: Закон действия и противодействия	Если на тело оказано воздействие, то это тело окажет воздействие такой же величины в обратном направлении.











ДРУГИМИ СЛОВАМИ
МАССА МОЖЕТ МЕНЯТЬ
ФОРМУ, НО НЕ МОЖЕТ
БЫТЬ В СУЩНОСТИ СОЗДАНА
ИЛИ УНИЧТОЖЕНА, И МАССЕ
НЕЛЬЗЯ ПЕРЕДЕЛАТЬ
В ЭНЕРГИЮ...

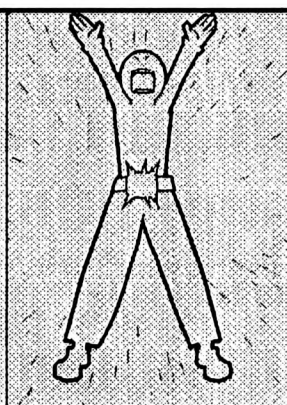


...И ЭНЕРГИЯ
СОХРАНЯЕТСЯ ТАКИМ
ЖЕ ОБРАЗОМ.

ВСЕ ВЕРНО.



ОДНАКО ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ОПРОВЕРГЛА ЭТО
ПОЛОЖЕНИЕ.



ВЫ ХОТИТЕ СКАЗАТЬ,
ЧТО ЭНЕРГИЯ
ПРЕОБРАЗУЕТСЯ
В МАССУ?



ТОЧНО.

$E = m \cdot c^2$ - ЭТО ИЗВЕСТНОЕ
УРАВНЕНИЕ ТЕОРИИ ОТНОСИ-
ТЕЛЬНОСТИ, ГДЕ ПОКАЗАНА
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ МАССОЙ
И ЭНЕРГИЕЙ.

А ЧТО ТАКОЕ
 E , m , и c ?

E - ЭТО ЭНЕРГИЯ,
 m - ЭТО МАССА, А
 c - ЭТО СКОРОСТЬ
СВЕТА.

ЭТО УРАВНЕНИЕ ГОВОРИТ
О ТОМ, ЧТО «ЭНЕРГИЯ
РАВНА МАССЕ УМНОЖЕННОЙ
НА СКОРОСТЬ СВЕТА В
КВАДРАТЕ».

ЭНЕРГИЯ

В КВАДРАТЕ

МАССА

СКОРОСТЬ
СВЕТА

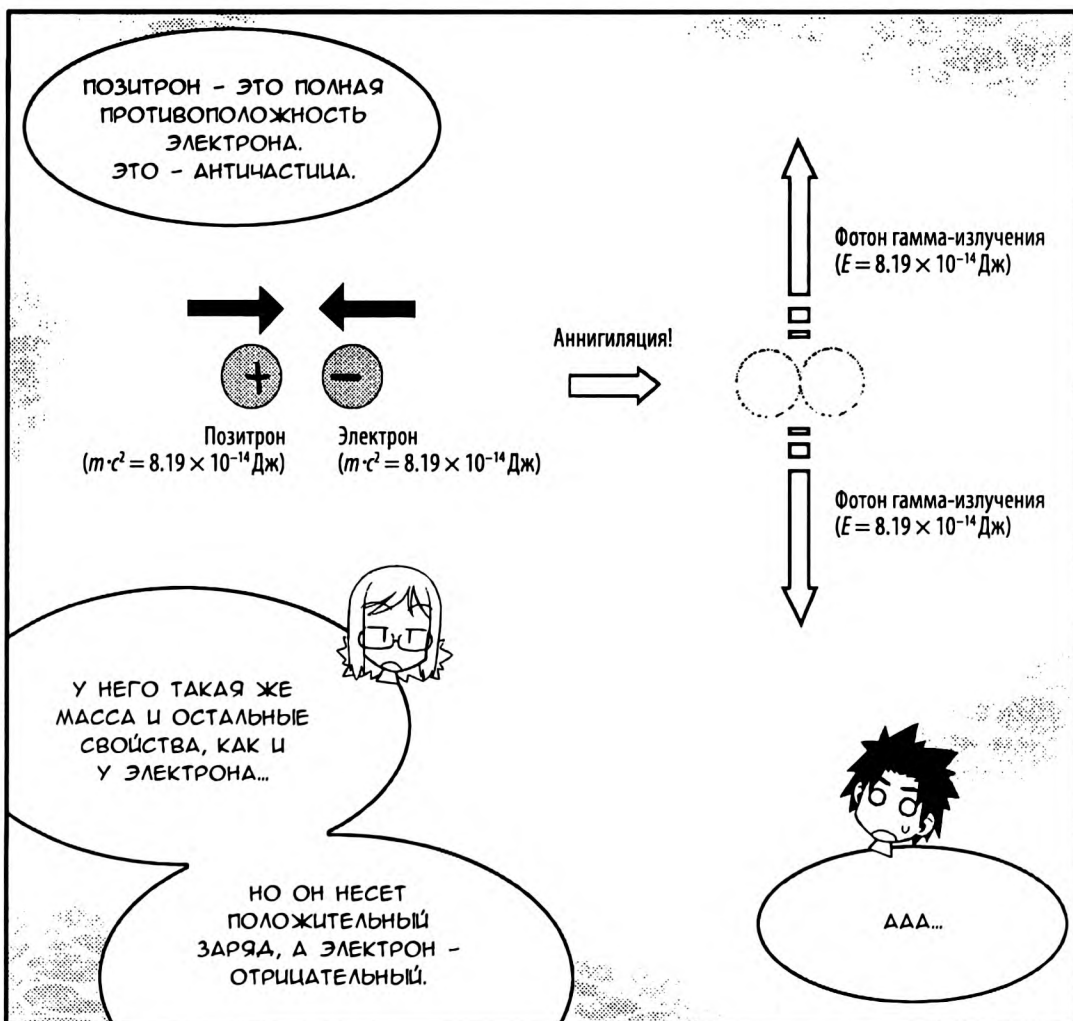
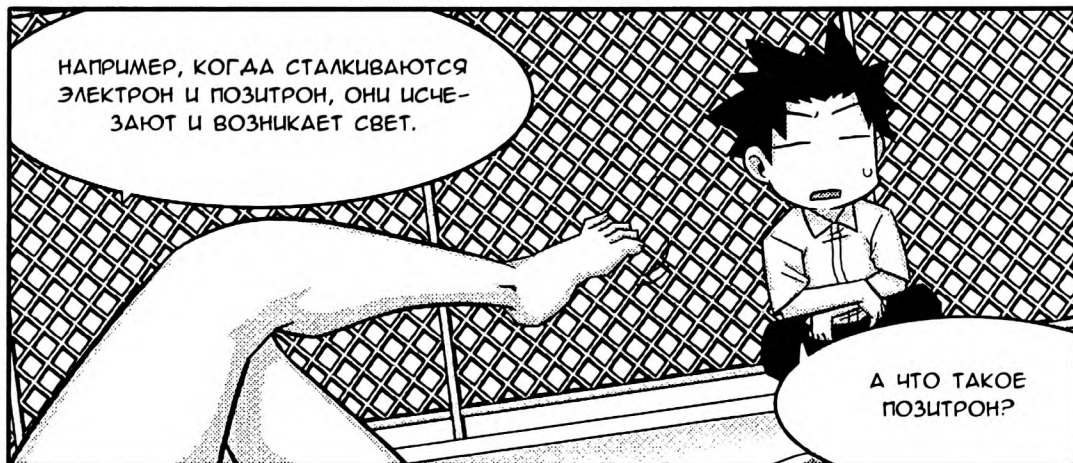
КОНЕЧНО!
ЭТО ЖЕ - ПОЯС ИЗ
ТРАНСМОРФИКАЦИЙ.

МЫ СЕЙЧАС
НЕ О ПОЯСЕ
ГОВОРИМ!

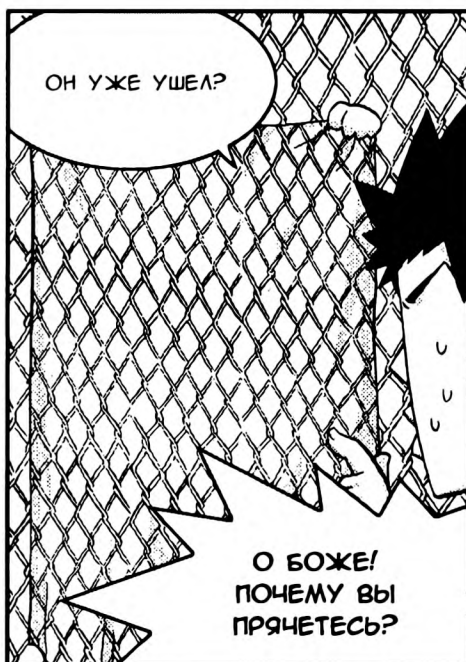
ИЗ ЭТОГО УРАВНЕНИЯ СТАНОВИТСЯ
ПОНЯТНО, ЧТО ДАЖЕ НИЧТОЖНАЯ
МАССА В 1 ГРАММ МОЖЕТ БЫТЬ
ПРЕОБРАЗОВАНА В ОГРОМНОЕ
КОЛИЧЕСТВО ЭНЕРГИИ -
90 ТРИЛЛИОНОВ АЖОУЛЕЙ.

90 ТРИЛЛИОНОВ
АЖОУЛЕЙ!













ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

КАК ОБЪЯСНИТЬ СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ (ЛОРЕНЦЕВО СОКРАЩЕНИЕ)

Давайте выясним с помощью уравнения, как сокращается длина.

В этом случае предположим, что ракета летит с постоянной скоростью v (см. **рис. 3.1**).

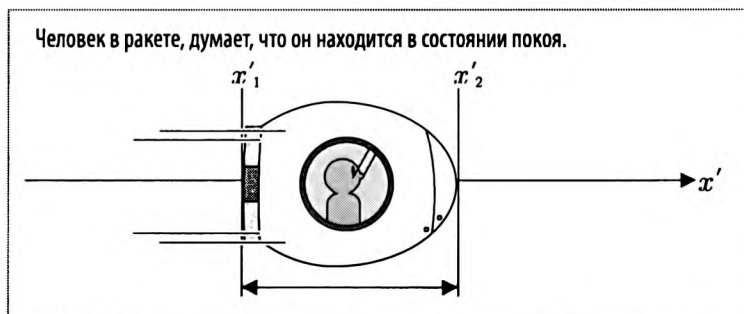


Рис. 3.1. Человек, летящий в ракете, измеряет положения носа и кормы ракеты

Когда человек в ракете измеряет положения носа и кормы, он выясняет, что самая передняя точка носа имеет координату x'_2 , а самая дальняя точка кормы — x'_1 . Следовательно, длина ракеты равна $l_0 = x'_2 - x'_1$.

Рассмотрим эту ситуацию снаружи ракеты, например, с космической станции, как показано на **рис. 3.2**.

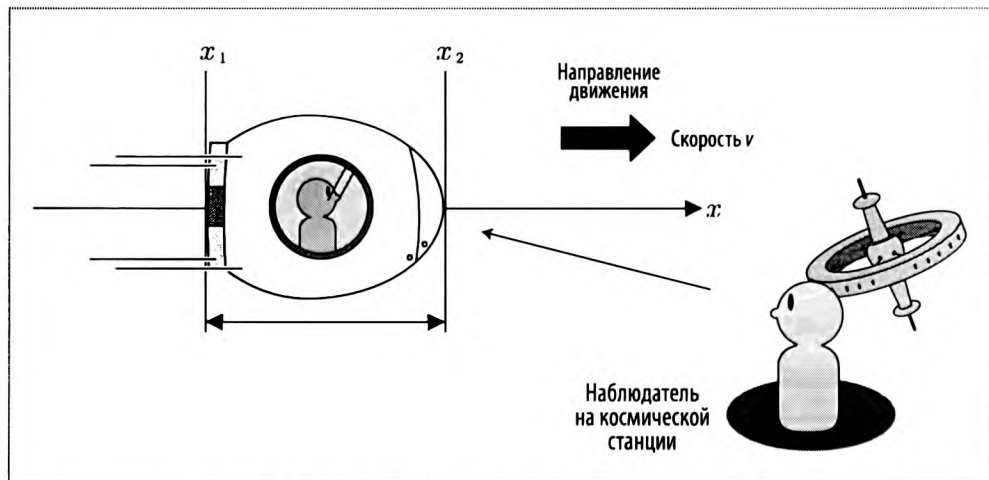


Рис. 3.2. Ракета, наблюдаемая с космической станции

Чтобы вычислить сокращение длины ракеты, когда она пролетает мимо наблюдателя на скорости близкой к скорости света, давайте рассмотрим 2 точки в системе координат ракеты: x'_1 на носу ракеты и x'_2 на корме. С помощью преобразования Лоренца, с которым мы познакомились в разделе «Постойте, а что происходит со сложением скоростей?», мы можем посчитать, как наблюдатель за ракетой измеряет точку x_1 на носу и x_2 на корме в своей системе координат. Длина, которую измеряет наблюдатель извне, будет короче, чем длина, которую измерил космонавт в ракете. Этот эффект, *релятивистское сокращение длины*, в основе имеет сокращение пространства на скоростях близких к скорости света.

Используя преобразования Лоренца $x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ мы вычисляем следующие координаты:

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad x'_2 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Если мы допускаем, что $l = x_2 - x_1$ определяет длину ракеты при наблюдении извне ракеты, тогда, так как:

$$l_0 = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{(x_2 - x_1) - (t_2 - t_1)v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Измерение проводится в то же самое время, $t_1 - t_2 = 0$, потому что $t_1 = t_2$. Следовательно, l_0 вычисляется так:

$$l_0 = \frac{(x_2 - x_1) - (t_2 - t_1)v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Длина ракеты, измеренная с позиции, находящейся вне корабля:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}.$$

Таким образом, длина l меньше, чем длина l_0 той же ракеты, измеренной с позиции внутри корабля. Мы знаем, что это истина, потому что коэффициент

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} < 1,$$

исходя из того факта, что скорость ракеты меньше скорости света ($v < c$).

Наше обсуждение замедления времени и сокращения длины – это не просто теоретические предположения. Замедление времени можно наблюдать ежедневно.

Элементарные частицы, называемые космическими лучами, сыпятся на нашу планету каждый день без исключения. Когда эти лучи сталкиваются с молекулами в верхних слоях атмосферы Земли, с определенной вероятностью генерируются мюоны. Мюон – это разновидность элементарной частицы, схожая с электроном. Жизненный цикл мюона составляет примерно 2 миллионные части секунды на поверхности Земли в лаборатории, в состоянии покоя. Следовательно, когда мюон образуется в верхних слоях атмосферы, то есть на высоте от нескольких десятков до нескольких сотен километров от поверхности Земли, он пролетает всего $300\,000\text{ км/с} \times 2/1\,000\,000\text{ с} = 0,6\text{ км}$, даже если бы он летел со скоростью очень близкой к скорости света. Основываясь на этих расчетах, получается, что он не должен достигать поверхности Земли. Но мюоны зафиксированы на поверхности нашей планеты! Это кажущееся невозможным событие возникает из-за того, что жизненный цикл мюона увеличивается согласно специальной теории относительности (см. **рис. 3.3**). Увеличение продолжительности жизни мюонов благодаря замедлению времени было подтверждено в лабораторных условиях с помощью разгона их почти до скорости света.



Рис. 3.3. Время жизни мюона

Давайте теперь применим наши знания о сокращении длины к примеру с мюоном. В системе координат мюона его продолжительность жизни не увеличивается – она по-прежнему равна 2 миллионных секунды. Из системы координат мюона Земля несется навстречу частицам почти что со скоростью света. Длина между Землей и мюоном сокращается, однако, как показано на **рис. 3.4**, и из-за того, что расстояние между Землей и мюоном сокращается, времени жизни мюона хватает, чтобы достичь поверхности нашей планеты.

И замедление времени с точки зрения Земли, и сокращение длины с точки зрения мюона имеют место быть.

Таким образом замедление времени и сокращение длины действуют совместно согласно теории относительности.

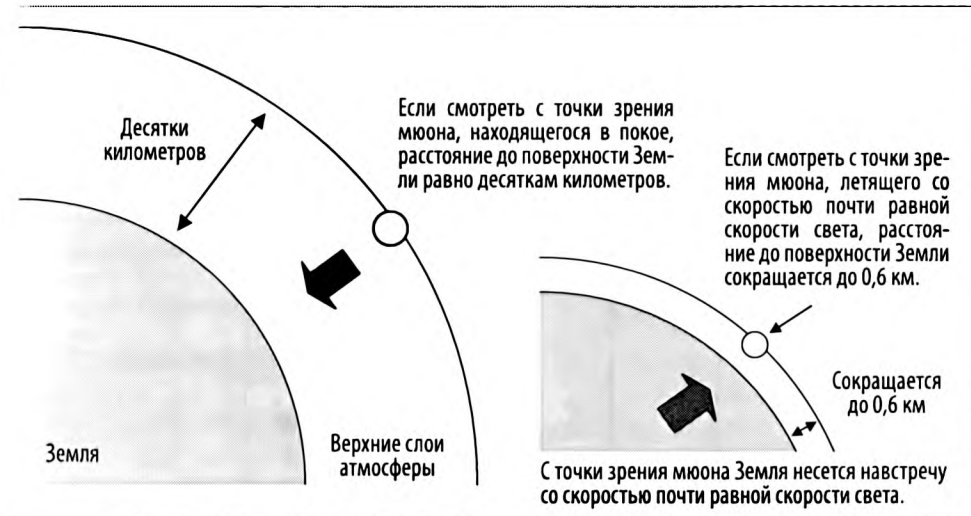


Рис. 3.4. Как и время расстояние сокращается

МАССА ТЕЛА ПРИ ДВИЖЕНИИ

Теперь давайте рассмотрим, как масса тела соотносится с его скоростью согласно теории относительности. Начнем с рассмотрения законов движения. До того, как была понята проблема относительности, для описания движения использовали преобразования Галилея и законы Ньютона.

■ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ

Преобразования Галилея описывают связь между системами координат, неподвижной и движущейся со скоростью v :

$$x' = x - vt$$

$$t' = t$$

где x' и t' обозначают положение и время соответственно в другой системе.

■ ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Второй закон Ньютона может быть представлен в следующем виде:

$$f = ma = m \frac{d^2x}{dt^2},$$

где f — обозначает силу, m — массу, a — ускорение тела, и ускорение можно считать второй производной перемещения относительно времени:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Согласно принципу относительности Галилея законы физики работают абсолютно одинаково для системы в покое и в движении. Другими словами, если вы бросаете мячик в воздух внутри стоящего на месте лифта или внутри лифта, который поднимается или опускается с постоянной скоростью, мячик будет подлетать, опускаться и возвращаться к вам в руки одним и тем же образом.

Теперь рассмотрим законы движения в двух различных системах координат, чтобы удостовериться, что законы физики не меняются, если мы не берем во внимание принцип относительности. Рассмотрим законы движения в системе координат, находящейся в покое, где положение мячика обозначается x , и в системе координат движущегося лифта, где положение мячика обозначается x' (см. рис. 3.5).

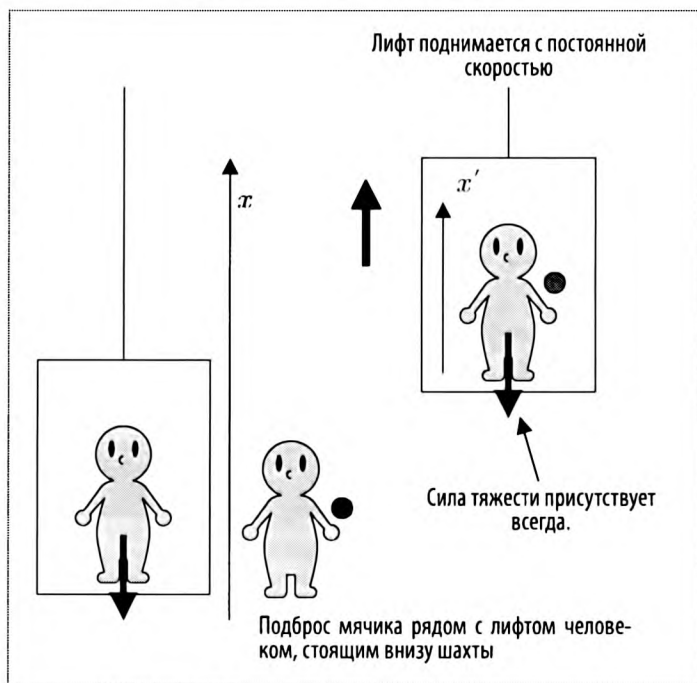


Рис. 3.5. Лифт движется с постоянной скоростью

В этом случае скорость мячика, поднимающегося в направлении x' внутри лифта, будет равна

$$\frac{dx'}{dt'}.$$

Если применить преобразование Галилея $x = x' - vt'$, то получим:

$$\frac{dx'}{dt'} = \frac{d}{dt'}(x - vt') = \frac{dx}{dt'} - v \frac{dt}{dt'} = \frac{dx}{dt} - v.$$

Здесь мы использовали отношение $\frac{dt'}{dt} = 1$, поскольку $dt' = dt$.

Если это выражение продифференцировать снова, то получим следующее:

$$\frac{d^2x'}{dt'^2} = \frac{d}{dt'} \left(\frac{dx}{dt} - v \right) = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Так как на мячик действует только сила тяжести, если мы обозначим ее как g , то получим:

$$g = f = ma = m \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Заметим, что в этом уравнении g – это сила, а не ускорение из-за силы тяжести. Теперь, если обозначить ускорение внутри лифта, движущегося с постоянной скоростью, как a' , а силу обозначить f' , получаем

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = m \frac{d^2 x'}{dt'^2} = m a' = f' = g$$

и вид уравнения движения остается неизменным. Так как уравнение движения не изменило свою форму, законы физики остаются такими же.

Давайте рассмотрим, как ситуация, описанная выше, изменяется, если мы принимаем во внимание теорию относительности и заменяем преобразования Галилея на преобразования Лоренца.

■ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Как уже показано в этой главе, время и пространство тесно связаны с позиций теории относительности. Следовательно, при описании координат тела недостаточно просто указать его положение в трехмерном пространстве (x, y, z) . Мы должны также включать в рассмотрение время (t) .

Так как единицы измерения положения тела и времени отличаются (метры и секунды, соответственно), мы умножаем время на скорость света так, чтобы можно было описать координатное положение тела в четырех измерениях, где есть одна и та же единица измерения: длина.

Далее показано, что две системы координат трансформируются взаимно

$$(ct, x, y, z) \leftrightarrow (ct', x', y', z').$$

Если мы используем подобные соображения для расширения уравнения движения так, чтобы его форма не изменялась при преобразованиях Лоренца, становится очевидным, что масса, которая считалась постоянной в механике Ньютона, представлена в виде, схожем с преобразованиями Лоренца:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Далее показано, что две системы координат трансформируются взаимно.

ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ЭНЕРГИЕЙ И МАССОЙ

Если мы рассмотрим энергию в виде, который соответствует преобразованиям Лоренца, то она будет представлена так:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Если мы заменим в предыдущем равенстве:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

мы получим знаменитое уравнение связи энергии и массы: $E = mc^2$.

Теперь, когда $|x| \ll 1$, если использовать аппроксимацию $(1 + x)^a \cong 1 + ax$ и при условии

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 \ll 1$$

(скорость v ощутимо меньше скорости света), мы получим следующее:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = m_0 c^2 \left[1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \cong m_0 c^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{c}\right)^2 \right] = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2.$$

Общая энергия тел – это сумма их кинетических энергий, а его энергия в состоянии покоя $E = mc^2$. Это значит, что даже, когда тело не движется, оно обладает энергией, определяемой его массой. Энергия покоя $E = mc^2$ похожа по форме на кинетическую энергию в ньютоновой механике, где

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

и $m_0 c^2$ называется *энергией покоя* (собственной энергией).

МАССА СВЕТА РАВНА НУЛЮ?

Уравнение, которое мы использовали выше для массы движущегося тела:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

говорит нам о том, что, когда скорость тела достигает скорости света, его энергия достигает бесконечности (*становится безгранична*) (см. **рис. 3.6**). Следовательно, единственный способ, когда свет может существовать (не имея бесконечной энергии) это, если его масса равно 0.

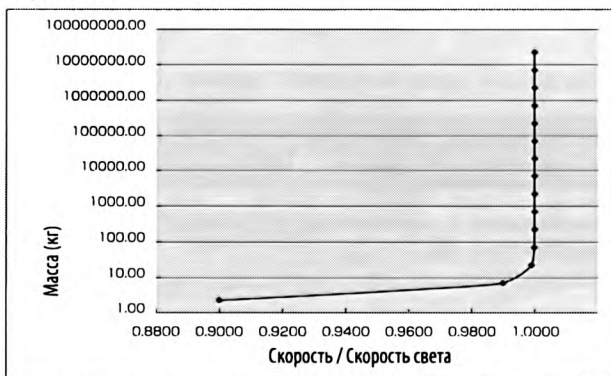
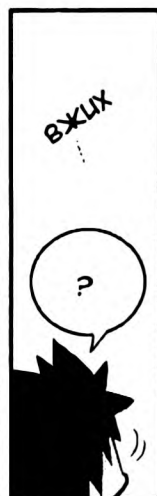
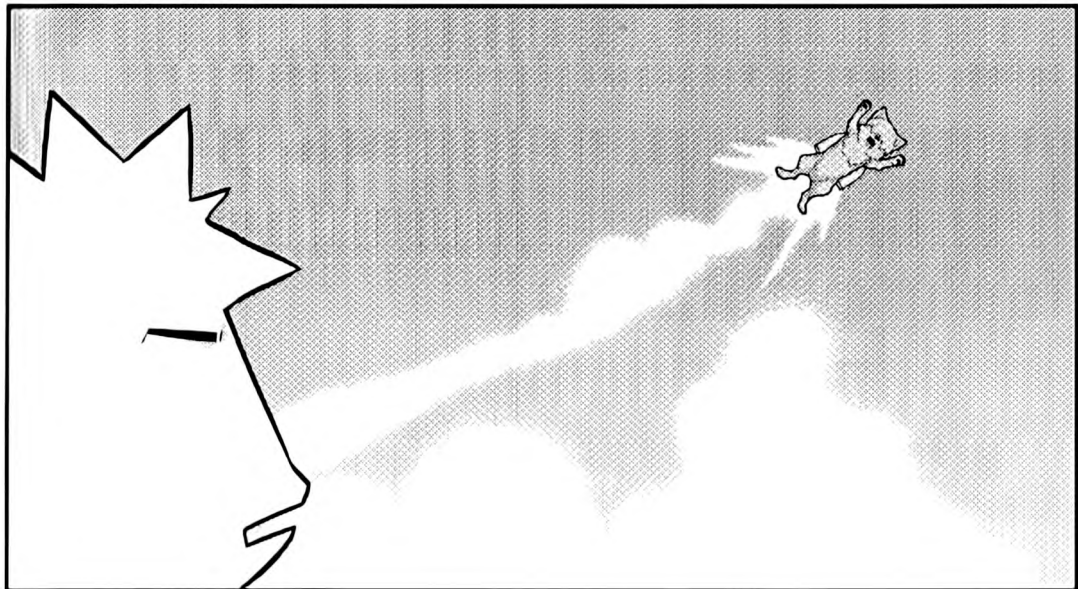


Рис. 3.6. Взаимосвязь между массой и скоростью

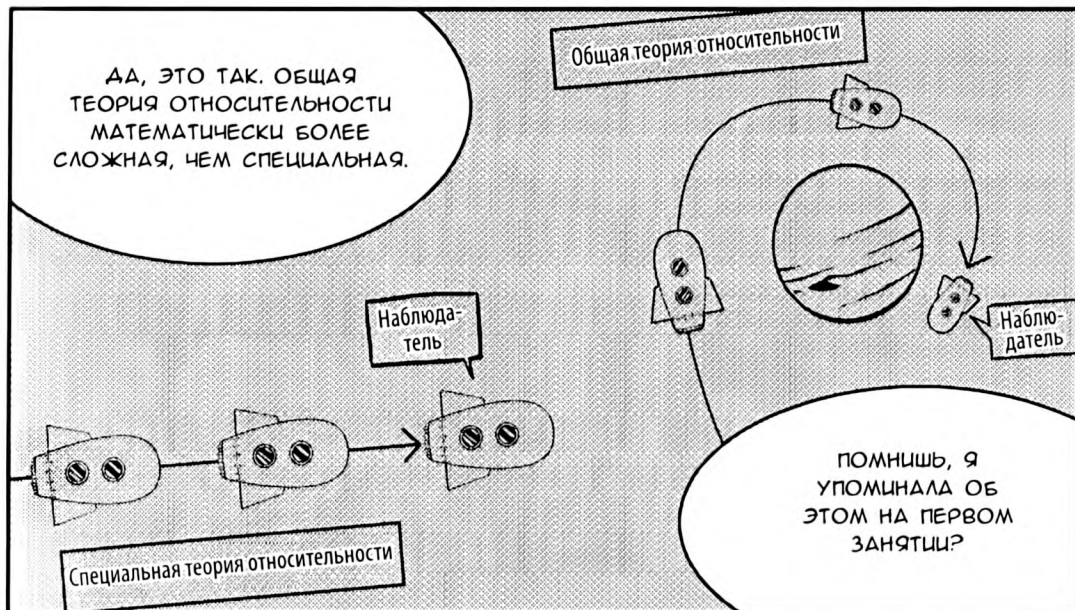


ЧТО ТАКОЕ ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?









4.1. ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ - ЭТО ТЕОРИЯ, КОТОРАЯ СПРАВЕДЛИВА В СИСТЕМЕ КООРДИНАТ, ГДЕ ОТСУТСТВУЕТ ГРАВИТАЦИЯ ИЛИ УСКОРЕНИЕ - ТАКАЯ СИСТЕМА НАЗЫВАЕТСЯ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ОТСЧЕТА.

НО ТАКОЕ ИДЕАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ В РЕАЛЬНОСТИ НЕ СУЩЕСТВУЕТ.

ЭТО, БЕЗУСЛОВНО, ТАК И ЕСТЬ!

ПОЭТОМУ ЭЙНШТЕЙН РЕШИЛ, ЧТО НАДО В ТЕОРИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ВВЕСТИ ГРАВИТАЦИЮ ИЛИ УСКОРЕНИЕ...

...И ПРИШЕЛ К ВАЖНОМУ ВЫВООДУ В ВИДЕ ПРИНЦИПА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ, КОТОРЫЙ ЛЕЖИТ В ОСНОВЕ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.



ЭКВИВАНТ

ЭТОТ ПРИНЦИП ГЛАСИТ, ЧТО «ИНЕРЦИОННАЯ СИЛА, СОПРОВОЖДАЮЩАЯ ДВИЖЕНИЕ С УСКОРЕНИЕМ НЕОТЛИЧИМА ОТ ГРАВИТАЦИИ, И СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ЕЮ И ЯВЛЯЕТСЯ».

НЕ ПОНИМАЮ, ЧТО
ТАКОЕ ИНЕРЦИОННАЯ
СИЛА...

СЕЙЧАС ОБЪЯСНЮ.

СНАЧАЛА ПРЕДСТАВИМ,
ЧТО ТЫ, МЫНАГИ,
НАХОДИШЬСЯ В РАКЕТЕ,
ЛЕТЯЩЕЙ В КОСМИЧЕСКОМ
ПРОСТРАНСТВЕ.

КРУГОМ
ПУСТОТА...

В РАКЕТЕ НЕТ ОКОН,
И ТЫ НЕ ЗНАЕШЬ,
ЧТО ПРОИСХОДИТ
СНАРУЖИ.

КОГДА ГРАВИТАЦИИ
НЕТ, ТЫ НАХОДИШЬСЯ
В СОСТОЯНИИ
НЕВЕСОМОСТИ...

Я ЛЕТАЮ

...ТО ЕСТЬ ТЫ
ПАРЬШЬ.

ЯСНО.

НО, ЕСЛИ РАКЕТА
ПОЛЕТИТ С
УСКОРЕНИЕМ...

...ТВОЕ ТЕЛО
ПОТЯНЕТ В
ПРОТИВОПОЛОЖНУЮ
НАПРАВЛЕННУЮ
ДВИЖЕНИЯ РАКЕТЫ
СТОРОНУ.

И...

ОЩУЩЕНИЯ ТАКИЕ ЖЕ,
КАК ПРИ ОТПРАВЛЕНИИ
ПОЕЗДА ОТ СТАНЦИИ,
ДА?

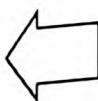
ТЫ-ДЫХ

У-УХ!

ПРАВИЛЬНО. ЭТА СИЛА
НАЗЫВАЕТСЯ ИНЕРЦИОННОЙ
СИЛОЙ ИЛИ СИЛОЙ ИНЕРЦИИ.
РАЗ УЖ ТЫ УПОМЯНУЛ, ДАВАЙ
РАССМОТРИМ ПОЕЗД В КАЧЕСТВЕ
ПРИМЕРА.

КОГДА ПОЕЗД ОТХОДИТ
ОТ ОСТАНОВКИ, ОН
УСКОРЯЕТСЯ ПО
НАПРАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ
ВПЕРЕД.

В СИСТЕМЕ КООРДИНАТ
ПОЕЗДА ТВОЕ ТЕЛО ИС-
ПЫТЫВАЕТ ИНЕРЦИОННУЮ
СИЛУ В НАПРАВЛЕНИИ ПРО-
ТИВОПОЛОЖНОМ УСКО-
РЕНИЮ ПОЕЗДА.



ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА ГЛАСИТ,
ЧТО ТЕЛА, НАХОДЯЩИЕСЯ В ПОКОЕ,
ОСТАЮТСЯ В ПОКОЕ ДО ТЕХ ПОР, ПОКА
НА НИХ НЕ ДЕЙСТВУЕТ ВНЕШНЯЯ СИЛА.
КОГДА ПОЕЗД УСКОРЯЕТСЯ, НА ТЕБЯ
ВОЗДЕЙСТВУЕТ СИЛА ОТ
СПИНКИ СИДЕНЬЯ В НАПРАВЛЕНИИ
ТВОЕЙ СПИНЫ.

Направление движения
поезда



ПОНЯТНО!

ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ЭТО
ПРОИСХОДИТ ПОТОМУ, ЧТО
ТВОЕ ТЕЛО ПОДЧИНЯЕТСЯ
ЗАКОНУ ИНЕРЦИИ.

СИЛА, КОТОРУЮ
ЧУВСТВУЕШЬ В ЭТОТ
МОМЕНТ, И НАЗЫВАЕТСЯ
ИНЕРЦИОННОЙ СИЛОЙ.



ЭТУ СИЛУ ЧУВСТВУЮТ
ТОЛЬКО ТЕ, КТО
НАХОДИТСЯ ВНУТРИ
ПОЕЗДА.

ТЫ-ДЫХ



ЛЮДИ, СТОЯЩИЕ
НА ПЛАТФОРМЕ, НЕ
ЧУВСТВУЮТ ЭТУ СИЛУ.

ТОЧНО ТАК ЖЕ, КОГДА ПОЕЗД
ЗАМЕДЛЯЕТ ХОД, ТЫ ЧУВСТВУЕШЬ
ИНЕРЦИОННУЮ СИЛУ, НАПРАВЛЕННУЮ
В СТОРОНУ ПРОТИВОПОЛОЖНУЮ
ЗАМЕДЛЕНИЮ.

ТЫ ПОНИМАЕШЬ ЭТО, ТАК КАК
ТВОЕ ТЕЛО ЗАВАЛИВАЕТСЯ
ВПЕРЕД, ПОТОМУ ЧТО ПЫТАЕТСЯ
СОХРАНИТЬ БЫЛУЮ СКОРОСТЬ.



КОГДА ПОЕЗД УСКОРЯЕТСЯ ИЛИ
ТОРМОЗИТ, ИНЕРЦИОННАЯ СИЛА
ДЕЙСТВУЕТ С ТЕМ ЖЕ ЧИСЛОВЫМ
ЗНАЧЕНИЕМ, НО В ПРОТИВОПОЛОЖНОМ
НАПРАВЛЕНИИ.



Поезд стоит



Поезд трогается

Инерционная
сила



Сила, ускоряющая поезд



Поезд, едущий с постоянной скоростью



Поезд тормозит

Сила торможения



Инерционная
сила

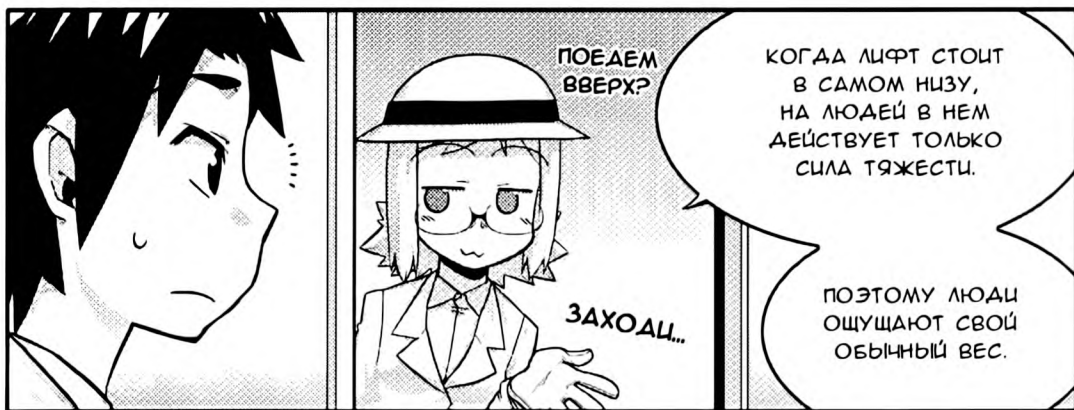
Поезд стоит



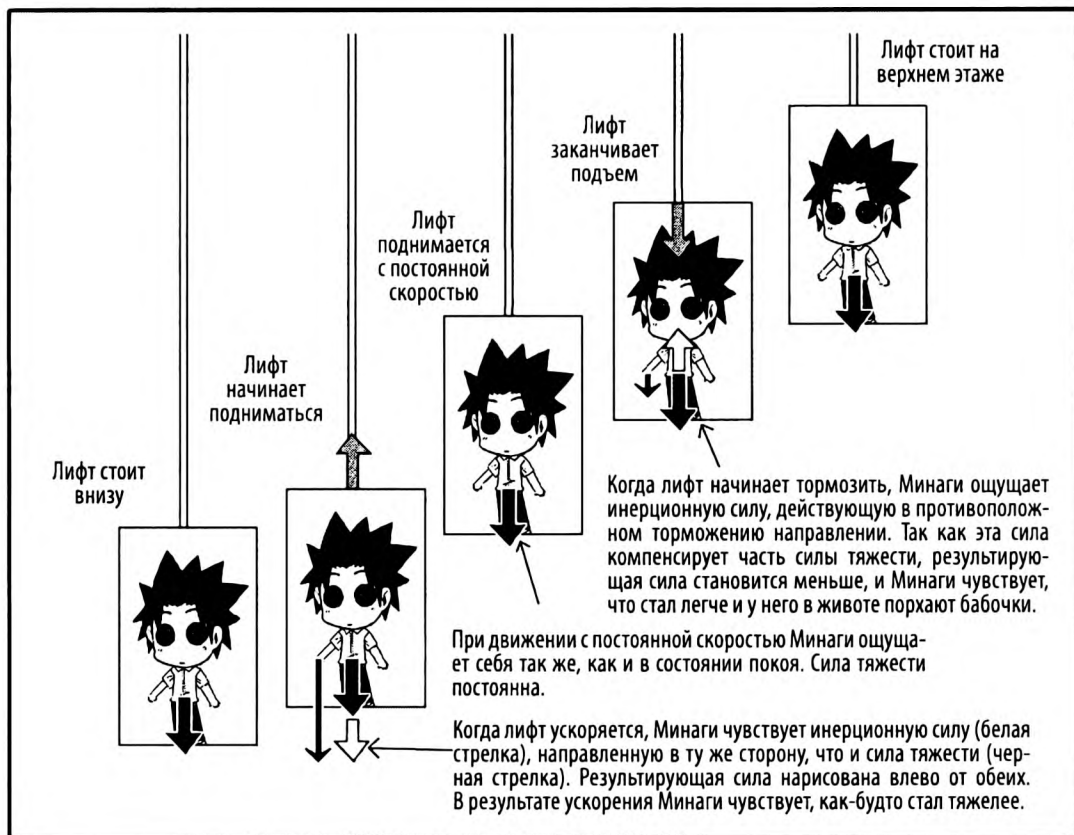
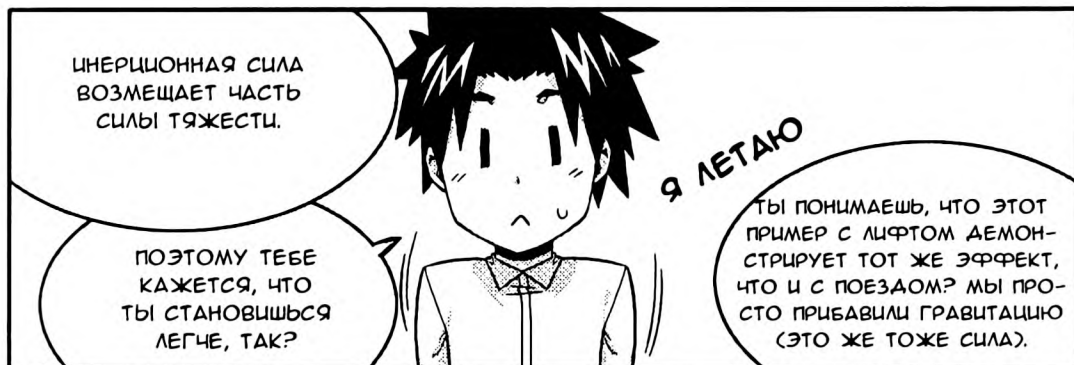
А ТЕПЕРЬ, В КАЧЕСТВЕ
ПРИМЕРА, ДАВАЙ
РАССМОТРИМ ЛИФТ; ЧТОБЫ
ЕЩЕ И СИЛА ТЯЖЕСТИ
ДЕЙСТВОВАЛА.



ЛИФТ?







ТЫ КАТАЛСЯ
КОГДА-НИБУДАЬ НА
КАРУСЕЛЯХ В ПАРКЕ
РАЗВЛЕЧЕНИЙ?

КАРУСЕЛЬ

ТАМ ТЫ СИДЯШЬ
В КРЕСЛЕ И ЛЕТАЕШЬ КРУ-
ГАМИ. ПРИ ЭТОМ ТЫ ЧУВ-
СТВУЕШЬ СИЛУ, ОТТАЛКИ-
ВАЮЩУЮ ТЕБЯ ОТ ЦЕНТРА
КАРУСЕЛИ. ЭТО ЦЕНТРО-
БЕЖНАЯ СИЛА, РАЗНОВИД-
НОСТЬ ИНЕРЦИОННОЙ
СИЛЫ.

А ЧТО ЭТО
ТАКОЕ?

СКОРОСТЬ ЧЕЛОВЕКА НА
КАРУСЕЛЯХ ПОСТОЯННО
МЕНЯЕТ НАПРАВЛЕНИЕ,
ТАКИМ ОБРАЗОМ ЧЕЛОВЕК
ДВИЖЕТСЯ ПО КРУГУ.

ПОЧЕМУ МЫ ТАК
СЧИТАЕМ? ЧЕЛОВЕК НА
КАРУСЕЛЯХ УСКОРЯЕТСЯ...

...В СТОРОНУ
ЦЕНТРА ВРАЩЕНИЯ
КАРУСЕЛЕЙ.

ЕСЛИ
ПРЕДСТАВИТЬ СЕБЕ КОС-
МИЧЕСКИЙ ЧЕЛНОК, ТО СИЛА
ПРЯЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ДЕЙСТВУЕТ
НА ЧЕЛОВЕКА ВНУТРИ ЧЕЛНОКА,
И ЧЕЛНОК ПРОИЗВОДИТ ВРА-
ЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ
ВОКРУГ ЗЕМЛИ.

ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ
НА СТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ
ВОКРУГ ЗЕМЛИ ГРАВИТАЦИЯ И
ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА, ВОЗНИ-
КАЮЩАЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВРАЩЕ-
НИЯ КОРАБЛЯ ВОКРУГ ЗЕМЛИ,
КОМПЕНСИРУЮТ ДРУГ ДРУГА
ПОЛНОСТЬЮ.

ИЗ-ЗА ЭТОГО У
КОСМОНАВТОВ
ВОЗНИКАЕТ ОЩУЩЕНИЕ
НЕВЕСОМОСТИ.

Фактически, несмотря на то, что человек
должен двигаться прямо, на него воздей-
ствует сила в направлении к центру враще-
ния, и поэтому его скорость изменяется.

Катание на каруселях в парке



Внутри космического челнока образу-
ется состояние невесомости из-за того,
что сила притяжения и центробежная
сила уравновешивают друг друга.



А ТЕПЕРЬ ВЕРНЕМСЯ
К НАШЕМУ
РАЗГОВОРУ
О РАКЕТЕ.



ЕСЛИ РАКЕТА ПРИ НУЛЕВОЙ ГРАВИТАЦИИ ДВИЖЕТСЯ С УСКОРЕНИЕМ, РАВНЫМ СИЛЕ ПРИТЯЖЕНИЯ, КОТОРАЯ ЗАСТАВЛЯЕТ ТЕЛА ПАДАТЬ НА ЗЕМЛЮ...

У
У
У

Я ЛЕЧУ
ИЛИ НЕТ?!

...К ТЕБЕ БУДЕТ
ПРИЛОЖЕНА
ИНЕРЦИОННАЯ
СИЛА, РАВНАЯ СИЛЕ
ПРИТЯЖЕНИЯ НА ЗЕМЛЕ.

Ускорение
ракеты $9,8 \text{ м/с}^2$



Нулевая
гравитация

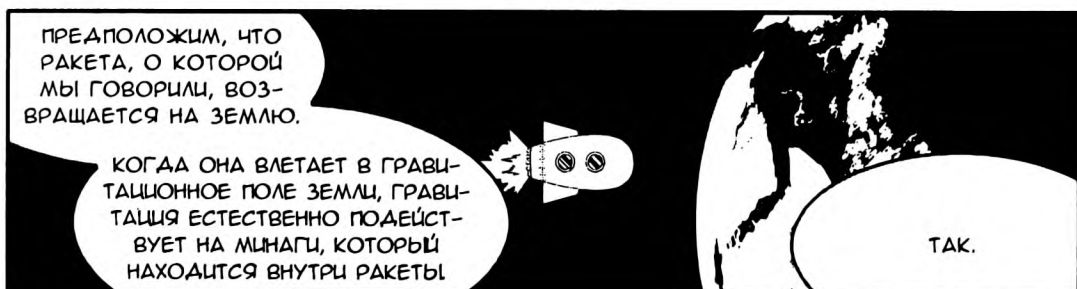


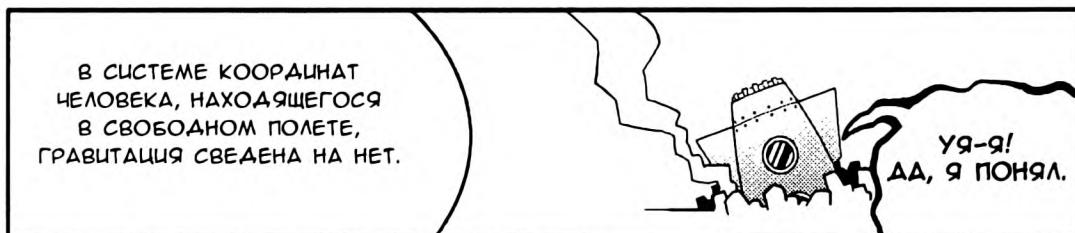
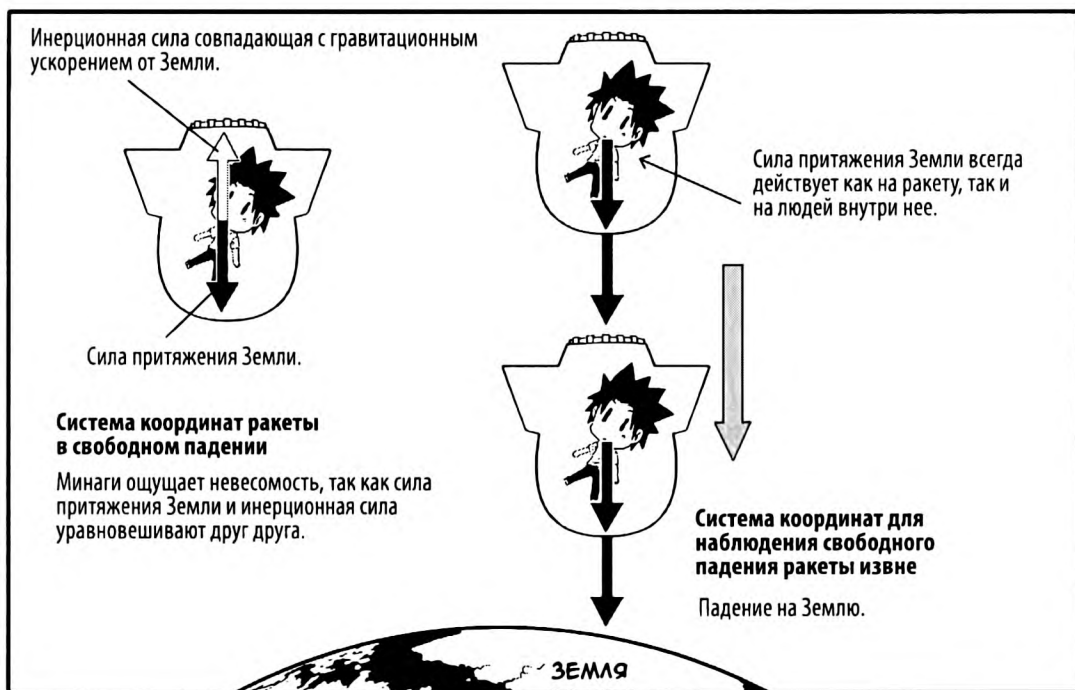
Инерционная
сила заставляет
почувствовать
себя так, как-будто
действует гравитация.

ЕСЛИ БЫ ТЫ НЕ МОГ ВИДЕТЬ,
ЧТО ПРОИСХОДИТ СНАРУЖИ, ТЫ
БЫ РЕШИЛ, ЧТО И НЕ ПОКИДАЛ
ЗЕМЛЮ. ЭТО ПОТОМУ, ЧТО СИЛА
ЭТОГО УСКОРЕНИЯ РАВНА СИЛЕ
ПРИТЯЖЕНИЯ ЗЕМЛИ.



АА, ПОЖАЛУЙ,
ЭТО РАЗУМНО.





4.2. СВЕТ ОТКЛОНЯЕТСЯ ОТ ПРЯМОЙ ИЗ-ЗА ГРАВИТАЦИИ

ГРАВИТАЦИЯ ОБНУЛЯЕТСЯ
ЗА СЧЕТ ИНЕРЦИОННОЙ
СИЛЫ ВНУТРИ
СВОБОДОПАДАЮЩЕЙ
РАКЕТЫ.

ДРУГИМИ
СЛОВАМИ...

...ВСЕ, ЧТО ВНУТРИ РА-
КЕТЫ СЧИТАЕТСЯ ИНЕР-
ЦИАЛЬНЫМ ПРОСТРАН-
СТВОМ, НА КОТОРОЕ
ГРАВИТАЦИЯ
НЕ ДЕЙСТВУЕТ.

ПОНЯТНО.

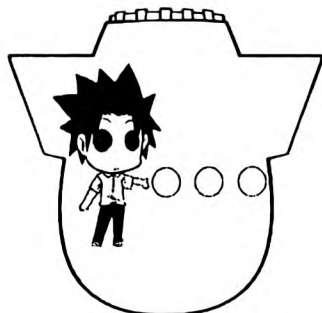
СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ЕСЛИ
ТЫ СЛЕГКА ТОЛКНЕШЬ
МЯЧИК, ОН ПОЛЕТИТ
С ОПРЕДЕЛЕННОЙ
СКОРОСТЬЮ.

ЯСНО.

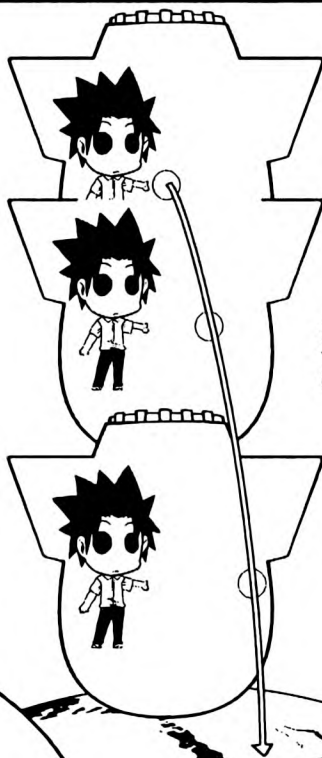
НО, ЧТО ПРОИЗОИДЕТ,
КОГДА ЗА ЭТОЙ
СИТУАЦИЕЙ НАБЛЮДАЕТ
ЧЕЛОВЕК НА ЗЕМЛЕ?

ВЫ ГОВОРите О ЧЕЛОВЕКЕ
НА ЗЕМЛЕ, КОТОРЫЙ
НАБЛЮДАЕТ, КАК МЯЧИК
ЛЕТАЕТ ВНУТРИ РАКЕТЫ?

АА, ИМЕННО.



Когда на мячик смотрят изнутри свободно-падающей ракеты, он движется прямолинейно и равномерно.



Когда за тем же мячиком смотрят с Земли, он движется как будто по параболе.

ХОТЯ ВСЯ ЭТА СЦЕНА
НЕМНОГО ПРИТЯНУТА ЗА УШИ,
НО, ЕСЛИ МЫ ПРЕДПОЛОЖИМ
НА СЕКУНДОЧКУ, ЧТО ЭТО
ВСЕ-ТАКИ ПРОИСХОДИТ,
ТО ТРАЕКТОРИЯ МЯЧИКА
ПРИ НАБЛЮДЕНИИ С ЗЕМЛИ
БУДЕТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО
ПРЕДСТАВЛЯТЬ СОБОЙ
ПАРАБОЛУ.

ВСЕ ПОТОМУ, ЧТО, КОГДА
ЗА РАКЕТОЙ И ТОБОЙ
ВНУТРИ НАБЛЮДАЮТ
С ЗЕМЛИ, ТЫ ПАДАЕШЬ
ПРЯМО ВНИЗ, А МЯЧИК
ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ В СТОРОНУ.



А ЧТО ПРОИЗОЙДЕТ,
ЕСЛИ ТЫ ВМЕСТО
МЯЧКА, БУДЕШЬ
ИСПУСКАТЬ СВЕТ?



ЕСЛИ ЗА ЭТИМ
НАБЛЮДАТЬ С ЗЕМЛИ,
ТО ТРАЕКТОРИЯ
ДВИЖЕНИЯ СВЕТА
БУДЕТ ТАКОЙ ЖЕ, КАК
И У МЯЧКА.

ДРУГИМИ
СЛОВАМИ, ЭТО
ЗНАЧИТ, ЧТО...!



ДА! ЭТО ЗНАЧИТ ЧТО СВЕТ
ОТКЛОНЯЕТСЯ ОТ ПРЯМОЙ
ИЗ-ЗА ГРАВИТАЦИИ.

ХМ, НО...

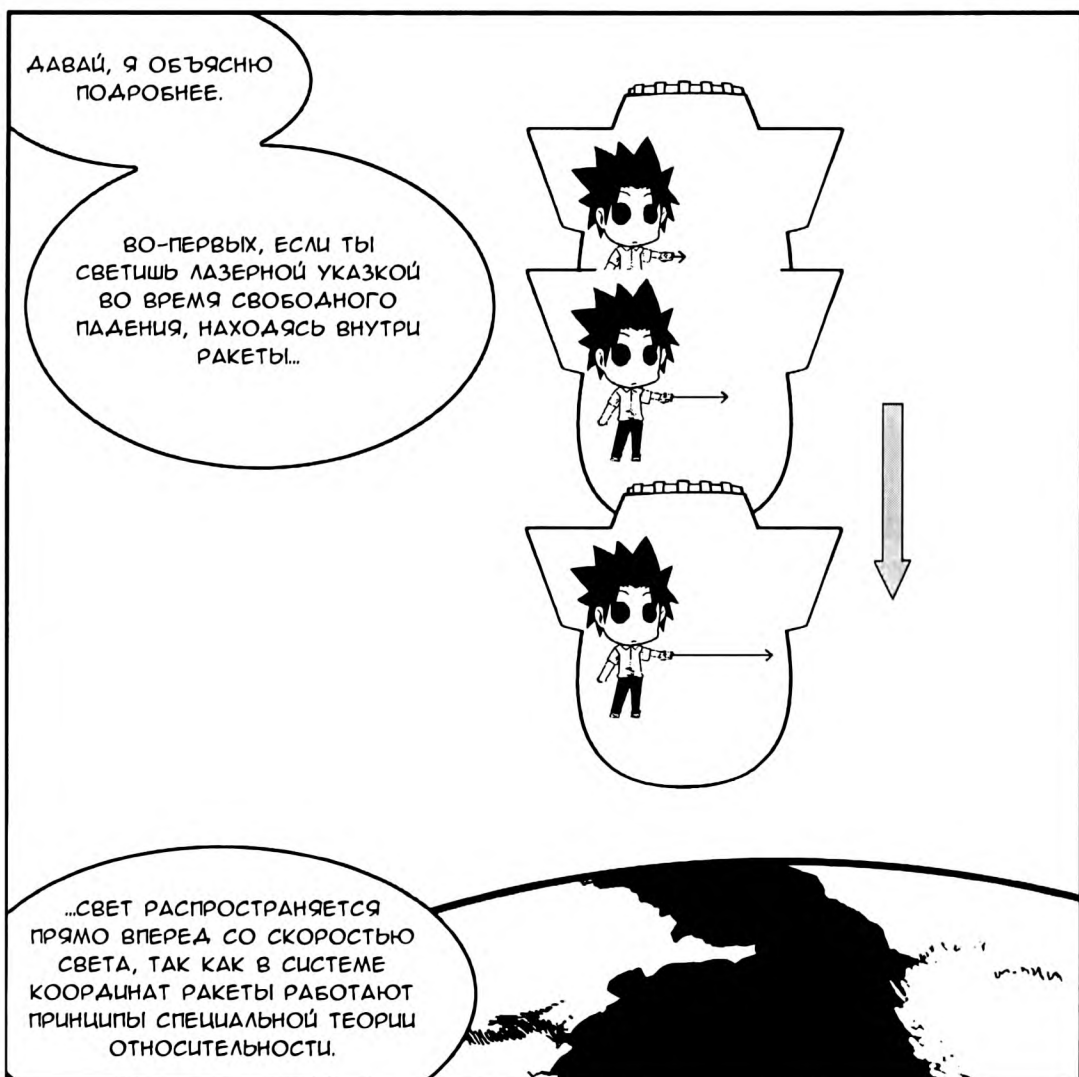
...СЛУШАЯ ВАШИ ОБЪЯСНЕНИЯ,
Я ПОНИМАЮ, ЧТО, ТАК ОНО
И БУДЕТ, НО МНЕ КАК-ТО НЕ
СОВСЕМ ВСЕ ЭТО ПОНЯТНО.



ВАЖНЫЙ МОМЕНТ
ТУТ В ТОМ...

...ЧТО СВЕТ, КОТОРЫЙ В РАКЕТЕ
ДВИЖЕТСЯ СТРОГО ПРЯМО,
ОТКЛОНЯЕТСЯ ОТ ПРЯМОЙ
ЛИНИИ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА
НИМ С ЗЕМЛИ.

ХМ...?



ЕСЛИ ЗА ДВИЖЕНИЕМ
ПЕРЕДНЕГО ФРОНТА СВЕТА
ВНУТРИ СВОБОДНОПАДАЮЩЕЙ
РАКЕТЫ НАБЛЮДАЮТ С ЗЕМЛИ,
ТО БУДЕТ КАЗАТЬСЯ, ЧТО ОН
ДВИЖЕТСЯ ПО ПАРАБОЛЕ.

СОГЛАСНО СПЕЦИАЛЬНОЙ
ТЕОРИИ СВЕТА
ДВИЖЕТСЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ
НАПРАВЛЕНИИ
С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ.

о-о-о!

ТАК КАК ОН ПАДАЕТ В
ВЕРТИКАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ
БЛАГОДАРЯ ПОСТОЯННОЙ
ГРАВИТАЦИИ, ОН РИСУЕТ ПАРАБОЛУ
ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ ДВИЖЕНИЙ В
ДВУХ НАПРАВЛЕНИЯХ.

Если за движением переднего фронта света внутри
свободнопадающей ракеты наблюдать с Земли, то будет
казаться, что он движется по параболе.

Так как свет намного быстрее мячика,
этот график не построить в масштабе.

ПОХОЖЕ, ВСЕ ТОЖЕ
САМОЕ, ЧТО И ДЛЯ
МЯЧИКА!

ВНУТРИ СВОБОДОПАДАЮЩЕЙ РАКЕТЫ СВЕТ ПРОХОДИТ БОЛЕЕ КОРОТКОЕ РАССТОЯНИЕ В ИНЕРЦИАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ИЛИ, ДРУГИМИ СЛОВАМИ, ПО ПРЯМОЙ ЛИНИИ.

И КОГДА ВНУТРЕННЯЯ ЧАСТЬ РАКЕТЫ ОБОЗРЕВАЕТСЯ С ЗЕМЛИ... СВЕТ ИЗГИБАЕТСЯ.

ТРАЕКТОРИЯ ОКАЗЫВАЕТСЯ ЗАКРУГЛЕННОЙ, ТО ЕСТЬ СВЕТ ЦАЕТ НЕ ПО КРОТЧАЙШЕМУ ПУТИ.

А ЕСЛИ ЗА СВЕТОМ НАБЛЮДАЮТ ИЗНУТРИ, ТО ЕГО ПУТЬ КАЖЕТСЯ ИНЫМ, ЧЕМ, ЕСЛИ ЗА НИМ НАБЛЮДАЮТ С ЗЕМЛИ?

ДА, ИНЫМ, НО...

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПОЛАГАЕТ, ЧТО ЭТО ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ ТАКОВО, ЧТО...

...ДВИЖЕНИЕ СВЕТА ПО САМОМУ КОРОТКОМУ ПУТИ В ПРОСТРАНСТВЕ-ВРЕМЕНИ НЕ ДОЛЖНО ОТЛИЧАТЬСЯ ДЛЯ ЛЮБЫХ ТОЧЕК ЗРЕНИЯ.

РАЗВЕ ЭТО НЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ?

СПОКОЙНО.

ТАК КАК ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ ПЛОСКОЕ В ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ, СВЕТ ВИДЕН, КАК РАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ПО ПРЯМОЙ ЛИНИИ... ТАК ВЕДЬ ПРОИСХОДИТ?

АА...



КОГДА ЗА СВЕТОМ ВНУТРИ УСКОРЯЮЩЕЙСЯ РАКЕТЫ НАБЛЮДАЮТ С ЗЕМЛИ, НАБЛЮДАТЕЛЬ ДОЛЖЕН ВИДЕТЬ, ЧТО СВЕТ ИДЕТ ПО НАИКРАТЧАЙШЕМУ ПУТИ В ПРОСТРАНСТВЕ. ОДНАКО, ИЗ-ЗА ТОГО, ЧТО РАКЕТА УСКОРЯЕТСЯ ОТНОСИТЕЛЬНО НАБЛЮДАТЕЛЕЙ НА ЗЕМЛЕ, ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ СТАНОВИТСЯ КРИВЫМ...

...ТАКИМ, ЧТО НАИКРАТЧАЙШИЙ ПУТЬ ДЛЯ СВЕТА ВИДИТСЯ ИМ В ВИДЕ ПАРАБОЛЫ. ВОТ КАКОВА КОНЦЕПЦИЯ ЭЙНШТЕЙНА.

ЧТО?!

КАКАЯ ВОЗМУТИТЕЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ



АА УЖЕ, ВОЗМУТИТЕЛЬНАЯ.

И ЭЙНШТЕЙН ЗАДАЛСЯ
ВОПРОСОМ, НЕ ЯВЛЯЕТСЯ
ЛИ ЭТО ИСКРIVЛЕНИЕ
ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ
САМОЙ ГРАВИТАЦИЕЙ.

ОЙ, КАК СЛОЖНО
СЕБЕ ПРЕДСТАВИТЬ
ИСКРIVЛЕННОЕ
ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ.

ТАК И ЕСТЬ. НАПРИМЕР,
У ЗЕМЛИ ИСКРIVЛЕННАЯ
ПОВЕРХНОСТЬ, ТАК?

НАИКРАТЧАЙШЕЕ РАССТОЯНИЕ
ПО ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ - ЭТО
КРИВАЯ.

Хотя тяжело себе представить, что
пространство-время искривлено,
наикратчайшее расстояние на искривленной
поверхности, например, на поверхности Земли - это
часть большой окружности.*

ПШШ...
ПШШ...

ПШШ...

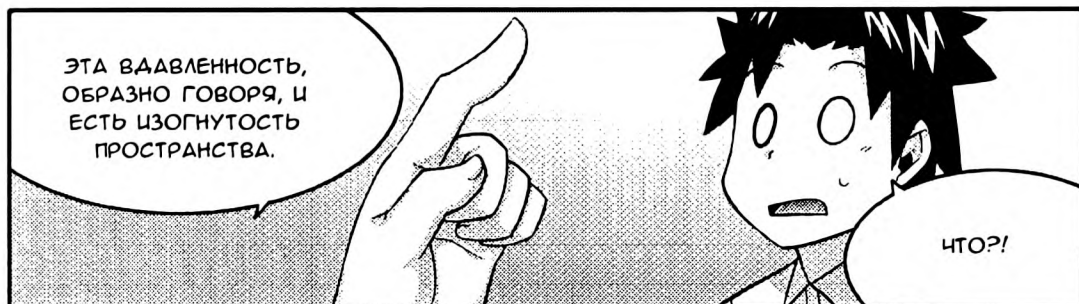
БУ-БУ-БУ

ДЛЯ ЛУЧШЕГО ПО-
НИМАНИЯ, ДАВАЙ
РАССМОТРИМ ДВУ-
МЕРНУЮ, ТО ЕСТЬ
ПЛОСКУЮ ПОВЕРХ-
НОСТЬ.

ЧТО-ТО Я НЕ
ВРУБАЮСЬ!

АА...
ДАВАЙТЕ!

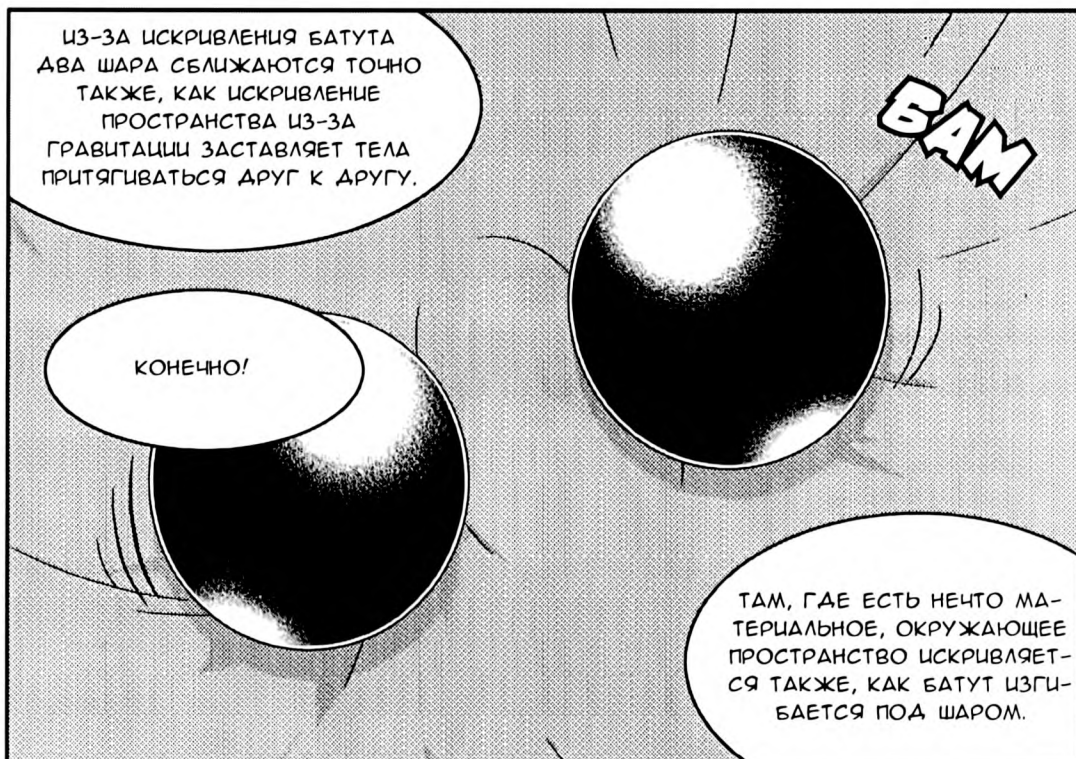
* Большая окружность - это окружность, которая делит сферу на две равные части-половины. Наикратчайшее расстояние между двумя точками на сфере *всегда* является частью (или, еще говорят, меньшей дугой) большой окружности.





А ТЕПЕРЬ ДАВАЙ
ПОЛОЖИМ ЕЩЕ ОДИН
ШАР.

ПОСЛЕ ЭТОГО, РАЗМЕР
ВОГНУТОСТИ УВЕЛИЧИТ-
СЯ, И ДВА ШАРА БУДУТ
СТРЕМИТЬСЯ ДРУГ К
ДРУГУ.



ИЗ-ЗА ИСКРИВЛЕНИЯ БАТУТА
ДВА ШАРА СБЛИЖАЮТСЯ ТОЧНО
ТАКЖЕ, КАК ИСКРИВЛЕНИЕ
ПРОСТРАНСТВА ИЗ-ЗА
ГРАВИТАЦИИ ЗАСТАВЛЯЕТ ТЕЛА
ПРЯТЯГИВАТЬСЯ ДРУГ К ДРУГУ.

КОНЕЧНО!

ТАМ, ГДЕ ЕСТЬ НЕЧТО МА-
ТЕРИАЛЬНОЕ, ОКРУЖАЮЩЕЕ
ПРОСТРАНСТВО ИСКРИВЛЯЕТ-
СЯ ТАКЖЕ, КАК БАТУТ ИЗГИ-
БАЕТСЯ ПОД ШАРОМ.



И ЭТО ЯВЛЕНИЕ, НАЗВАННОЕ
ГРАВИТАЦИЕЙ, ПРОИСХОДИТ
ВНУТРИ ИЗОГНУТОГО
ПРОСТРАНСТВА.

ЩЕЛК

КА...КАЖЕТСЯ, ТЕПЕРЬ Я
ПОНЯЛ.

СВЕТ, КОТОРЫЙ ЦАЕТ
ВАОЛЬ ТАКОГО ВЦАА
ПРОСТРАНСТВА КАЖЕТСЯ
ИЗОГНУТЫМ ДЛЯ ТЕХ,
КТО НАБЛЮДАЕТ ЗА НИМ
ИЗДАЛЕКА.

ХМ!

Ч.3. ГРАВИТАЦИЯ ЗАМЕДЛЯЕТ ВРЕМЯ

ДАЛЕЕ...

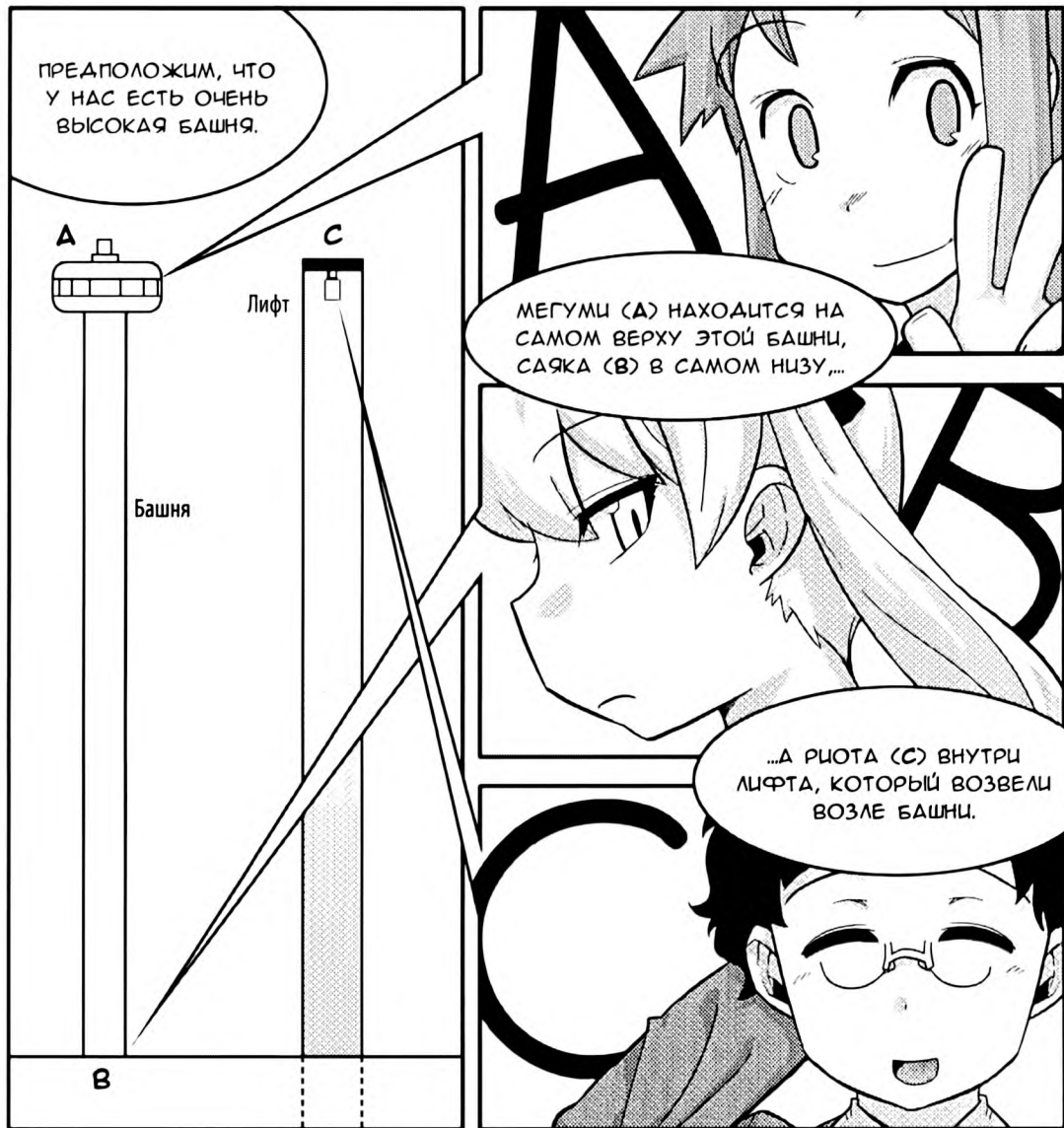
ТЕПЕРЬ ДАВАЙ
РАЗБЕРЕМСЯ СО
ВРЕМЕНЕМ.

О!

ВРЕМЯ ТАКЖЕ
ЗАМЕДЛЯЕТСЯ В МЕСТЕ,
НАХОДЯЩИМСЯ ПОД
ВОЗДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОЙ
ГРАВИТАЦИИ, ТАК?

АА! Я ЭТО КАЖЕТСЯ
ВСПОМИНАЮ...
С ТРУДОМ...

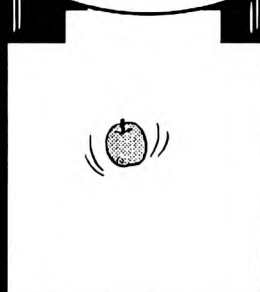
ЧТО Ж, ОБЪЯСНЮ ЭТО
ТАКЖЕ НА ПРИМЕРЕ.



МЫ БУДЕМ ВИЗУАЛЬНО СРАВНИВАТЬ ЧАСЫ ТРЕХ СТУДЕНТОВ, КОГДА ЛИФТ БУДЕТ НАХОДИТЬСЯ В СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ, ЧТОБЫ ПОНЯТЬ, КАК ГРАВИТАЦИЯ ВЛИЯЕТ НА СКОРОСТЬ, С КОТОРОЙ ИДЕТ ВРЕМЯ.

А ТЕПЕРЬ НАДО ЗАПОМНИТЬ СЛЕДУЮЩЕЕ:

1. ВНУТРИ СВОБОДНОПАДАЮЩЕГО ЛИФТА СОСТОЯНИЕ НЕВЕСОМОСТИ.



2. ЗАЕЩЬ ПРИМЕНИМА СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.



3. ЧАСЫ ВНУТРИ ЛИФТА ИДУТ С ПОСТОЯННЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ИНТЕРВАЛАМИ.



ДАВАЙ РАССМОТРИМ ЭТО МЕТОДИЧНО ШАГ ЗА ШАГОМ.

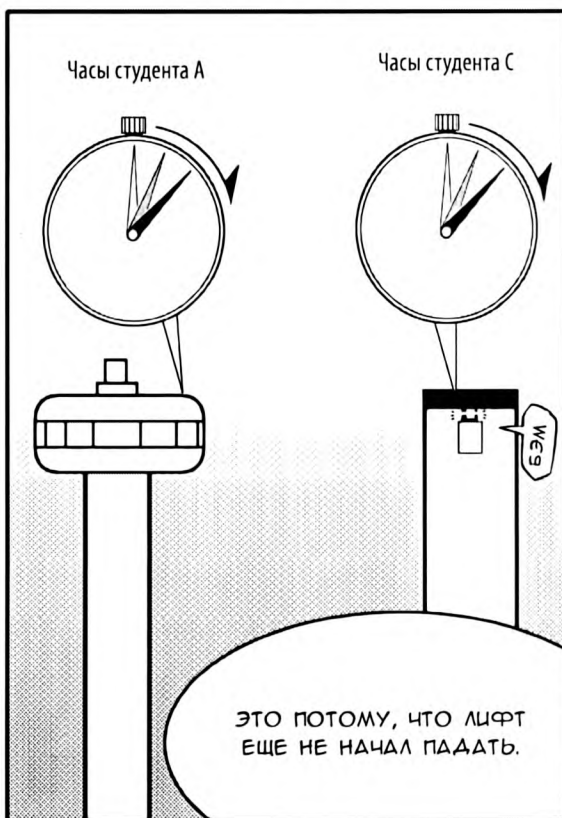
ТАК КАК А И С ИЗНАЧАЛЬНО НАХОДЯТСЯ НА ОДНОЙ ВЫСОТЕ, НА НИХ ДЕЙСТВУЕТ ОДНА И ТА ЖЕ ГРАВИТАЦИЯ.



СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ВРЕМЯ И СКОРОСТЬ ЕГО ТЕЧЕНИЯ У А И С СОВПАДАЮТ.



ЯСНО.



ЛИФТ ПРИТЯГИВАЕТСЯ
ГРАВИТАЦИЕЙ И ЕГО
СКОРОСТЬ НАРАСТАЕТ.

ВЖЖЖ...

И ЛИФТ...

...В КАКОЙ-ТО МОМЕНТ
ПРОЛЕТАЕТ МИМО В
НА ОПРЕДЕЛЕННОЙ
СКОРОСТИ.

ПОДОЖДИТЕ, А ЧТО
ТАМ СО СТУДЕНТОМ С?
ОН В БЕЗОПАСНОСТИ?!

Э...
ЕСЛИ НАРИСОВАТЬ
КАРТИНКУ, ТО ЭТО
БУДЕТ ВЫГЛЯДЕТЬ ВОТ
ТАК.



ОТВЕЧАЙТЕ!

ЕСЛИ БЫ В ЭТОТ МО-
МЕНТ С СМОТРЕЛ НА В
ИЗ ЛИФТА, ДЛЯ НЕГО
ОНА БЫ ДВИГАЛАСЬ
СНИЗУ ВВЕРХ...

...ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ ОБ-
РАТНЫМ НАПРАВЛЕНИ-
ЕМ ЕГО СОБСТВЕН-
НОГО ДВИЖЕНИЯ,
ТАК КАК ОН ПАДАЕТ
СВЕРХУ ВНИЗ.

СОГЛАСНО СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕО-
РИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В ТОТ
МОМЕНТ, КОГДА С ПРОЛЕТАЕТ
МИМО В, С НАБЛЮДАЕТ, КАК
ВРЕМЯ В ЗАМЕДЛЯЕТСЯ В
РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАМЕДЛЕНИЯ
ТЕЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ.

ТАК КАК С
СВОБОДНО ПАДА-
ЕТ, ОН НАХОДИТСЯ В
ИДЕАЛЬНОЙ ИНЕРЦИАЛЬ-
НОЙ СИСТЕМЕ КООРДИ-
НАТ, СЛЕДОВАТЕЛЬНО,
СКОРОСТЬ, С КОТОРОЙ
ЦАУТ ВПЕРЕД ЕГО
ЧАСЫ, ПОСТОЯННА.

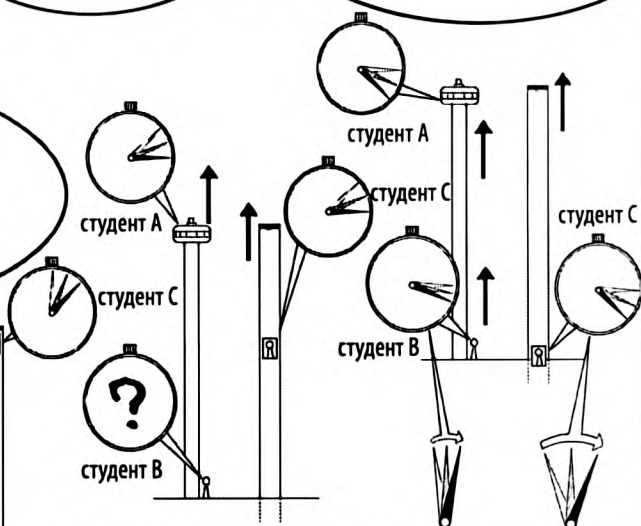
ДАВАЙ РАССМОТРИМ
ВСЕ ЭТО, ВЗЯВ С ЗА
ТОЧКУ ОТСЧЕТА. КОГДА
ЛИФТ НАЧИНАЕТ ПА-
ДАТЬ, ХОД ЧАСОВ А
И С ОДИНАКОВЫЙ.

КОГДА С, НАКОНЕЦ,
КАСАЕТСЯ ЗЕМЛИ, МЫ
СМОТРИМ НА ВСЕ ТРИ
ЧАСОВЫХ МЕХАНИЗМА.
ЧАСЫ В ШЛИ МЕДЛЕННЕЕ,
ЧЕМ ЧАСЫ С В РЕЗУЛЬ-
ТАТЕ ЗАМЕДЛЕНИЯ ТЕЧЕ-
НИЯ ВРЕМЕНИ.

ТАК КАК ЧАСЫ С И А
НАЧАЛИ С ОДНИМ И ТЕМ
ЖЕ ХОДОМ, ЧАСЫ В ШЛИ
МЕДЛЕННЕЕ, ЧЕМ ЧАСЫ А.

ПОТОК ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕН НА
ТОМ УЧАСТКЕ, ГДЕ ДЕЙСТВУЕТ
СИЛЬНАЯ ГРАВИТАЦИЯ!

ВСЕ ВЕРНО. ВРЕМЯ ЦАЕТ
МЕДЛЕННЕЕ В СИСТЕМАХ
КООРДИНАТ, БЛИЗКИХ К
ИСТОЧНИКАМ ГРАВИТАЦИИ, ТАКИМ
КАК ЗЕМЛЯ, ЧЕМ НА ДАЛЬНИХ ОТ
НЕЕ РАССТОЯНИЯХ.



С точки зрения студента С, Зем-
ля ему кажется приближаю-
щейся.

Ход часов студента В мед-
леннее, чем ход часов сту-
дента С.

ЕСЛИ ГОВОРИТЬ БОЛЕЕ
ТОЧНО, ЧЕМ НИЖЕ ГРАВИТА-
ЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ: (Т. Е. БЛИ-
ЖЕ К ИСТОЧНИКУ ГРАВИТАЦИИ), ТЕМ
МЕДЛЕННЕЕ ЦАЕТ ВРЕМЯ.

4.4. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ВСЕЛЕННАЯ

ВРЕМЯ И ПРОСТРАНСТВО,
ИЛИ СКАЗАТЬ ТОЧНЕЕ,
ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ,...

...БЫВШЕЕ В НАШЕМ
РАССМОТРЕНИИ
ПРОСТО
ВМЕСТИЛИЩЕ
ВЕЩЕСТВА...

...НЕОБХОДИМО РАССМАТРИВАТЬ
СОВМЕСТНО С ВЕЩЕСТВЕННЫМИ
ОБЪЕКТАМИ, ТАК КАК БЫЛИ
ВЫЯВЛЕНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
И СВЯЗИ МЕЖДУ НИМИ.

ДАЖЕ, ЕСЛИ ТЕОРИЯ
СТАНОВИТСЯ ПОНЯТНОЙ,
ЭТО ВСЕ РАВНО КАЖЕТСЯ
СТРАННЫМ И НЕПРИВЫЧНЫМ.

НО, ТЕМ НЕ МЕНЕЕ,
ЭТА КОНЦЕПЦИЯ ЗНА-
ЧИТЕЛЬНО ВЛИЯЕТ НА
НАШЕ ВОСПРИЯТИЕ
ПРОСТРАНСТВА, ОКРУ-
ЖАЮЩЕЕ НАС.

НА САМОМ ДЕЛЕ
СОВРЕМЕННАЯ КОСМОЛОГИЯ
(Т. Е. НАУКА О ВСЕЛЕННОЙ)
ПОЛНОСТЬЮ ПОЛАГАЕТСЯ
НА ОБЩУЮ ТЕОРИЮ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

АА?!



ХОТЯ СУЩЕСТВУЕТ НЕ-
СКОЛЬКО МОДЕЛЕЙ ВСЕ-
ЛЕННОЙ, ТЕОРИЯ ОСНО-
ВАННАЯ НА ОБЩЕЙ ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ...

...ГЛАСЯЩАЯ, ЧТО «ВСЕ-
ЛЕННАЯ, ВОЗМОЖНО,
РАСШИРЯЕТСЯ»...

СТАЛА ДОМИНИРУЮ-
ЩЕЙ МОДЕЛЬЮ ВСЕ-
ЛЕННОЙ.

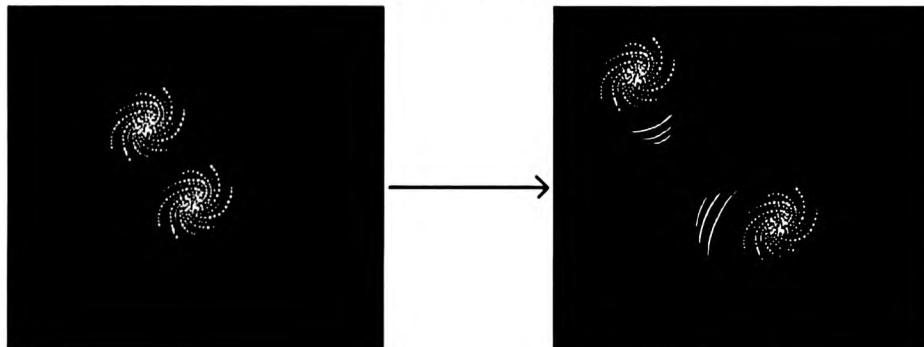
ЧПОК

Известно, что Вселенная, как пространство-время, возможно, расширяется или сжимается.

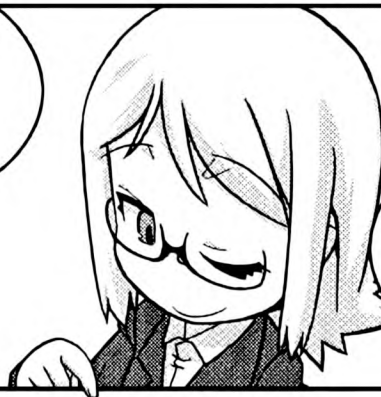


Пространство — это не просто некий
объем. Его размеры могут меняться по
мере его взаимодействия с веществом.

Хотя механика Ньютона считала, что вещество распространяется в «космосе», и это означает просто его бесконечное существование, она не предполагает, что пространство может расширяться само по себе.

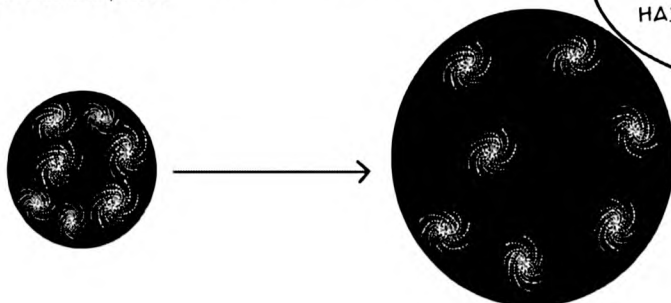


ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ
ХАББЛА МЫ ЯСНО
ПОНИМАЕМ, ЧТО
ВСЕЛЕННАЯ РАСШИ-
РЯЕТСЯ.



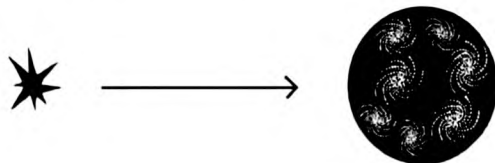
КАК СЛЕДСТВИЕ, ИЗ
ЕГО ЗАКЛЮЧЕНИЙ БЫЛА
ПРЕДЛОЖЕНА ТЕОРИЯ
БОЛЬШОГО ВЗРЫВА. ОНА
УТВЕРЖДАЕТ, ЧТО...

Хаббл обнаружил, что Вселенная расширяется, и, что расстояние между галактиками во Вселенной растет.



«ВСЕЛЕННАЯ НАЧАЛАСЬ
С ГИГАНТСКОГО ВЗРЫ-
ВА В ОДНОЙ ТОЧКЕ,
НАЗВАННОГО БОЛЬШИМ
ВЗРЫВОМ».

Исходя из его наблюдений была предложена теория Большого взрыва, ко-
торая утверждала, что Вселенная начала свое существование с гигантского
взрыва в одной точке.



Я СЛЫШАЛ РАНЬ-
ШЕ ЭТО НАЗВА-
НИЕ! БОЛЬШОЙ
ВЗРЫВ!

ЭТИ СЛОВА ПОЛ-
НЫ МАГИЧЕСКОЙ
СИЛЫ!

КАКОУ, ВСЕ-ТАКИ,
ТЫ ЕЩЕ РЕБЕНОК.

BRA-KOOM



ЭТО БУДЕТ
ДОСТОЙНОЕ
ВОЗНАГРАЖДЕНИЕ
ЗА ТВОЕ УСЕРДИЕ.

СМОТРИ, НЕ
ОПОЗДЫВАЙ НА
НАШЕ РАНДЕВУ!

ХА...

МОЖЕТ ПОЛУЧУ ХОТЬ
КАКОЕ-ТО УДОВОЛЬСТВИЕ
ОТ УХОДЯЩИХ ЛЕТНИХ
КАНИКУЛ.

ИЗВИНИ, ЧТО
ЗАСТАВИЛА
ТЕБЯ ЖДАТЬ...
ХА-ХА!

НУ ВОТ,
МИСС УРАГА
ОПАЗДЫВАЕТ...

ШУ-ШУ-ШУ

УГОЩАЙСЯ!

ПОСЛУШАЙТЕ!

НУ...

...Ц?

20



ВПЕРЕД МИНАГИ! ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ!

БА-БАХ!!!





МОЖЕТ НАВЕДЕТЕ
ПРОЖЕКТОР НА
ТОГО, О КОМ
РЕЧЬ?

ЭЦ!
ЭЦ!

УЯ-ААА!



АЛИСА,
ПОМОГИТЕ МНЕ!

ВСЕ ПРИВЕТСТВУЮТ
МЕНЯ, А ВЫ
ПОКУПАЕТЕ
ЯКИСОБУ*!

ЭТО ТЕБЕ,
ДОРОГАЯ, ОН
ЗАВЕДЕЛИ!

ВЫ ТАК
ЛЮБЕЗНЫ!~♡



* Жаренная лапша в соусе.



ЦЕ-Е
ЦЕ-Е

КАШЛЯЕТ
КХМ.
ТАААК... КХМ.

ЦЕ-Е



ЭЦ! ТЫ НЕ СОБИ-
РАЕШЬСЯ ПРИ-
СОЕДИНИТЬСЯ К
ЧИРЦАДЕРШАМ?

А ЧТО?
ЭТО ШОУ
ЧИРЦАДЕРШ?



НЕТ. Я ТАК
КАЖАБЫЙ ДЕНЬ
ОАЕВАЮСЬ.

Я НИЧЕГО НЕ
ПОНИМАЮ.



ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Давайте с помощью некоторых уравнений посмотрим на «замедление времени» в общей теории относительности, основываясь на объяснениях, рассмотренных выше.

Мы предположили, что студент *A* находится на самом вершине высотной башни, а студент *B* в самом ее низу, а в это время третий студент *C* стоит в лифте, расположенном рядом с башней, как это показано на **рис. 4.1**.

Мы также предположили, что у всех трех студентов одинаковые часы. Однако, так как пространство-время искривляется из-за гравитации, мы не знаем, одинаково ли время и скорость, с которой оно (ход времени) идет у всех троих.

Следовательно, мы проверим скорость, с которой идет время из-за гравитации при следующих трех условиях:

1. Внутри свободнопадающего лифта возникает состояние невесомости.
2. Так как здесь справедлива специальная теория относительности, часы внутри лифта идут с постоянными временными интервалами.
3. Часы студента *A* наверху башни, и часы студента *B* внизу башни идут каждый со своим интервалом времени.

Плюс к этому для проверки скорости, с которой идет время из-за гравитации, мы применим следующую процедуру.

1. Установим на одном уровне скорости, с которыми идет время для студента *C* внутри лифта и для студента *B* в начале падения.
2. Сравним скорости, с которыми идет время для студента *C* внутри лифта и для студента *B* в конце падения.

Вначале, так как студенты *A* и *C* находятся на одной высоте, на них действует одна и та же сила тяжести.

Пусть z обозначает направление действия гравитации в том месте, а ϕ обозначает гравитационный потенциал. Гравитационный потенциал – это коэффициент потенциальной энергии, деленный на массу тела. Например, потенциальная энергия притяжения вблизи с поверхностью Земли равна mgh , а гравитационный потенциал равен gh .

Итак, мы расположим на одном уровне время студентов *A* и *C*, и скорости, с которыми идет время.

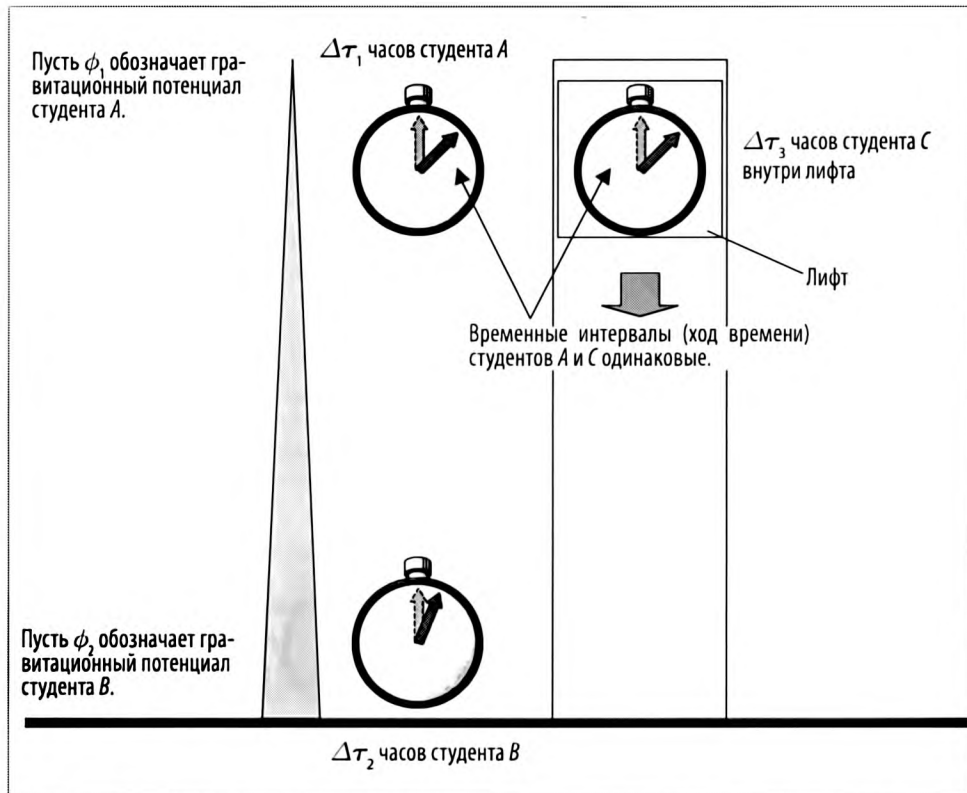


Рис. 4.1. Выстраивание в линию скоростей, с которыми проходит время в начале падения для студента С внутри лифта и студента А в начале падения

Пусть $\Delta\tau_1$ – это время, которое идет в точке нахождения студента А, а $\Delta\tau_2$ – время, которое идет в точке нахождения студента В.

Теперь давайте предположим, что трос, удерживающий лифт, оборвался, и лифт начинает свободное падение. Так как скорость падения сразу же после обрыва троса (скорость, с которой студент А улетает вверх, если смотреть с точки зрения студента С) равна $v = 0$, то ход времени у часов студентов А и С одинаков.

$$\Delta\tau_1 = \Delta\tau_3$$

Лифт притягивает сила притяжения (гравитация), и его скорость увеличивается. Мимо студента В он пролетает на определенной скорости (v).

Если бы за студентом В наблюдал в этот момент студент С из лифта, он бы видел, как студент В движется вверх, что является противоположным направлением его собственного движения (падения с вершины башни вниз), если на него смотреть со стороны (см. **рис. 4.2**).

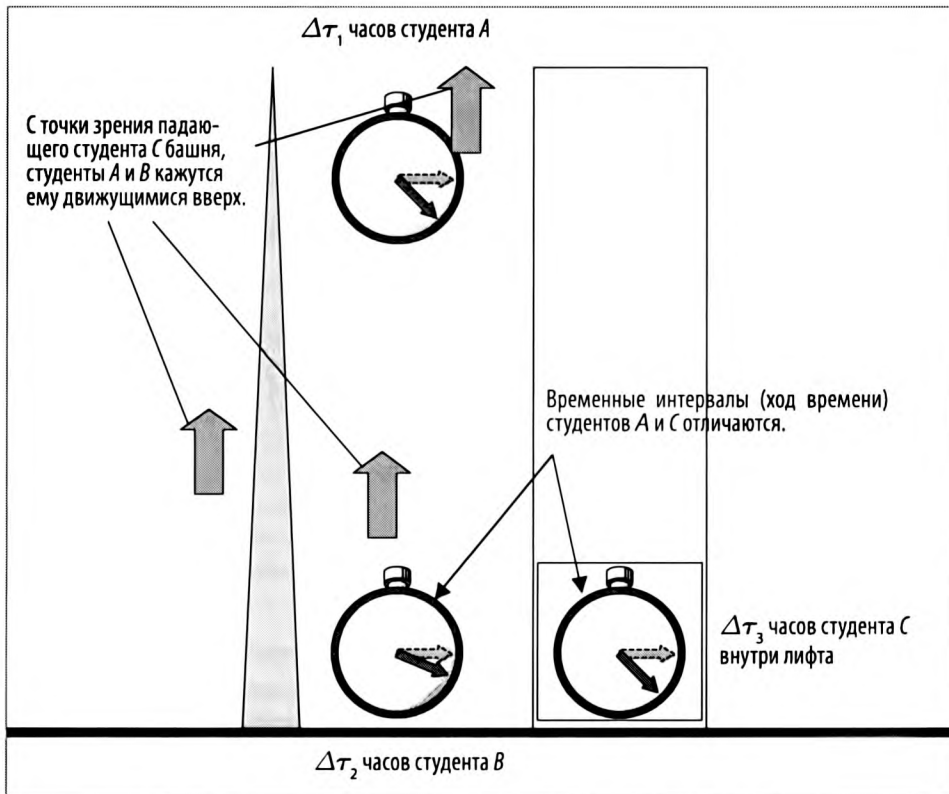


Рис. 4.2. Сравнение скоростей, с которыми идет время для часов студента С внутри лифта и студента В в конце падения

Согласно специальной теории относительности, в тот момент, когда студент С пролетает мимо студента В, мы имеем

$$\Delta\tau_2 = \Delta\tau_3 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \quad (2)$$

сравнивая уравнения 1 и 2, мы исключаем $\Delta\tau_3$ и получаем

$$\frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} < 1 \quad (3).$$

Это неравенство показывает, что ход времени у часов студента В становится медленнее, чем ход часов студента С. Скорость, с которой время идет для часов студента С, где гравитационный потенциал ниже (ϕ_2 , ближе к источнику гравитации), медленнее, чем скорость, с которой идет время для часов студента А, где гравитационный потенциал высокий (ϕ_1 , далеко от источника гравитации).

Другими словами чем ближе гравитационный потенциал к источнику гравитации, тем медленнее проходит время.

Давайте предположим, что скорость v низкая, и, что мы можем тогда использовать механику Ньютона (если мы допускаем $x = v/c$, тогда $x \ll 1$).

Следовательно, когда ϕ_1 обозначает гравитационный потенциал в месте нахождения студента A, а ϕ_2 обозначает гравитационный потенциал в месте нахождения студента B, мы имеем $\phi_1 > \phi_2$.

Благодаря сохранению энергии в момент перед самым касанием земли у лифта вся его потенциальная энергия преобразуется в кинетическую, а его скорость v равняется следующему выражению:

$$(\phi_1 - \phi_2)m = \frac{1}{2}mv^2.$$

Тогда получаем следующее:

$$\phi_1 - \phi_2 = \frac{1}{2}v^2. \quad (4)$$

Когда $x \ll 1$ мы можем применить следующую аппроксимирующую формулу:

$$(1+x)^a \approx 1 + xa.$$

Так как $x \ll 1$ потому что $x = v/c$, имеем следующее:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = (1 - x^2)^{\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{1}{2}x^2 = 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2.$$

Если применить это вместе с уравнением 3, получаем следующее уравнение:

$$\frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \approx 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2. \quad (5)$$

Если мы подставим выражение

$$\phi_1 - \phi_2 = \frac{1}{2}v^2$$

из уравнения 4 в уравнение 5, получим следующее уравнение:

$$\frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1} \approx 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \frac{\phi_1 - \phi_2}{c^2}. \quad (6)$$

Также, слегка преобразуем приведенное выше уравнение, так как

$$\frac{\phi_1 - \phi_2}{c^2} \approx 1 - \frac{\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1} = \frac{\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2}{\Delta\tau_1}$$

и получаем следующее уравнение:

$$\frac{\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2}{\Delta\tau_1} \approx \frac{\phi_1 - \phi_2}{c^2} . \tag{7}$$

Другими словами гравитационный потенциал относится к замедлению времени, как это показано в уравнении 7.

Как видно из **рис. 4.3**, разница гравитационных потенциалов $\phi_1 - \phi_2$ между землей и телом на высоте h имеет вид gh .

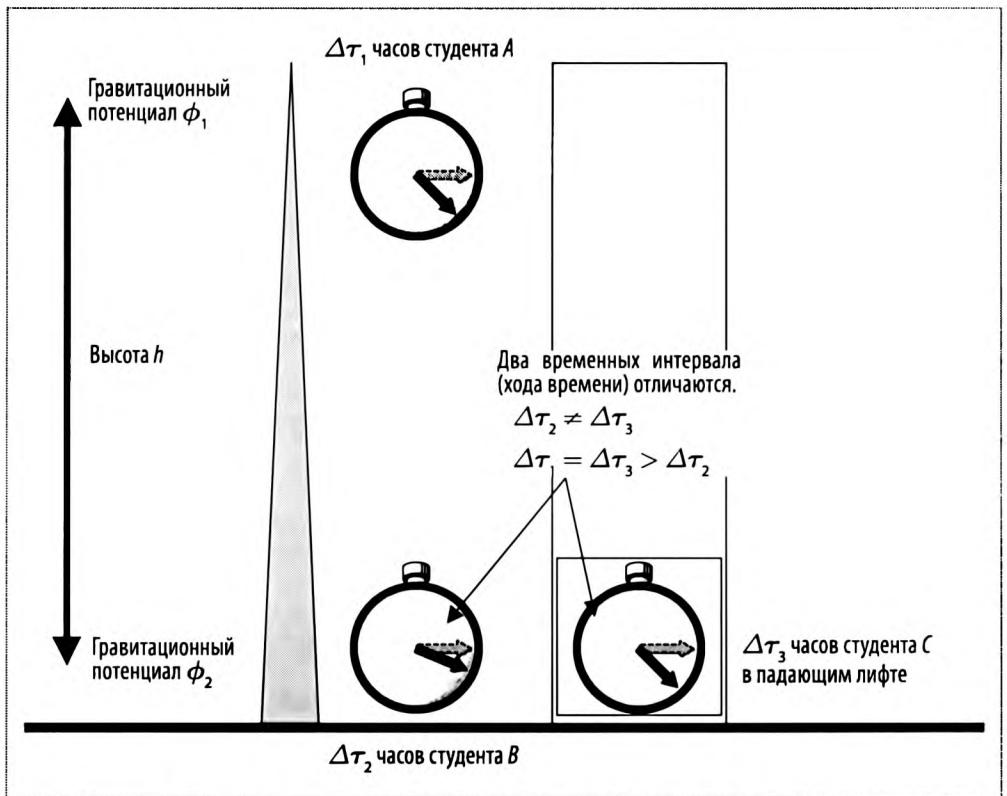


Рис. 4.3. Состояние относительно слабой гравитации на Земле

Если допустить, что $\phi_2 = 0$, h обозначает высоту до ϕ_1 , а g обозначает гравитационное ускорение вблизи Земли, и затем подставить $\phi_1 = gh$ и $\phi_2 = 0$ в уравнение 7, получаем следующее:

$$(\phi_1 - \phi_2)m = \frac{1}{2}mv^2$$

Часы на большей высоте измеряют время $\Delta\tau_1$, которое опережает часы расположенные ниже, которые измеряют время $\Delta\tau_2$. Мы знаем, что это так, потому что в уравнении выше и gh/c^2 и $\Delta\tau_1$ больше нуля, и следовательно $\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2 > 0$; поэтому $\Delta\tau_1 > \Delta\tau_2$.

ИСТИННАЯ ПРИРОДА ГРАВИТАЦИИ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Пространство-время, в котором находится тело, искривлено, как мы уже объясняли ранее. Очевидно, что это искривление имеет тот же эффект, что и гравитация в смысле притяжения тела.

Эйнштейн привел эти эффекты к единообразию в серии уравнений, называемых уравнениями гравитационного поля Эйнштейна. Эти уравнения показали, что время и пространство (пространство-время), которые, как считалось ранее, существуют как основа для измерения движения вещества, были неразрывно связаны с самими веществом.

ЯВЛЕНИЯ, ОТКРЫТЫЕ БЛАГОДАРЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Этот раздел представляет следующие явления, открытые благодаря общей теории относительности:

- Гравитационное линзирование;
- Аномальная прецессия перигелия Меркурия;
- Черные дыры.

■ ОТКЛОНЕНИЕ СВЕТА (ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ) ВБЛИЗИ БОЛЬШИХ МАСС (ТАКИХ КАК СОЛНЦЕ)

Гравитационное линзирование – это явление, заключающееся в искривлении траектории луча света при прохождении вблизи Солнца.

Пространство искривляется вблизи Солнца из-за его большой массы, как показано на **рис. 4.4**. Так как свет движется вперед вблизи этой массы, свет от далеких звезд искривляется, и звезда наблюдается с некоторым сдвигом. Этот эффект получил подтверждение во время наблюдения полного солнечного затмения. Это считается первым обнаруженным доказательством общей теории относительности.

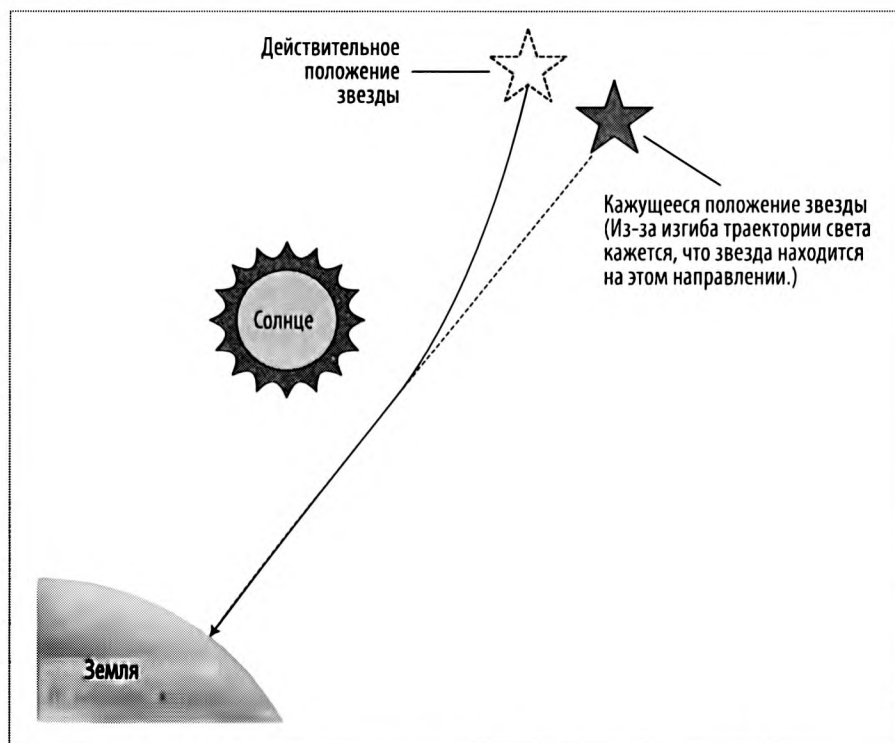


Рис. 4.4. Искривление траектории света вблизи крупных масс

Также, когда свет идет из далекой галактики, как это показано на **рис. 4.5**, если в промежуточной точке находится крупное тело (такое же, как галактика), оно искривит траекторию света от дальней галактики так, как будто в этой промежуточной точке находится собирающая линза. Это искривление может привести к тому, что далекая галактика будет казаться искаженной. Было зафиксировано много примеров этого эффекта. Это еще один пример гравитационного линзирования.

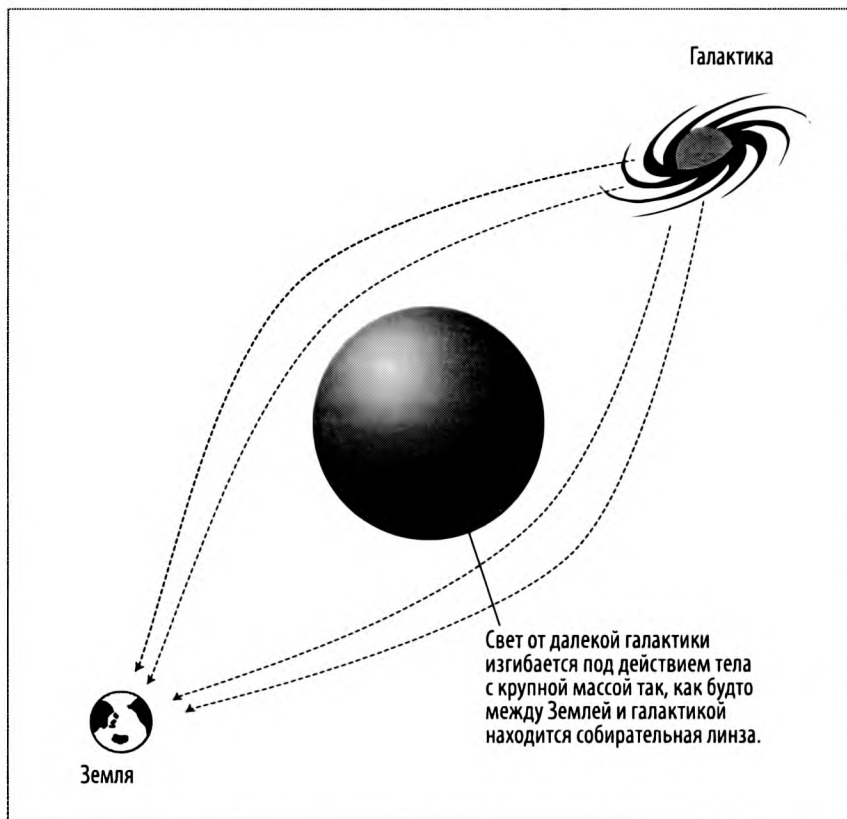


Рис. 4.5. Гравитационное линзирование

■ АНОМАЛЬНАЯ ПРЕЦЕССИЯ ПЕРИГЕЛИЯ МЕРКУРИЯ

Перигелий – это самая близкая к Солнцу точка на орбите планеты, как это показано на **рис. 4.6**. Нам известно, что перигелий Меркурия движется примерно со скоростью 574 угловых секунд в столетие (угловая скорость). Заметим, что «секунды» здесь это угловые единицы, а не единицы измерения времени. Угловая минута равна 1/60 одного градуса, а угловая секунда это 1/60 от нее. Другими словами угловая секунда равна 1/3600 градуса. Если Сдвиг происходит примерно на 574 угловых секунды в столетие, что примерно соответствует 0,16 градуса.

С учётом механики Ньютона производились исследования различных причин этого сдвига, например, предполагалось влияние гравитации других планет. Однако ни одно из исследований не смогло объяснить 43 угловые секунды движения перигелия. Но, когда применили общую теорию относительности, чтобы проверить сдвиг в перигелии и подсчитали отклонение пространства-времени из-за массы Солнца, то оказалось, что перигелий сдвинут ровно на 43 угловых секунды.

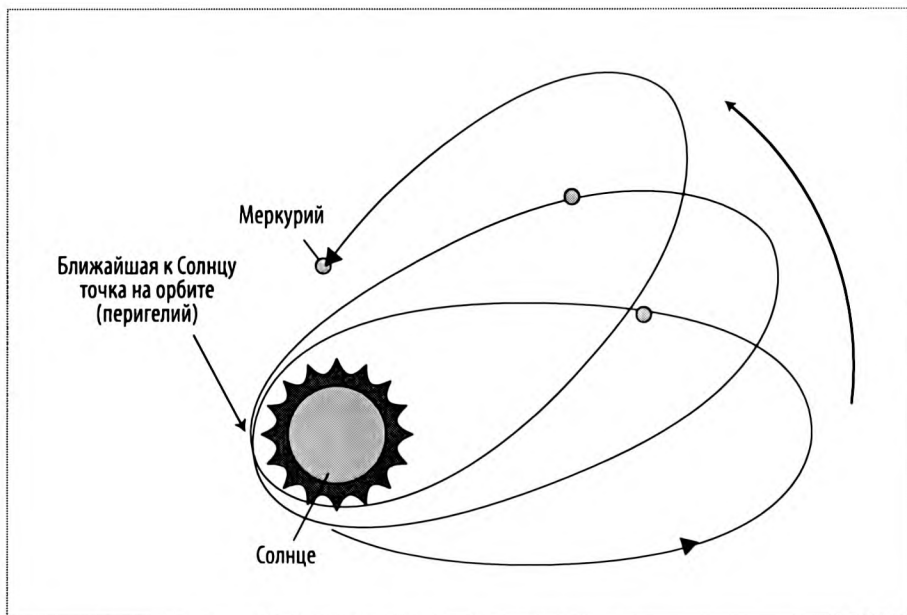


Рис. 4.6. Аномальный сдвиг перигелия Меркурия

■ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Черная дыра – это такое место в космосе, где существует чрезмерная концентрация массы, и гравитация там становится настолько сильной, что оттуда не может вырваться даже свет.

В конце жизненного цикла звезды, имеющей массу, превышающую массу Солнца в несколько раз, происходит взрыв (взрыв сверхновой). В результате в космическом пространстве образуется район, в котором масса чрезвычайно концентрирована и гравитация становится такой сильной, что даже свет не может вырваться оттуда. Этот район и называется *черной дырой*.

Так как свет не может вырваться, черную дыру нельзя увидеть непосредственно. Однако, если вблизи черной дыры есть другие звезды, газ от тех звезд будет стремиться в сторону черной дыры и формировать аккреционный диск. Он представляет собой облако диффузной материи вокруг черной дыры. Когда газ устремляется к черной дыре, от аккреционного диска испускаются рентгеновские лучи и гамма-лучи.

Предполагаемая черная дыра была открыта в 1971 году в созвездии Лебедь. В настоящее время полагают, что в центре галактических систем имеются супермассивные черные дыры.

В глобальную навигационную систему (GPS) входит 24 спутника на орбите Земли, с помощью которых определяется местоположение объекта. Каждый спутник передает сигнал к Земле с информацией о времени передачи. Приемник на Земле (например, навигационная система автомобиля) получает эти сигналы. Эти сигналы в виде радиоволн достигают приемника со скоростью света (примерно 300 000 000 м/с).

Когда время приема сигнала сравнивается с временем передачи, а разница этих величин умножается на скорость света, получается расстояние до спутника. Другими словами, если мы предположим, что расстояние между спутником и приемником равно 20 000 км, то радиоволны достигают приемника за 0,067 секунды (т. е. 20 000 000 м разделить на 300 000 000 м/с). Этот расчет выполняется для трех спутников, чтобы точно определить местонахождение объекта на земле.

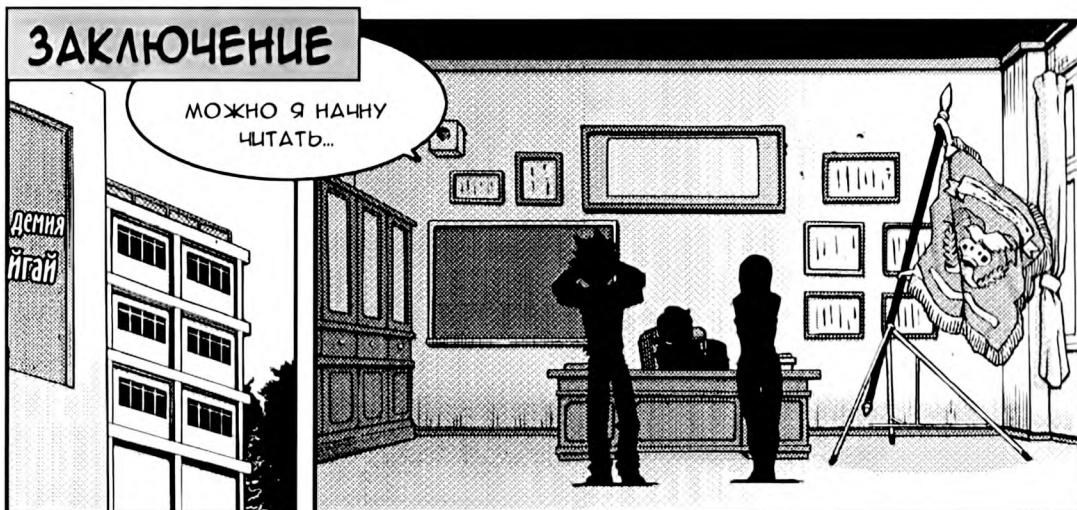
Однако, если есть ошибка в разнице во времени, то ошибка появится и в расчете расстояния между спутником и приемником. К примеру, если время передачи сигнала со спутника сместится на 1 микросекунду (10^{-6} секунд), расстояние сдвинется на 300 метров ($300\,000\,000\text{ м/с} \times 0,000\,001\text{ с} = 300\text{ м}$).

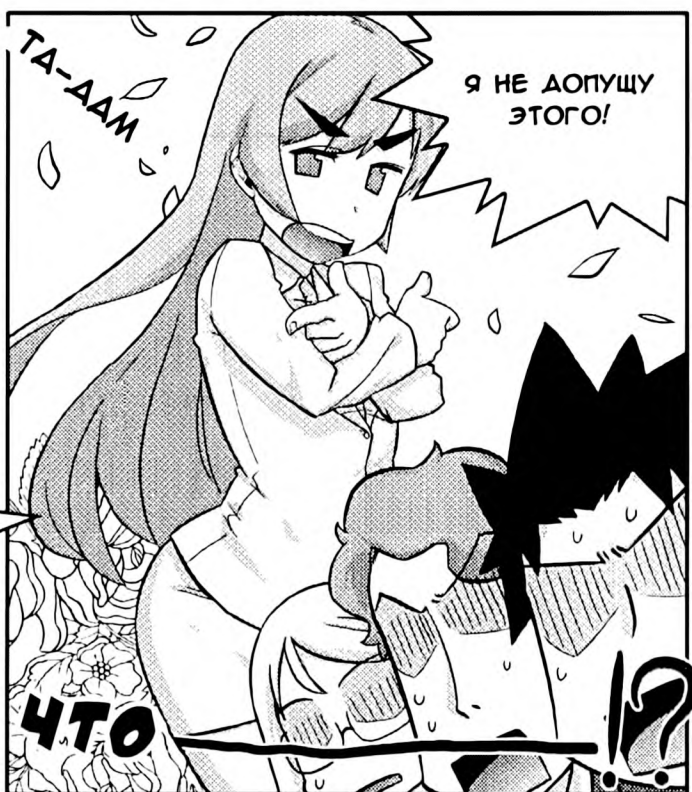
Спутники GPS вращаются вокруг Земли на высоте 20 000 км, со скоростью, которая позволяет им сделать 1 оборот примерно за 12 часов. На такой скорости эффект общей теории относительности приводит к тому, что время спутников замедляется на 7,1 микросекунды в день. Однако, так как они находятся высоко от Земли, эффект общей теории относительности заставляет их время идти быстрее, чем идет время на Земле. Разница составляет 46,3 микросекунды в день (эффект общей теории относительности показан в уравнении 7 на стр.160). В результате время передачи со спутника медленнее на 39,2 микросекунды в день (см. **рис. 4.7**). Спутники GPS созданы так, чтобы учитывать эффекты как специальной, так общей теории относительностей.



Рис. 4.7. Глобальная навигационная система учитывает эффекты теории относительности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ







Ты... Ты...
инспектор
школы?!

АА.

У ЭТОЙ
ШКОЛЫ ЕСТЬ
ИНСПЕКТОР?!



Я ЗАМАСКИРОВАЛАСЬ
ПОД СОБАКУ, ЧТОБЫ
ВТАЙНЕ НАБЛЮДАТЬ ЗА
ШКОЛЬНОЙ ЖИЗНЬЮ.

ХОТЯ РАНЬШЕ
МНЕ ЭТО НЕ
ПОМОГАЛО ДОСТИЧЬ
РЕЗУЛЬТАТОВ...



МНЕ ДОСТАЛАСЬ ЭТА
ДОЛЖНОСТЬ ОТ МОЕГО
ПОКОЙНОГО ОТЦА,
НО Я ХОТЕЛА БЫТЬ
СВОБОДНОЙ!

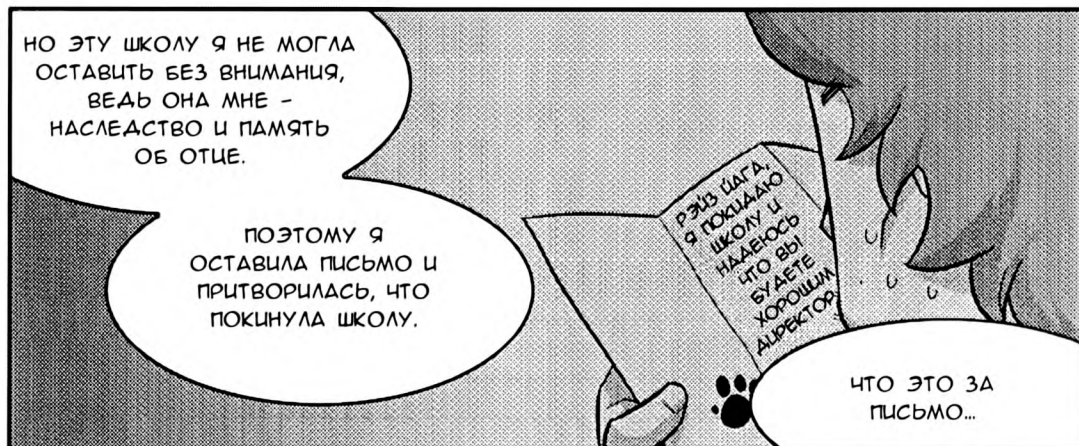


СВОБОДНОЙ КАК
ВЕТЕР!

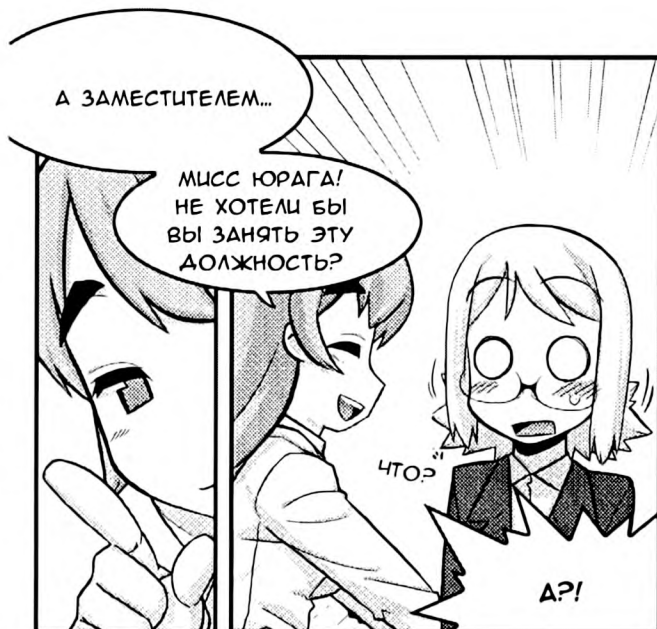
ПЛЕСК

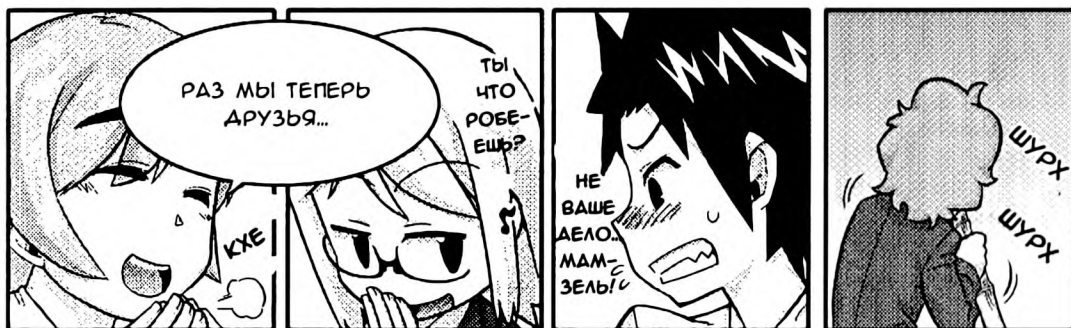
О-ууууу

О ЧЕМ ОНА
ВООБЩЕ
ГОВОРИТ?









★ ПРЕДМЕТНЫЙ ★ УКАЗАТЕЛЬ

А

абсолютное стационарное пространство 28, 29, 33, 35
аккреционный диск 164
аннигиляция 102

Б

Большой взрыв 150

В

вес 85, 86, 92, 93, 94, 95, 123, 124, 139
внешняя сила 18,
время 15, 16, 36, 37, 54, 57, 63, 70, 73, 78, 89, 91, 111,
141–143, 146, 147, 156
Вселенная 35, 147–149
второй закон Ньютона (закон движения) 22, 95, 109

Г

галактика 28, 35, 150, 162, 163
Галилей Галилео 7
Галилея принцип относительности 17
гамма-лучи 40, 146
глобальная навигационная система (GPS) 165
гравитационное линзирование; 161–163
гравитационный потенциал 156–160
гравитация 14, 16, 69–72, 94, 95, 118, 119, 125,
127–131, 134, 135, 138, 140, 142, 143, 145,
146, 156, 157, 160, 161, 164

Д

движение равномерное прямолинейное 18
джоуль 100, 101
дисперсия 41
дифракция 41, 42
длина 15, 36, 40, 55, 59, 85, 89, 90, 91, 107, 111
длина волны 40

З

закон движения (второй закон Ньютона) 22, 95, 109
закон действия и противодействия (третий закон Ньютона) 22, 95
закон инерции (первый закон Ньютона) 18, 22, 95,
120, 123
закон сохранения массы 97

закон сохранения энергии 97, 98
законы механики Ньютона 22, 25, 32, 95, 109
замедление времени 54, 78, 81, 90, 91, 108, 156, 160
звезда 16, 28, 81, 162
Земля 31, 35, 81, 94, 108, 109, 127, 131, 132, 135, 137,
138, 146, 160, 162, 163, 165

И

инерциальная система отсчета 15, 19, 137
инерциальная система отсчета 34, 47, 69, 118, 146
инерционная сила 118–126, 128, 131
инерция 94
интерференция 41, 42
инфракрасные лучи 40
искривление траектории света 162

К

космос 27, 29, 164

Л

Лебедь (созвездие) 164
линзирование гравитационное 161, 162
лоренцево сокращение 106
Луна 94

М

Майкельсон Альберт Абрахам 32
Максвелл Джеймс-Клерк 24
масса 15, 16, 55, 85, 93–103, 109, 111, 112, 156,
162–164
Меркурий 161–164
механика Ньютона 17, 34, 36, 37
Морли Эдвард Уильямс 32
мюон 108, 109

Н

невесомость 119, 127, 130, 143, 156
неинерциальная система отсчета 15, 19, 20
нерелятивистское сложение скоростей 45
несовпадение одновременности 45, 46

П

парабола 132, 135, 137
парадокс близнецов 67

парная аннигиляция 103
первый закон Ньютона (закон инерции) 18, 22
перигелий 161, 163, 164
позитрон 102
поляризация 43
поток времени 59, 88, 146
преобразования Галилея 47, 48, 109, 110, 111
преобразования Лоренца 48, 49, 107, 111
прецессия 161
принцип относительности Галилея 17, 19, 33, 47, 109
принцип эквивалентности 72, 118, 129
пространство 15, 16, 37, 85, 91, 111, 147, 162
пространство-время 37, 91, 137–139, 142, 147, 149, 156, 161

Р

равномерное прямолинейное движение 18
радиоволны 40, 165
расстояние 15, 37, 62
релятивистское сложение скоростей 45, 49
релятивистское сокращение длины 107
рентгеновские лучи 40, 164
рефракция 40

С

сверхновая 164
свет 15, 26–32, 35, 40, 44, 58–63, 92, 98, 102, 131, 134–137, 141, 143, 162, 164
световой год 81
сила 18, 94, 96, 110, 120–122
сила инерции 120
сила притяжения 127, 128, 130, 157
сила тяжести 122 – 125, 156
система координат 28, 29, 37
система отсчета инерциальная 15, 19
система отсчета неинерциальная 15, 19, 20
скорость 96, 97
скорость света 15, 22–26, 30–37, 44–47, 50, 53–57, 73, 78, 81, 85, 88, 92, 93, 96, 100, 107–109, 111, 112, 134
собственная энергия 112
сокращение времени 90, 91
сокращение длины 90, 106
Солнечная система 35, 81
Солнце 31, 81, 162–164
состояние покоя 18, 30, 55, 57, 71

Т

теорема Пифагора 61, 62, 73, 78
теория относительности 4, 14, 20, 23, 40, 44, 78, 81, 90, 91, 99, 109, 111, 118, 147, 148, 156, 165

теория относительности общая 14, 16, 70, 72, 116, 117, 118, 136 – 149, 156, 161 – 163, 165
теория относительности специальная 14, 34, 36, 37, 67, 69, 70, 85, 108, 117, 118, 134, 143, 146, 158, 165
течение времени (ход времени) 15, 63, 64, 157, 158, 160
точка отсчета 21
третий закон Ньютона (закон действия и противодействия) 22

У

угловая секунда 163
ультрафиолетовые лучи 40
уравнения гравитационного поля 161
уравнения Максвелла 24, 26, 40
ускорение 14, 69, 71, 95, 109, 118, 119, 125, 128, 129

Ф

фотон 02
Фридман Александр Александрович 148

Х

Хаббл Эдвин 148, 150

Ц

центробежная сила 125–127
центростремительная сила 127

Ч

часы 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 78, 142–144, 146, 156–158, 160, 161
черная дыра 161, 164

Э

Эйнштейн Альберт 17, 34, 36, 72, 118, 129, 137, 138, 161
электромагнитная волна 25, 26, 40
электромагнитное излучение 40
электрон 44, 102, 108
элементарные частицы 108
энергия 97, 98, 99, 100, 101, 103, 111, 112, 156, 159
энергия кинетическая 159
энергия покоя (собственная энергия) 112
энергия потенциальная 159
эфир 26–29, 31–33
эфирный ветер 31–33

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом, выслать открытку или письмо по почтовому адресу: **115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А.**

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: **www.aliants-kniga.ru**

Ямамото Масафуми (автор), Такацу Кэйта (художник)

Занимательная физика. Теория относительности.

Манга

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
dmkpress@gmail.com

Перевод *Сенникова Т. И.*

Научный редактор *Сенников И. А.*

Корректор *Синяева Г. И.*

Верстка *Паранская Н. В.*

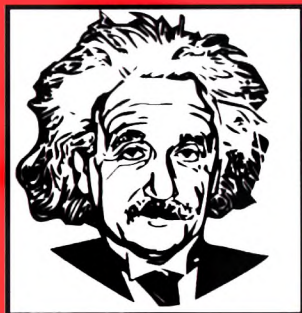
Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Формат 70×100¹/₁₆

Печать офсетная. Усл. печ. л. 21.93.

Тираж 500 экз.

Веб-сайт издательства: **www.dmk.ru**



ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ВСЕ ПЕРЕВЕРНУЛОСЬ ВВЕРХ ДНОМ В АКАДЕМИИ ТАКАИ. КОГДА ПОЛОУМНЫЙ ДИРЕКТОР ЗАСТАВЛЯЕТ ВСЕ КЛАСС УЧИТЬ ТЕОРИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ВСЕ ЛЕТНИЕ КАНИКУЛЫ. МИНАГИ ВЫЗЫВАЕТСЯ УЧИТЬ ЕЕ ОДИН ЗА ВСЕ КЛАСС. ТОЛЬКО ЕСТЬ ОДНА ПРОБЛЕМА: ОН НИКОГДА РАНЬШЕ НЕ СЛЫШАЛ ПРО ТЕОРИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ! К СЧАСТЬЮ МИНАГИ БУДЕТ УЧИТЬ ОТВАЖНЫЙ ПЕДАГОГ МИСС ЮРАГА.

ЧИТАЯ ЭТУ МАНГУ, ВЫ УЗНАЕТЕ, КАК МИНАГИ ЗНАКОМИТСЯ С НЕТРИВИАЛЬНЫМИ ЗАКОНАМИ, ПО КОТОРЫМ СУЩЕСТВУЕТ НАША ВСЕЛЕННАЯ. ВМЕСТЕ С НИМ ВЫ УСВОИТЕ НЕКОТОРЫЕ СЛОЖНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТАКИЕ КАК СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА, ОБЪЕДИНЕННОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ И ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ. ВЫ ДАЖЕ УЗНАЕТЕ, КАК ПРИНЦИПЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ВЛИЯЮТ НА СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АСТРОНОМИИ, И ВЫЯСНИТЕ, ПОЧЕМУ СИСТЕМЫ GPS И ДРУГИЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАВИСЯТ ОТ ПОТРЯСАЮЩЕГО ОТКРЫТИЯ, СДЕЛАННОГО АЛЬБЕРТОМ ЭЙНШТЕЙНОМ.

КНИГА ТАКЖЕ НАУЧИТ ВАС ПОНИМАТЬ И ИСПОЛЬЗОВАТЬ САМОЕ ИЗВЕСТНОЕ В МИРЕ УРАВНЕНИЕ $E = mc^2$; ВЫЧИСЛЯТЬ ЭФФЕКТЫ ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ ПИФАГОРА; ПОНИМАТЬ КЛАССИЧЕСКИЕ МЫСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ТАКИЕ КАК, ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ; УВИДЕТЬ, ПОЧЕМУ НА РЕЛЯТИВИСТИЧЕСКИХ СКОРОСТЯХ ДЛИНА СЖИМАЕТСЯ, А МАССА УВЕЛИЧИВАЕТСЯ; УХВАТИТЬ СУТЬ СПЕЦИАЛЬНОЙ И ОБЩЕЙ ТЕОРИЙ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА.

ЕСЛИ МЫСЛЬ О ТОМ, ЧТО ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ ИСКРИВЛЯЮТСЯ, БУДОРЖИТ ВАШ УМ, ТО ЭТА МАНГА НАВЕДЕТ В ГОЛОВЕ ПОЛНЫЙ ПОРЯДОК!

Интернет-магазин: www.dmkpress.com

Книга-почтой: orders@aliants-kniga.ru

Оптовая продажа: "Альянс-книга".
(499)782-3889. books@aliants-kniga.ru

ДМК
ИЗДАТЕЛЬСТВО
www.dmk.ru

ISBN 978-5-97060-564-6



9 785970 605646 >