

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Добро пожаловать в мир 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. Относительность и сложные механизмы квантовой механики – это незаменимые инструменты для изучения и понимания физических явлений.

Во времена Ньютона, когда физики измеряли скорости намного меньшие 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 могут меняться, а скорость света всегда постоянна.

Этот радикальный подход привел к большим 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 стали летать в космос.


Схожим образом теория относительности позволила нам лучше понять идеи устройства пространства-времени, в которых мы и живем. Другими словами относительность это ответ на вопрос, что же на самом деле происходит в нашем мире, а не как в нашем мире по идее 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 заключении я хотел бы выразить глубокую признательность всем, кто работал над этой книгой в издательстве Ошма, re\_akiно, 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 ★

 <b>ПРОЛОГ.</b> Скандальная церемония окончания года	<b>1</b>
---	----------


 <b>Глава 1.</b> Что такое теория относительности?	<b>9</b>
---	----------

1.1. Что такое теория относительности? .....	14
1.2. Принцип относительности Галилея и ньютоновская механика.....	16
1.3. Загадочная скорость света.....	23
1.4. Эйнштейн отверг ньютоновскую механику .....	34

<b>Дополнительная информация</b> .....	<b>40</b>
Что такое свет? .....	40
Свет постоянен 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
<b>Дополнительная информация.....</b>	<b>78</b>
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. Сжимается ли длина тела, если двигаться быстрее?.....	86
3.2. Становимся ли мы тяжелее, если движемся быстрее? ...	92
<b>Дополнительная информация.....</b>	<b>106</b>
Как понять 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 ..... 162

    Явления, открытые благодаря общей теории относительности ..... 162

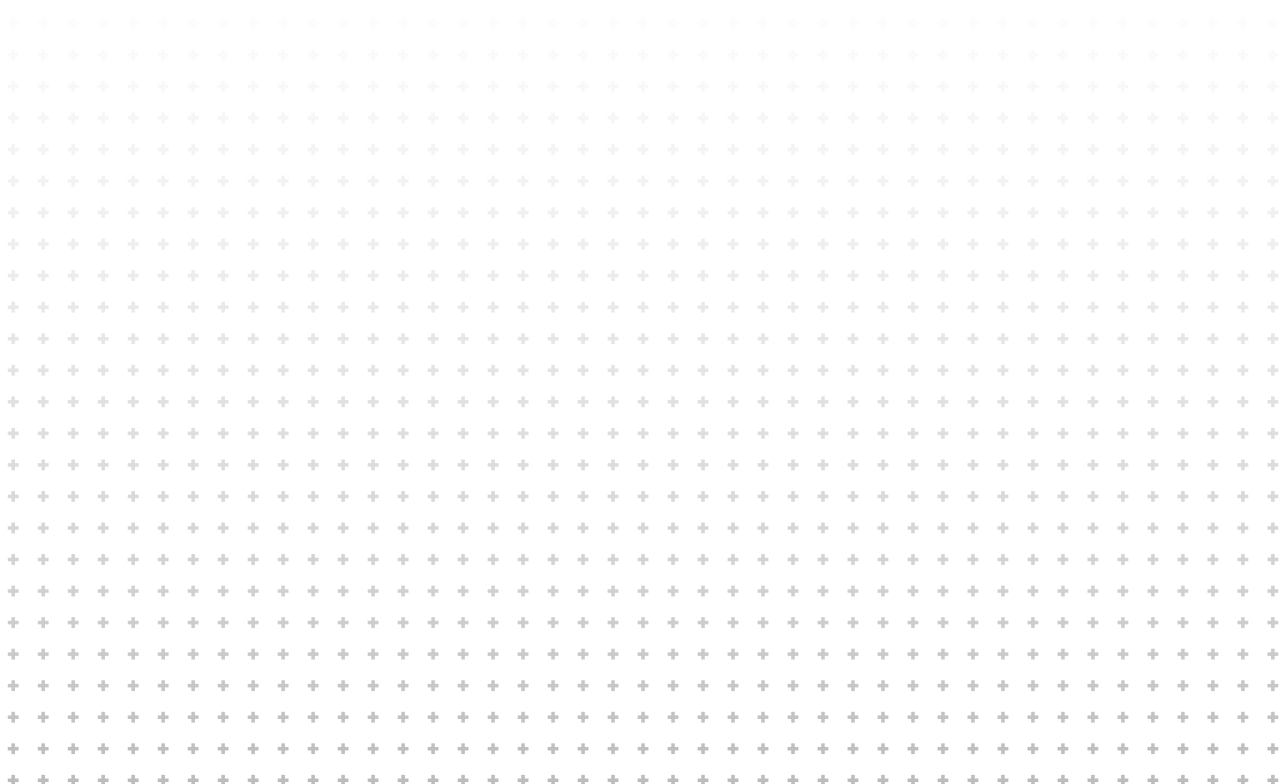
    Глобальная навигационная система и теория относительности ..... 166

Заключение..... 174

Предметный указатель ..... 174



# СКАНДАЛЬНАЯ ЦЕРЕМОНИЯ ОКОНЧАНИЯ 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 КАНКУЛЫ...

ТАК, ЧТО!

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

Директор школы  
Рэйз Йага

ЧТО ЕЩЕ ОН ТАМ ПРИДУМАЛ? НАШ ДИРЕК ТАКОЙ ПРИДУРОК!



# КОЛЕСО ФОРТУНЫ!

А ВОТ И ПОДАРОК!

ВАША СУДЬБА В МОИХ РУКАХ!

ШУРХ-Х-Х

Английский язык

Исследование по выбору

Теория относительности

Пусто

Математика

ЧТО !?



ЭТИМ ЛЕТОМ У ВАС БУДЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОУЧИТЬСЯ ТОМУ ПРЕДМЕТУ, КУДА ПОПАДЕТ ДРОТИК. ВАМ ЯСНО?

БУ-БУ-БУ...

ОН ЧТО, ШУТИТ?

НЕТ, ТОЛЬКО НЕ ЭТО! ПОСТОЙТЕ!



ЕСЛИ КИНЕТ ЯШЬКИ, ТО ОН УЖ ТОЧНО ПОПАДЕТ В «ПУСТО», ВЕДЬ ОН ЛУЧШИЙ ПИТЧЕР В НАШЕЙ БЕЙСБОЛЬНОЙ КОМАНДЕ.

ТОЧНО!  
«ВЕРТУШКА ЯШЬКИ»  
И ВСЕ В ПОРЯ...



Я ПОНИМАЮ, ЧТО НА ПОРОГЕ КАНИКУЛЫ...

ВЖ-Ц-Ц-Ц-Ц

О-О-О!  
КИДАТЬ БУДЕТ САМ ДИРЕК!



ЭТО НЕЧЕСТНО!  
ЭТО НАСИЛИЕ!

НЕ-ЕТ... НЕ-ЕТ...

ЧТО ЕЩЕ  
ЗА ТЕОРИЯ  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?

БАМ!



.....!!

Теория  
относительности

КАКОГО...?



ХУЖЕ НЕКУДА!  
ЧТО ЭТО  
ЗА ШТУКА?

ЧТО ТАКОЕ...

ЗАМДИРА  
ЗАЕСЬ!

ГРРР

ГАВ-  
ГАВ!

ПЛОХО ЕМУ  
БЕЗ НАС?!

Заместитель  
директора  
Каромару



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

ЧТО-ТО МЫ НЕ  
ПОНИМАЕМ ЗАМЦРА,  
НО ОН, ПОХОЖЕ,  
НЕДОВОЛЕН ДИРЕКОМ!

А ПОЧЕМУ ТУТ  
СОБАКА ЯВЛЯЕТСЯ  
ЗАМЕСТИТЕЛЕМ  
ДИРЕКТОРА?

ВЫ НЕ МОЖЕТЕ  
ПРОСТО ВЗЯТЬ  
И ПОВЕСИТЬ  
ЭТО НА НАС!

А! ЭТО ТЫ,  
НАСТЫРНЫЙ ПРЕЗДЕНТ  
СТУДСОВЕТА.

ВСЯ ЭТО ИСТОРИЯ  
С КОЛЕСОМ И ДРОТКАМИ,  
ПОЛНАЯ ЧУШЬ!  
ВЫ ПРОСТО ИЗДЕВАЕТЕСЬ.

ВСЕ УЖЕ РАСПЛАНИРОВАЛИ  
СВОИ КАНКУЛЫ!

Президент  
студенческого совета  
Рюка Минаги





НАВЕРНОЕ, ВЫ НЕ ЗАХОТИТЕ, ЧТОБЫ Я С НИМ ЗАНИМАЛАСЬ...?

ЧТО Ж... ЧТО ТЫ ДУМАЕШЬ ОБ ЭТОМ, МИНАГИ?

Преподаватель физики  
Алиса Юрага

МОЖЕТ МЫ ОБСУДИМ ЭТО ПОЗЖЕ!



ДАВАЙ, ЧУВАК, СПАСАЙ НАС!

МЫ СТАВИМ НА ТЕБЯ

НЕ РОВНИ!

ЛЯ-ЛЯ-ЛЯ



ФУУ!

ХОРОШО, Я ПРИНИМАЮ ВАШ ВЫЗОВ!!!

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

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

А ЕСЛИ НЕ СМОЖЕШЬ СДЕЛАТЬ...

ЛАДНО!

НЕ СМОГУ...?  
Я...?!

...ПРОВЕДЕШЬ СТАРШИЙ КУРС В КАЧЕСТВЕ МОЕГО...

ЛИЧНОГО СЕКРЕТАРЯ!

АА НИ ЗА ЧТО НА СВЕТЕ!

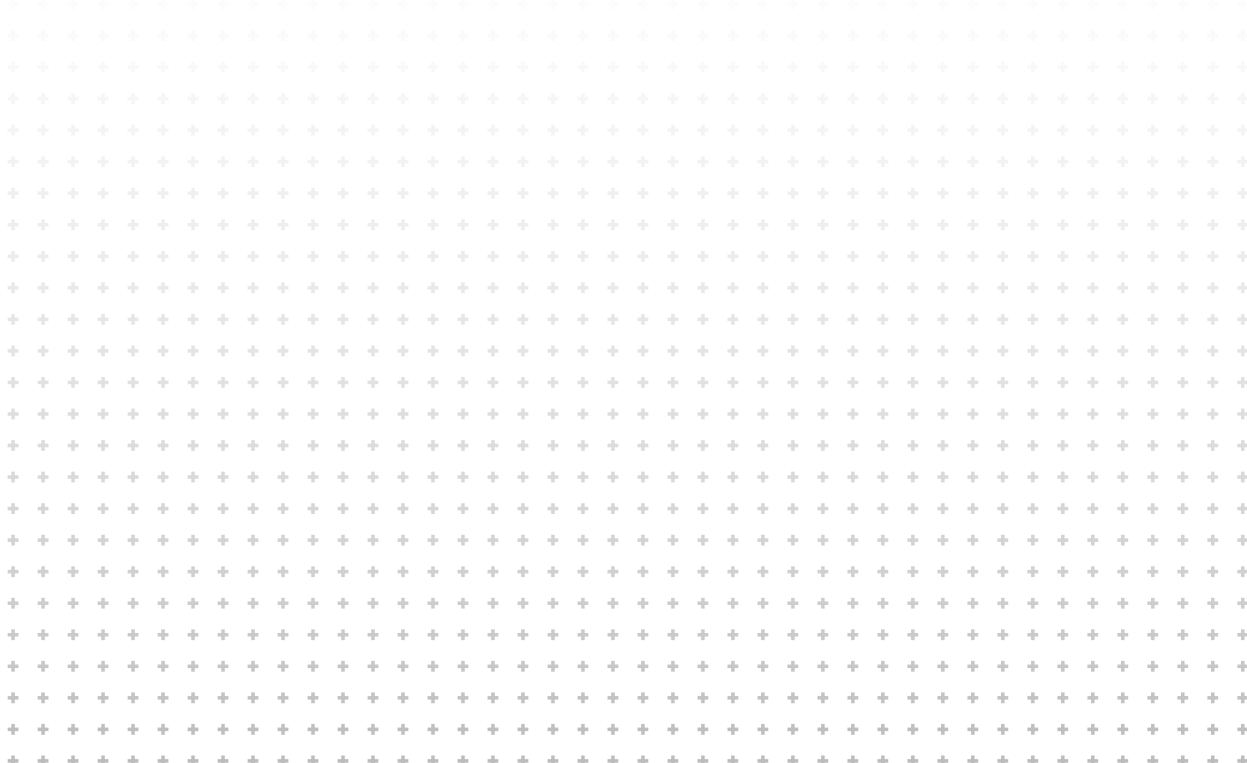
ЕЩЕ ПОСМОТРИМ!  
У МЕНЯ ВСЕ ПОЛУЧИТСЯ!

ГАВ!

ЧМОК



# ЧТО ТАКОЕ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?





КАКОЙ ЖЕ Я ХВАСТУН!  
ТЕПЕРЬ УЧИТЬ ВСЕ  
ЭТО...



ПО КРАЙНЕЙ МЕРЕ У  
МЕНЯ БУДУТ ЧАСТНЫЕ  
УРОКИ С КРОШКОЙ  
АЛИСОЙ!

Кабинет  
физики



ХМ...  
ВОТ СЮДА.



ТЫ  
ОПОЗДАЛ!!!

ШВАХ!

ОУ!



МИ-НА-ГИ

ЭТО ВОЗМУТИТЕЛЬНО!  
ТЫ ПРИШЕЛ ПОЗЖЕ  
МЕНЯ. У ТЕБЯ  
ЧТО, ПЛАВАЮЩЕЕ  
РАСПИСАНИЕ?

ХЛОП  
ХЛОП



УВАЖАЕМАЯ...  
ЮРАГА...?!

МОЖЕТ ЭТО И  
НОРМАЛЬНО, НО  
У ТЕБЯ ВМЕСТО  
ГЛАЗ ЧТО...  
ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ?

ЧТО-О-О...?



ПРИКАЛЫВАЕТСЯ,  
ЧТО ЛИ?

ВПРОЧЕМ, ЛДАНО,  
Я НЕ ХОТЕЛА БЫТЬ  
ТАКОЙ СУРОВОЙ.



НО Я СЕРЬЕЗНО...  
БОЛЬШЕ НЕ ОПАЗДЫВАЙ.





ЭТО МОЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ. ПОДУМАЛА, ЧТО МОГЛА БЫ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ЭТУ СИТУАЦИЮ, ЧТОБЫ НАБРАТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОЧКИ.

ЭТО ЧТО, Я СРЕДСТВО ДЛЯ ДОБЫЧИ ОЧКОВ?

И, ЕСЛИ БЫ Я ПОЛУЧИЛА ОЦЕНКУ КАК «ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ЮРАГА, С ГОТОВНОСТЬЮ ПОМОГАЮЩАЯ УЧЕНИКАМ», Я, В КОНЦЕ КОНЦОВ, СТАЛА БЫ СЛЕДУЮЩИМ ДИРЕКТОРОМ.

ЗВУЧИТ КАК-ТО НЕПРАВАПОДОБНО.

ЧТО Ж, ДАВАЙ НАЧНЕМ! РАЗ ТЫ ЗАИНТЕРЕСОВАЛСЯ ТЕОРИЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ...

ДАВАЙТЕ.

**ТА-ДАМ!**

# 1.1. ЧТО ТАКОЕ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?



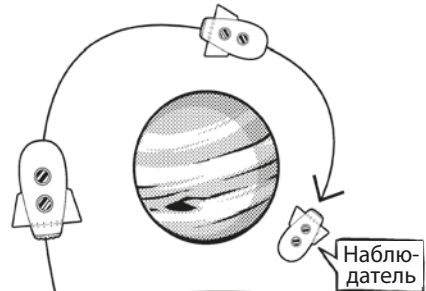
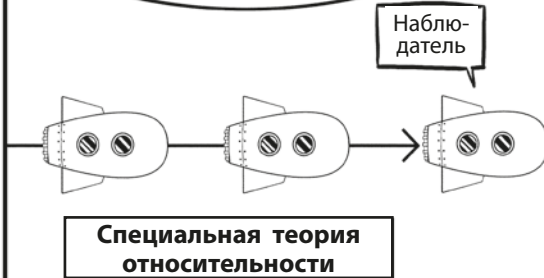
ОБЩАЯ ТЕОРИЯ - ЭТО БОЛЕЕ ОБОБЩЕННЫЙ ВАРИАНТ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ.

А РАЗВЕ СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПОЯВИЛАСЬ НЕ ПОЗЖЕ ОБЩЕЙ?



«СПЕЦИАЛЬНОЙ» ТЕОРИЯ НАЗЫВАЕТСЯ ПОТОМУ, ЧТО ЭТО УПРОЩЕНИЕ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ, И ОНА ПОДХОДИТ ДЛЯ ОСОБЫХ СЛУЧАЕВ, КОГДА ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИИ И УСКОРЕНИЯ МОЖНО НЕ УЧИТЫВАТЬ БЕЗ КАКОГО-ЛИБО РИСКА.

Общая теория относительности



ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ - ЭТО РАСШИРЕННАЯ ТЕОРИЯ, КОТОРАЯ ПРИНИМАЕТ ВО ВНИМАНИЕ ВЛИЯНИЕ КАК УСКОРЕНИЯ, ТАК И ГРАВИТАЦИИ.

А ЧТО, ЕСЛИ НЕ УЧИТЫВАТЬ ГРАВИТАЦИЮ И УСКОРЕНИЕ, ТАК ПРОЩЕ?

НУ, КОНЕЧНО ЖЕ ПРОЩЕ.



ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГОВОРИТ О ТОМ, ЧТО ТЕЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ, РАССТОЯНИЕ 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 БЕЗИНЕРЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, 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 ФУГНЯ?

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



ЧТО ТАКОЕ ГРАВИТАЦИЯ?

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ, ВОЗНИКЛИ!



ТАК..., НАПРИМЕР, СВЕТ...

ЗВЕЗДЫ ОБЛАДАЮТ ТАКОЮ ОГРОМНОЮ МАССОЮ, 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 ПРОДВИНУТАЯ И СЛОЖНАЯ... ДАВАЙ СОСРЕДОТОЧИМСЯ НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. ТЫ ДОЛЖЕН ОЦЕНИТЬ ЭТО.

АГА-А...

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

## 1.2. ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ И НЬЮТОНОВСКАЯ МЕХАНИКА

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

ВЖ-Ж  
ВЖ-Ж

ИСТОРИЧЕСКИЕ  
ПРЕДПОСЫЛКИ?

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

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

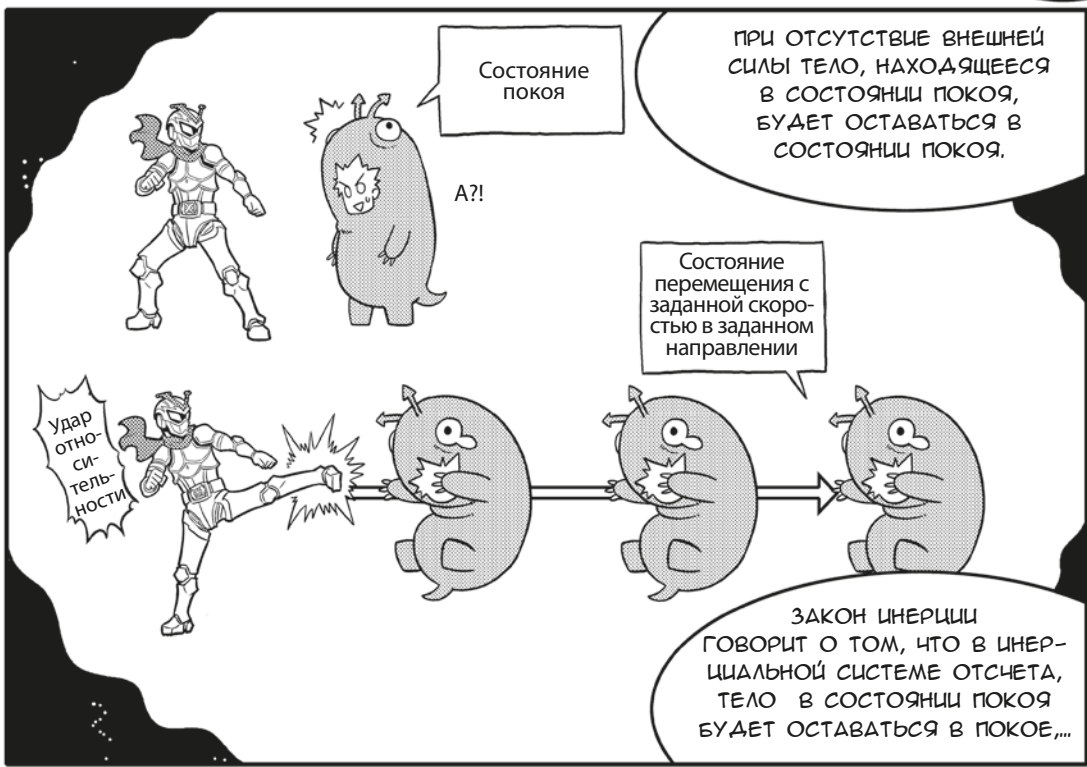
НАВЕРНО,  
НИЧЕГО  
СТРАШНОГО,  
ГЛАВНОЕ  
ПОНЯТЬ  
ОСНОВНУЮ  
МЫСЛЬ.

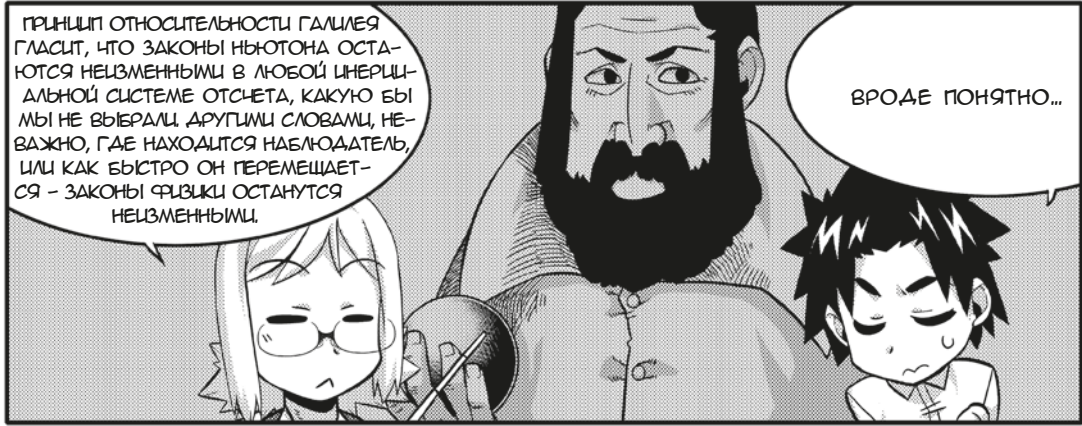
ЗА БОЛЕЕ ЧЕМ 300 ЛЕТ  
ДО РОЖДЕНИЯ АЛЬБЕРТА  
ЭЙНШТЕЙНА...

ГАЛИЛЕО  
ГАЛИЛЕЙ

...ПОЯВИЛСЯ, ТАК НАЗЫВАЕМЫЙ,  
ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ  
ГАЛИЛЕЯ, КОТОРЫЙ ОТКРЫЛ  
ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ.

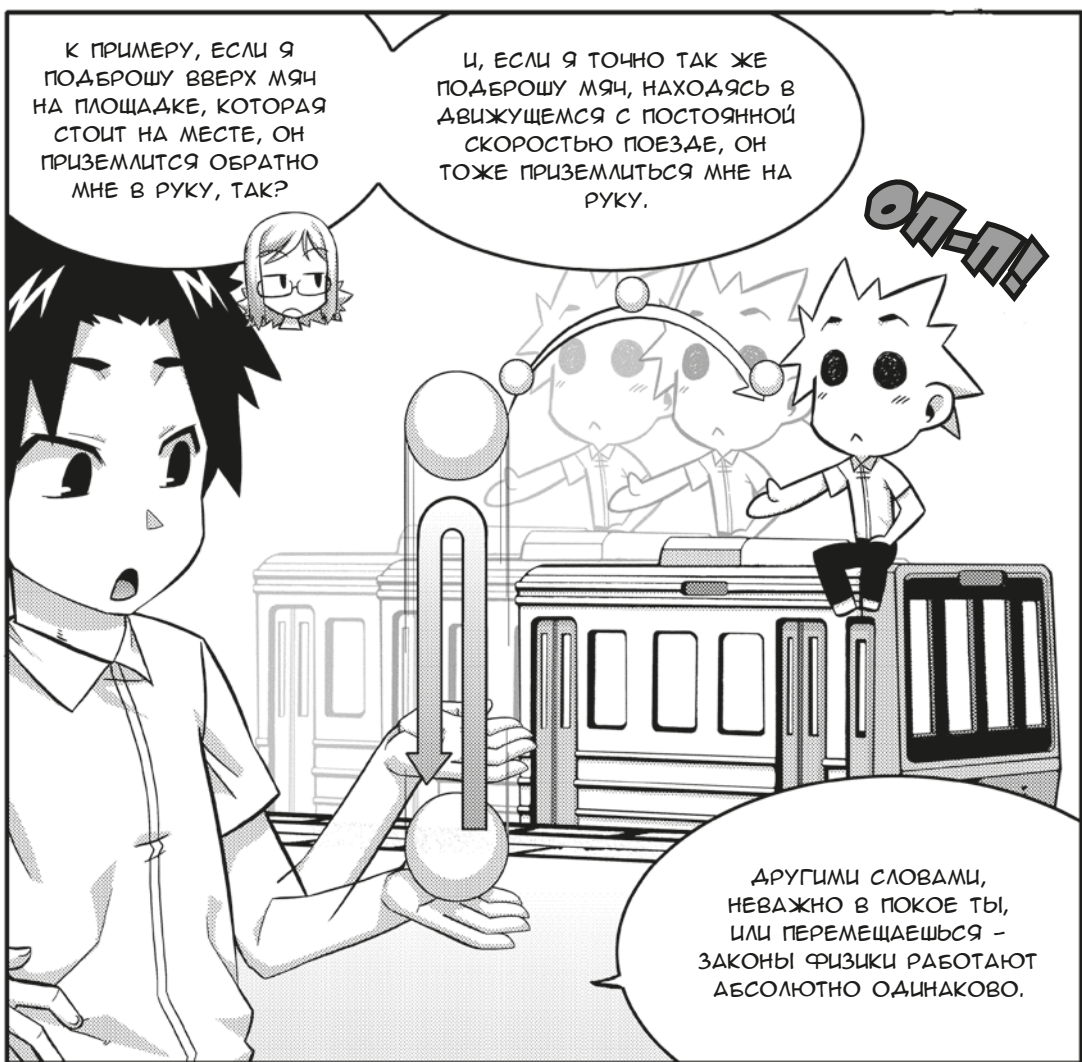
ПРИНЦИП...  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?





ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ ГЛАСИТ, ЧТО ЗАКОНЫ НЬЮТОНА ОСТАЮТСЯ НЕИЗМЕННЫМИ В ЛЮБОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА, КАКУЮ БЫ МЫ НЕ ВЪЕРАЛИ. ДРУГИМИ СЛОВАМИ, НЕ ВАЖНО, 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 ПРИЗЕМЛИТСЯ ОБРАТНО МНЕ В РУКУ, ТАК?

И, ЕСЛИ Я ТОЧНО ТАК ЖЕ ПОДБРОШУ МЯЧ, НАХОДЯСЬ В ДВИЖУЩЕМСЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ ПОЕЗДЕ, ОН ТОЖЕ ПРИЗЕМЛИТСЯ МНЕ НА РУКУ.

оп-п!

ДРУГИМИ СЛОВАМИ, НЕ ВАЖНО В ПОКОЕ ТЫ, ИЛИ ПЕРЕМЕЩАЕШЬСЯ - ЗАКОНЫ ФИЗИКИ РАБОТАЮТ АБСОЛЮТНО ОДИНАКОВО.



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



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-ДЫХ

ТЫ-ДЫХ



ТЫ ЖЕ ЧУВСТВУЕШЬ ЭТО, КОГДА ЕДЕШЬ В ПОЕЗДЕ?

ТЫ-ДЫХ



НАПРИМЕР, КОГДА ТЫ НАХОДИШЬСЯ В ПОЕЗДЕ, ДВИЖУЩЕМСЯ СО СКОРОСТЬЮ 50 КМ/Ч, А МИМО...  
...ПРОХОДИТ ПОЕЗД, СКОРОСТЬ КОТОРОГО ТАКЖЕ 50 КМ/Ч, ТО ТЕБЕ КАЖЕТСЯ, ЧТО ЧЕЛОВЕК В ТОМ ПОЕЗДЕ ДВИЖЕТСЯ СО СКОРОСТЬЮ 100 КМ/Ч.

ТЫ-ДЫХ

ПОНЯТНО. ИМЕННО ТАК И КАЖЕТСЯ.



ЭТО ВОСПРИИ-  
МАЕМОЕ ТОБОЙ  
ДВИЖЕНИЕ ЕСТЬ  
РЕЗУЛЬТАТ ОТ-  
НОШЕНИЯ МЕЖДУ  
ТОБОЙ И ДРУГОЙ  
СТОРОНОЙ..

ТАКОЙ СПОСОБ  
МЫШЛЕНИЯ  
ПРИНЯТО  
НАЗЫВАТЬ  
«ОТНОСИТЕЛЬНЫМ».

ЗЕМЛЯ И ЛЮБОЙ  
ДРУГОЙ ОБЪЕКТ ВО  
ВСЕЛЕННОЙ НАХОДЯТСЯ В  
ПОСТОЯННОМ ДВИЖЕНИИ  
ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГ  
ДРУГА.

МЫ МОЖЕМ СЧИТАТЬ  
СЕБЯ В СОСТОЯНИИ  
ПОКОЯ ТОЛЬКО В СВОЕЙ  
СОБСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ  
ОТСЧЕТА.

ТО ЕСТЬ,  
ТЫ РАССМАТРИВАЕШЬ  
СЕБЯ, КАК ТОЧКУ ОТ-  
СЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНО  
ДВИЖУЩЕГОСЯ ПРЕД-  
МЕТА, ВЕДЬ ТАК?

ХММ...  
ТЫ ПРЕДПОЛАГАЕШЬ, ЧТО  
НАХОДИШЬСЯ В ПОКОЕ И  
ВОСПРИНИМАЕШЬ ДВИЖЕНИЕ  
ОТНОСИТЕЛЬНО СЕБЯ.

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ПРИНЦИПЫ  
И ЗАКОНЫ, КОТОРЫЕ  
ПРИНЯТЫ ЗДЕСЬ, ТАКЖЕ  
ПРИМЕНИМЫ ПОВСЮДУ ВО  
ВСЕЛЕННОЙ.

**ВУ-А-ЛЯ!**

**ТЫ И ЕСТЬ  
ТОЧКА  
ОТСЧЕТА**

ДУМАТЬ  
«ОТНОСИТЕЛЬНО» -  
ЭТО ВАЖНО,  
ТАК ВЕДЬ?

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 ТРИ ОСНОВНЫХ  
ЗАКОНА МЕХАНИКИ.

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

Три закона механики Ньютона

Первый закон:	Закон инерции
Второй закон:	Связь ускорения
Третий закон:	Закон действия

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

ДА?

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 НЕЛЬЗЯ ОБЪЯСНИТЬ ТАКЖЕ, КАК И ПРАВИЛА НАШЕГО СУМАСШЕДШЕГО 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!

ЭТИ ЗАКОНЫ ДАЖЕ НЬЮТОНА НА КОЛЕНИ ПОСТАВЯТ.

ЭТО ВСЕ ШКОЛЬНЫЕ ПОРЯДКИ!

А Я РАССКАЗЫВАЮ О СКОРОСТИ СВЕТА!

ПОДУМАЕШЬ, КАКОЕ ДЕЛО!

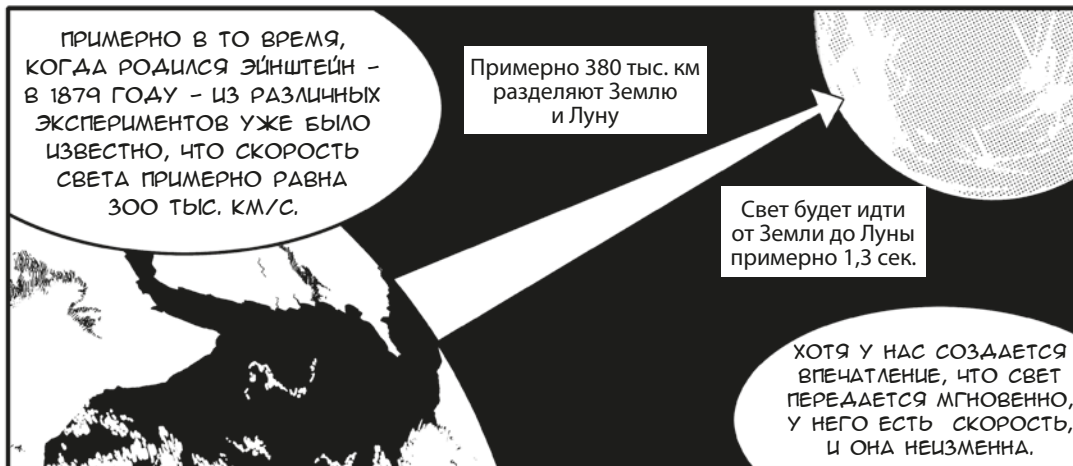
У-У-У!

НЕ ПЫТАЙСЯ СОСКОЧИТЬ С ТЕМЫ!

СВЯЗАНЫ ЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА И ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ?

ОЧЕНЬ ДАЖЕ СВЯЗАНЫ!

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

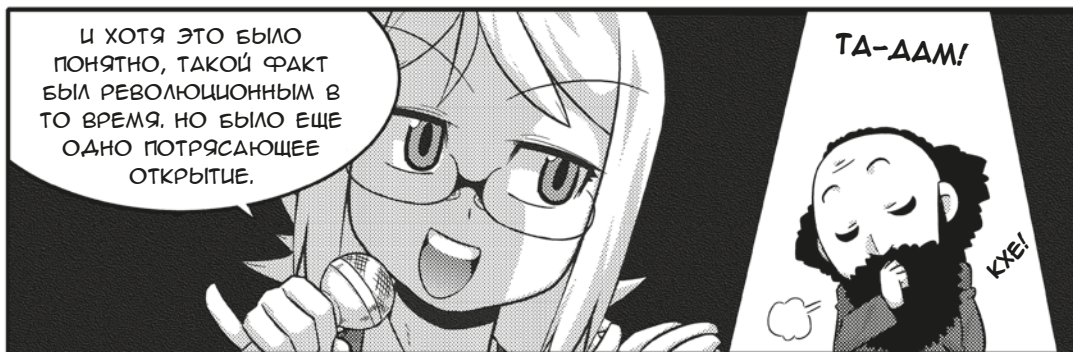


ПРИМЕРНО В ТО ВРЕМЯ, КОГДА РОДИЛСЯ ЭЙНШТЕЙН - В 1879 ГОДУ - ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ УЖЕ БЫЛО ИЗВЕСТНО, ЧТО СКОРОСТЬ СВЕТА ПРИМЕРНО РАВНА 300 ТЫС. КМ/С.

Примерно 380 тыс. км разделяют Землю и Луну

Свет будет идти от Земли до Луны примерно 1,3 сек.

ХОТЯ У НАС СОЗДАЕТСЯ ВПЕЧАТЛЕНИЕ, ЧТО СВЕТ ПЕРЕДАЕТСЯ МГНОВЕННО, У НЕГО ЕСТЬ СКОРОСТЬ, И ОНА НЕИЗМЕННА.



И ХОТЯ ЭТО БЫЛО ПОНЯТНО, ТАКОЙ ФАКТ БЫЛ РЕВОЛЮЦИОННЫМ В ТО ВРЕМЯ. НО БЫЛО ЕЩЕ ОДНО ПОТРЯСАЮЩЕЕ ОТКРЫТИЕ.

ТА-ДААМ!  
КХЕ!



В 1864 ГОДУ УЧЕНЫЙ ЧЕЛОВЕК ПО ИМЕНИ МАКСВЕЛЛ СФОРМУЛИРОВАЛ ТО, ЧТО ТЕПЕРЬ НАЗЫВАЕТСЯ УРАВНЕНИЯМИ МАКСВЕЛЛА. В НИХ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ СВЯЗАНЫ ВОЕДИНО.

ТО ЕСТЬ ОН ОБЪЕДИНИЛ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ?

ДЖЕЙМС-КЛЕРК МАКСВЕЛЛ (1831-1879)

ВСЕМ ПРИВЕТ!!

Я опишу объяснение этих уравнений, так как они сложны, но эти уравнения, идеально описывающие как электричество, так и магнетизм предсказали, что свет является электромагнитной волной, распространяющейся с постоянной скоростью.

МЕЖДУ ПРОЧИМ, ВОТ ЭТО УРАВНЕНИЕ.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

ЭТИ ФАКТЫ СТАЛИ ИЗВЕСТНЫ ИЗ ЭТОГО УРАВНЕНИЯ?

ТАК КАК УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА ПОКАЗАЛИ ТУ ЖЕ СКОРОСТЬ СВЕТА, ЧТО БЫЛА ПОЛУЧЕНА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ, ЛЮДИ ОЧЕНЬ СЕРЬЕЗНО ОТНЕСЛИСЬ К УТВЕРЖДЕНИЮ,...

...ЧТО СКОРОСТЬ СВЕТА ПОСТОЯННА. ЭТО БЫЛ ОЧЕНЬ СЕРЬЕЗНЫЙ ПОСТУЛАТ.

СПАСИБО...

...БОЛЬШОЕ.

ПОНЯТНО, НО, ЕСЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА ПОСТОЯННА, В ЧЕМ ЖЕ ТОГДА ПРОБЛЕМА?

В ЗАКОНАХ НЬЮТОНА, КОТОРЫЕ, КАК СЧИТАЛОСЬ, МОГУТ ОБЪЯСНИТЬ ВСЕ ЗАКОНЫ ФИЗИКИ, ПРЕДПОЛАГАЛОСЬ, ЧТО СКОРОСТЬ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА ИЗМЕНЯЕТСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАБЛЮДАТЕЛЯ.

ОДНАКО ВОТ ЗАДЕСЬ И ВОЗНИКАЕТ ПРОБЛЕМА. ЕСЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА ПОСТОЯННА, ТО ОТНОСИТЕЛЬНО ЧЕГО ОНА ПОСТОЯННА?

**Законы Ньютона**

Если смотреть из ракеты, летящей со скоростью 10 км/с, снаряд летит со скоростью 10 км/с.

Снаряд, выпущенный со скоростью 10 км/с

Если смотреть с точки зрения человека, находящегося в покое, то надо добавить 10 км/с ракеты, и тогда скорость снаряда 20 км/с.

Ракета, летящая со скоростью 10 км/с

**Для скорости света**

Если смотреть из ракеты, летящей со скоростью 90% от скорости света, свет движется со скоростью 300 тыс км/с!?

Свет, испускаемый ракетой

А если смотрит человек, находящийся в покое, то скорость света все равно 300 тыс км/с.

Ракета, летящая со скоростью 90% от скорости света

КОНЦЕПЦИЕЙ, ПРИЗВАННОЙ  
РАЗРЕШИТЬ ЭТУ ДИЛЕММУ, СТАЛ  
АБСОЛЮТНЫЙ НЕПОДВИЖНЫЙ  
**ЭФИР**, ЗАПОЛНЯЮЩИЙ  
ВСЕЛЕННУЮ, В КОТОРОМ  
СКОРОСТЬ СВЕТА БЫЛА  
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  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА,  
СВЕТ СЧИТАЛСЯ ВОЛНОЙ,  
ТАК ЖЕ КАК И ЗВУК.



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



Играет  
и поет

СРЕДА?



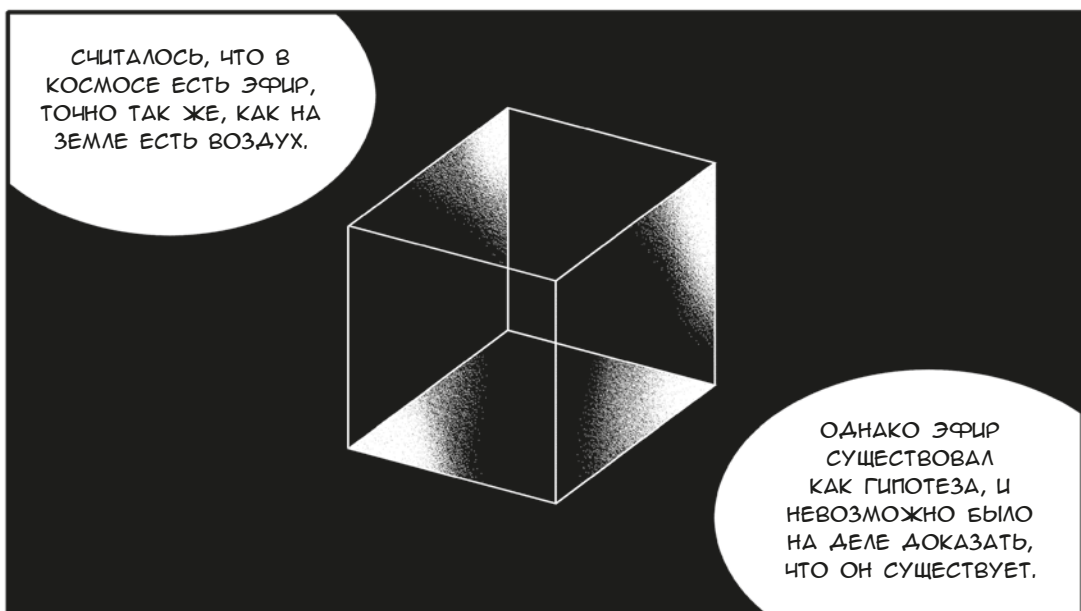
КРАСИВАЯ  
«ПЕСНЯ!»

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

Воздух - это среда для  
распространения звука.

Средой для распространения  
морских волн служит  
морская вода.







ДАЛЕЕ Я РАССКАЖУ  
ОБ АБСОЛЮТНОМ  
СТАЦИОНАРНОМ  
ПРОСТРАНСТВЕ, НО  
СНАЧАЛА ОБЪЯСНЮ,  
ЧТО ТАКОЕ СИСТЕМА  
КООРДИНАТ.



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 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.

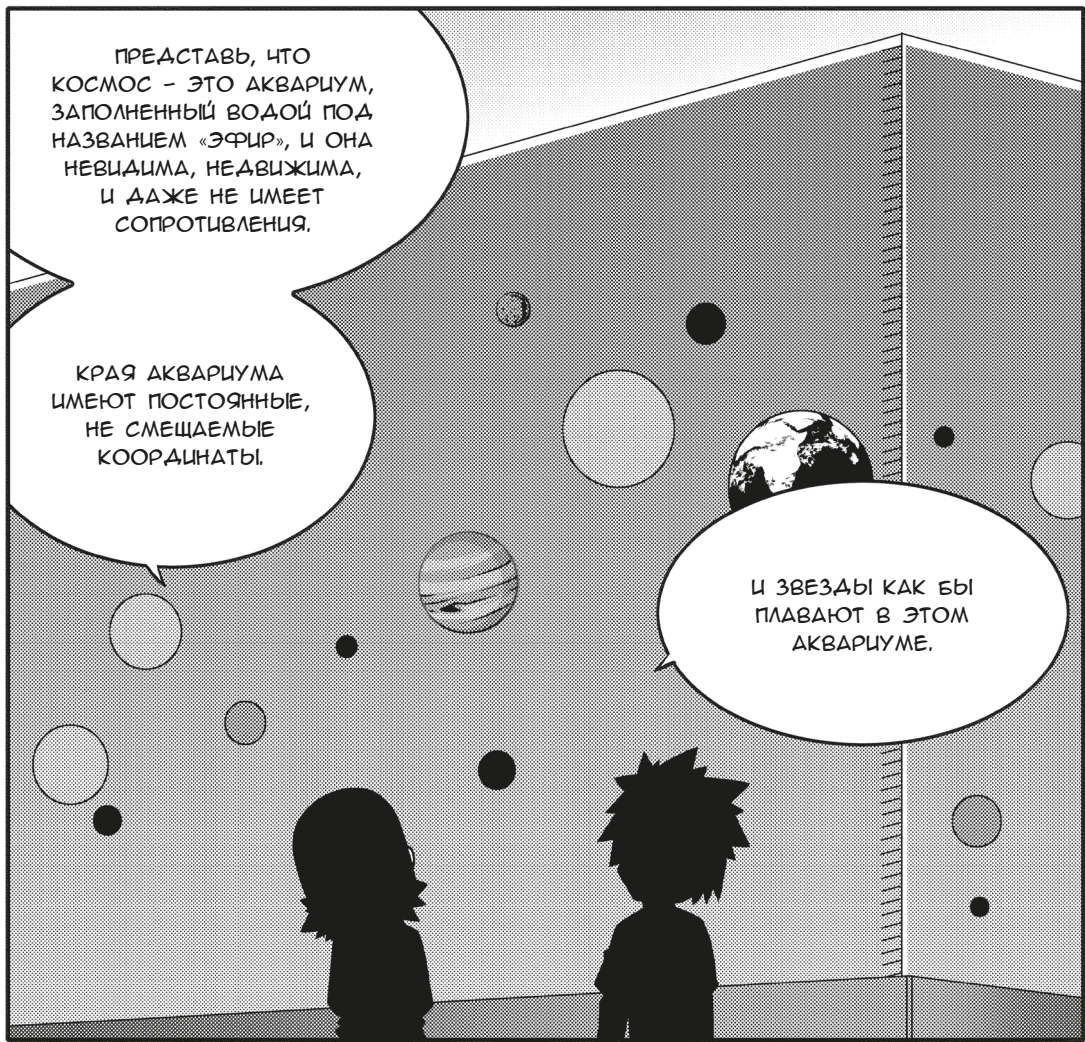
ДРУГИМИ СЛОВАМИ,  
СЧИТАЛОСЬ, ЧТО ЭФИР  
НЕПОДВИЖЕН.





ВСЕ ТАК. УЧЕННЫЕ ИСКАЛИ СИСТЕМУ КООРДИНАТ, В КОТОРОЙ ЭФИР НАХОДИТСЯ В ПОКОЕ, И ТОГДА ЭТО БЫЛА БЫ АБСОЛЮТНО СТАЦИОНАРНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ ДЛЯ ВСЕЙ ВСЕЛЕННОЙ.

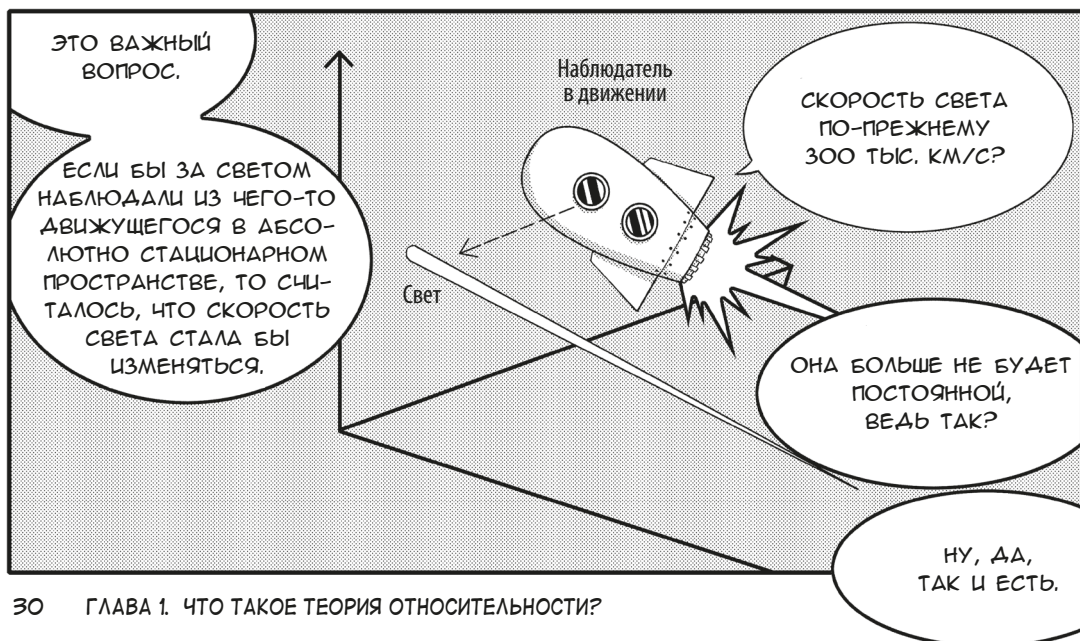
ЭФИР ДОВОЛЬНО ЗАГАДОЧНАЯ ВЕЩЬ, НЕ ТАК ЛИ?



ПРЕДСТАВЬ, ЧТО КОСМОС - ЭТО АКВАРИУМ, ЗАПОЛНЕННЫЙ ВОДОЙ ПОД НАЗВАНИЕМ «ЭФИР», И ОНА НЕВЦАДИМА, НЕДВИЖИМА, И ДАЖЕ НЕ ИМЕЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

КРАЯ АКВАРИУМА ИМЕЮТ ПОСТОЯННЫЕ, НЕ СМЕЩАЕМЫЕ КООРДИНАТЫ.

И ЗВЕЗДЫ КАК БЫ ПЛАВАЮТ В ЭТОМ АКВАРИУМЕ.





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.



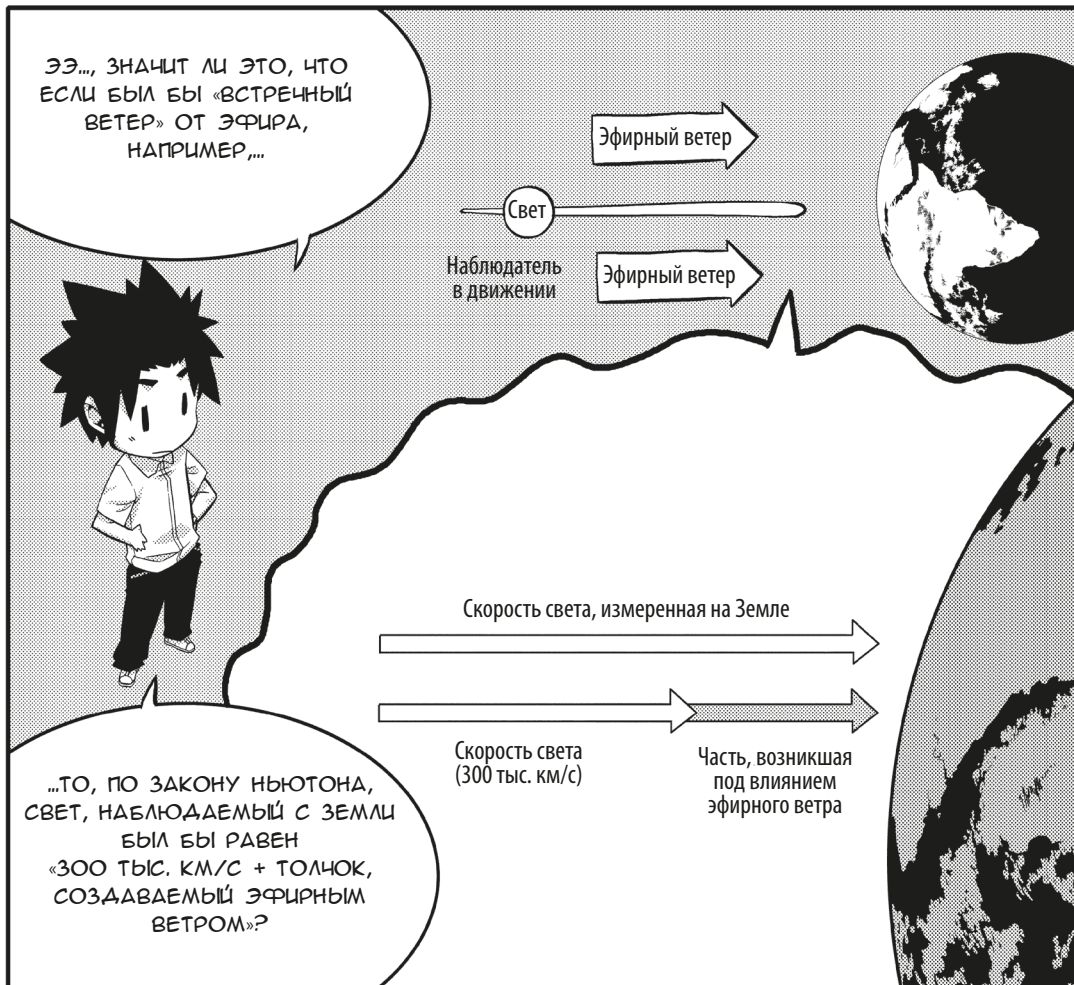
ТОЧНО ТАКЖЕ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ, ЧТО ЗЕМЛЯ, ПЕРЕМЕЩАЮЩАЯСЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭФИРА, БУДЕТ ОЩУЩАТЬ НЕКИЙ «ЭФИРНЫЙ ВЕТЕР».

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?



ЕСЛИ БЫ ЭТО МОЖНО БЫЛО ПОДТВЕРДИТЬ, ТО ОПРЕДЕЛИЛАСЬ БЫ СКОРОСТЬ ЗЕМЛИ ПО ОТНОШЕНИЮ К АБСОЛЮТНОМУ СТАЦИОНАРНОМУ ПРОСТРАНСТВУ.

ЭТО БЫЛ КРУПНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, КОТОРЫЙ СМОГ ДОКАЗАТЬ СУЩЕСТВОВАНИЕ КАК ЭФИРА, ТАК И АБСОЛЮТНОГО СТАЦИОНАРНОГО ПРОСТРАНСТВА.

И КАКОВ БЫЛ РЕЗУЛЬТАТ?

НУ В ОБЩЕМ, ОНИ НЕ СМОГЛИ ОПРЕДЕЛИТЬ «ТОЛЧОК ЭФИРНОГО ВЕТРА»!

РЕЗУЛЬТАТ ЭТОГО ЭКСПЕРИМЕНТА БЫЛ ОЧЕНЬ НЕВРАЗУМИТЕЛЬНЫЙ ПОТОМУ, ЧТО ОН ПРЕДПОЛАГАЛ, ЧТО ДАЖЕ ДВИЖЕНИЕ ЗЕМЛИ ПОСТОЯННО ИЗМЕНЯЛОСЬ.

СКОРОСТЬ СВЕТА ПО НАШИМ НАБЛЮДЕНИЯМ НА ЗЕМЛЕ ОСТАЛАСЬ ПОСТОЯННОЙ. ЭТОТ РЕЗУЛЬТАТ БЫЛ НЕСОВМЕСТИМ С САМОЙ ЦАДЕЕЙ ЭФИРА И, ПОХОЖЕ, ПРОТИВОРЕЧИЛ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ.

ДА?!

А ЧТО, БЫЛО ОЧЕВИДНО, ЧТО СКОРОСТЬ СВЕТА БЫЛА ПОСТОЯННОЙ, И НЕ МЕНЯЛАСЬ, ДАЖЕ КОГДА ЗА НЕЙ СЛЕДИЛИ С ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА?

Скорость света равна 300 тыс. км/с при наблюдении в состоянии покоя.

Скорость света равна 300 тыс. км/с, даже при наблюдении в движении.

ХММ... ПОСТОЯННАЯ СКОРОСТЬ СВЕТА - ЭТО СЕРЬЕЗНОЕ ДЕЛО, И ЭТО БЫЛО НЕВОЗМОЖНО ОБЪЯСНИТЬ ПРИНЦИПАМИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ.

## 1.4. ЭЙНШТЕЙН ОТВЕРГ НЬЮТОНОВСКУЮ МЕХАНИКУ



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 АБСОЛЮТНО  
СТАЦИОНАРНОГО ПРОСТРАНСТВА.





СКОРОСТЬ - ЭТО  
РАССТОЯНИЕ  
ДЕЛЕННОЕ НА ВРЕМЯ,  
ЗА КОТОРОЕ ОНО  
ПРОЙДЕНО, ТАК?

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ТАК КАК  
СКОРОСТЬ СВЕТА ПОСТОЯННА В  
ЛЮБОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА, РАС-  
СТОЯНИЕ И ВРЕМЯ ИЗМЕНЯЮТСЯ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДВИЖЕНИЯ  
НАБЛЮДАТЕЛЯ. ЭТО ОСНОВНОЕ  
УСЛОВИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ!

ХОТЯ ВСЕ ЧТО ВЫ МНЕ  
РАССКАЗЫВАЕТЕ, ЗВУЧИТ  
КАК-ТО СТРАННО, НО ТАК  
ВЕДЬ И ПРОИСХОДИТ НА  
САМОМ ДЕЛЕ?

«ВРЕМЯ» И  
«ПРОСТРАНСТВО»,  
КОТОРЫЕ СЧИТАЛИСЬ  
РАЗРОЗНЕННЫМИ  
ВЕЩАМИ В НЬЮТОНОВОЙ  
МЕХАНИКЕ...

...ТЕПЕРЬ СТАЛИ  
РАСМАТРИВАТЬСЯ  
СОВМЕСТНО В НОВОЙ  
УДИВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ  
КООРДИНАТ, НАЗЫВАЕМОЙ  
ПРОСТРАНСТВЕННО-  
ВРЕМЕННОЙ.

ПОСЛУШАТЬ ВАС, ВСЕ  
ТАК УДИВИТЕЛЬНО.

ТАК ЭТО И ПРАВДА  
УДИВИТЕЛЬНО!  
А ТЕПЕРЬ Я РАССКАЖУ,  
ЧТО ПОДРАЗУМЕВАЕТ  
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

ХОРОШО!  
РАССКАЖИТЕ,  
ПОЖАЛУЙСТА!

МЕНЯ ЧТО-ТО  
СТАЛИ ПЕРЕПОЛНЯТЬ  
ЭМОЦИИ!

УЕЕ!

ЧТО-ТО ОН  
СЛИШКОМ УЖ  
ВООДУШЕВЛЕН...



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

**БАМ БАМ**

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

МОЖЕТ, НАДО  
СНАЧАЛА ОБ УЧЕНИКЕ  
ПОДУМАТЬ?



ПРОСТИТЕ,  
ЗА МОЙ  
МЯЧ...



С ВАМИ ВСЕ В  
ПОРЯДКЕ?

ДА. МОЙ  
ПОРТФЕЛЬ НЕ  
ПОСТРАДАЛ.

ВСЕ  
НОРМАЛЬНО.

ПРОСТИТЕ,  
НАДЕЮСЬ  
ОБОШЛОСЬ БЕЗ  
ЖЕРТВ!

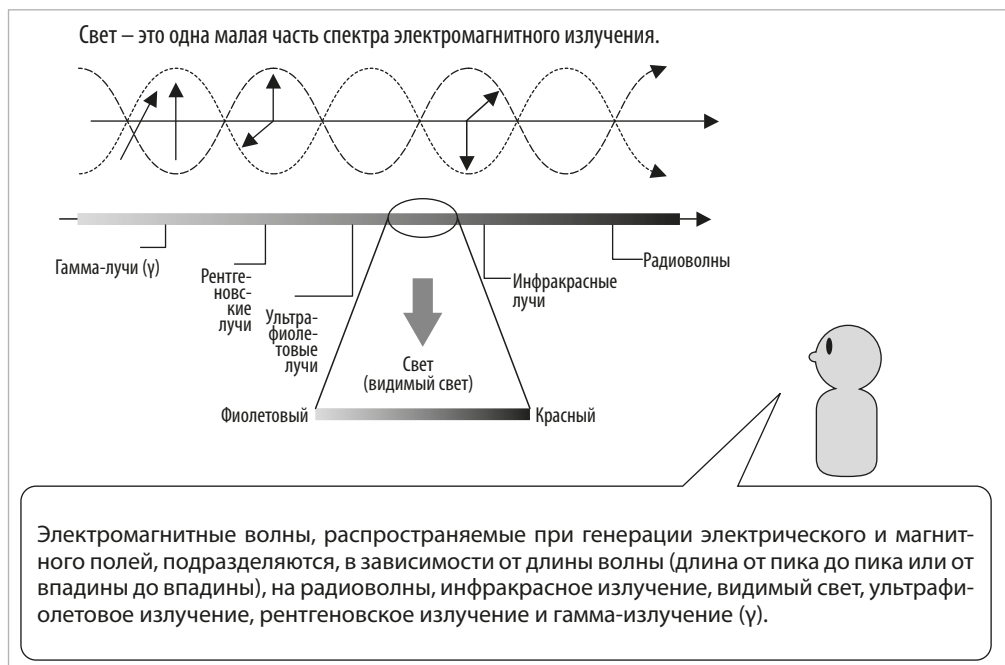




# ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

## 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 принимает разные виды, например, радиоволны, рентгеновские лучи и гамма-лучи ( $\gamma$ ) (см. **рис. 1.1**).



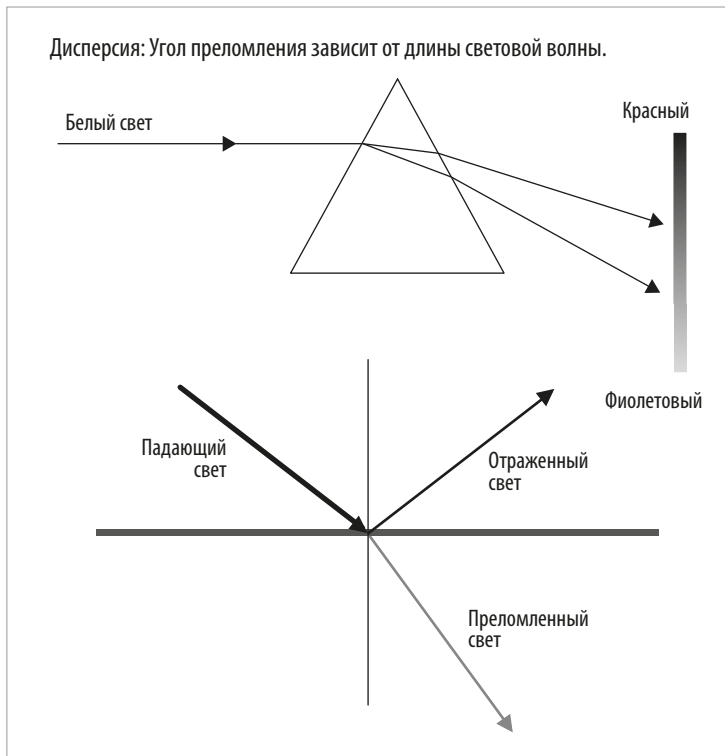
**Рис. 1.1.** Свет – это электромагнитная волна

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 – 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 с 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.

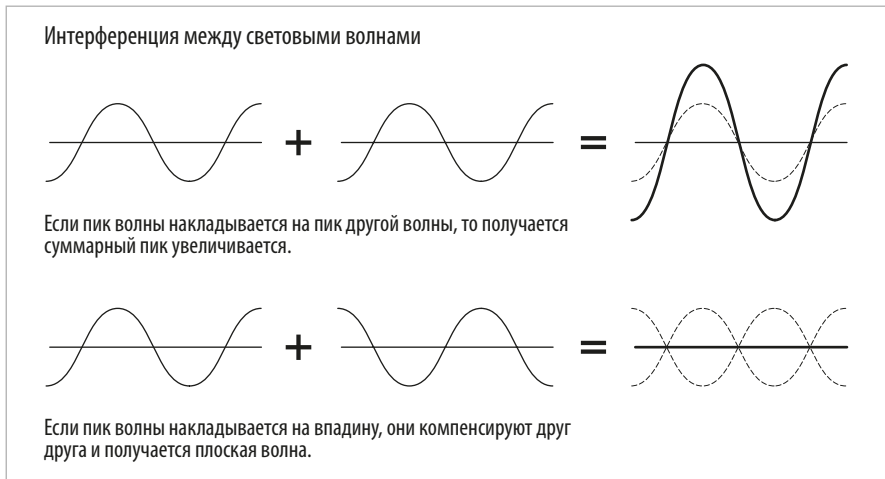
В некоторых средах свет разной длины волны преломляется с разным отклонением. Другими словами, свет разного спектра отклоняется под разными углами. Такое свойство называют *дисперсией*. В результате белый свет, состоящий из света всех цветов, раскладывается в спектр от красного до фиолетового. Благодаря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

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



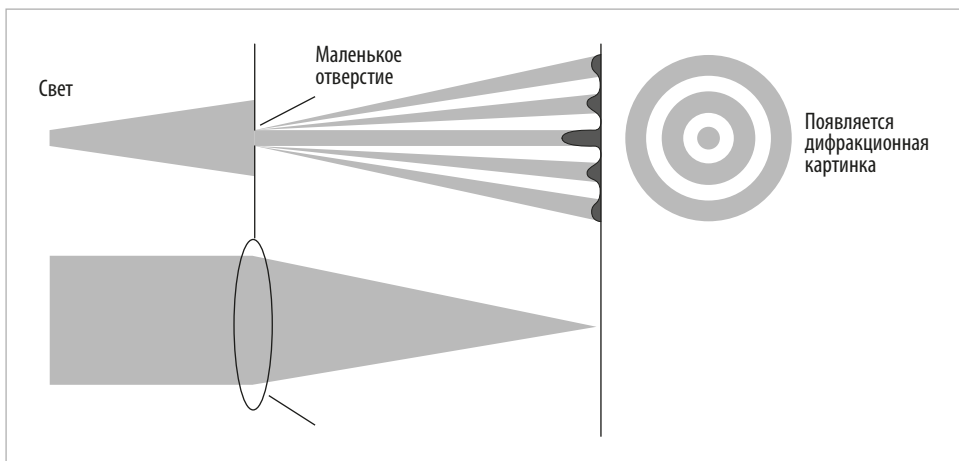
**Рис. 1.2.** Дисперсия, отражение и преломление света

Далее рассмотрим более хитрые явления, под названием *интерференция* и *дифракция*. Эти явления происходят из того факта, что свет – это волна. Интерференция описывает то, что 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.



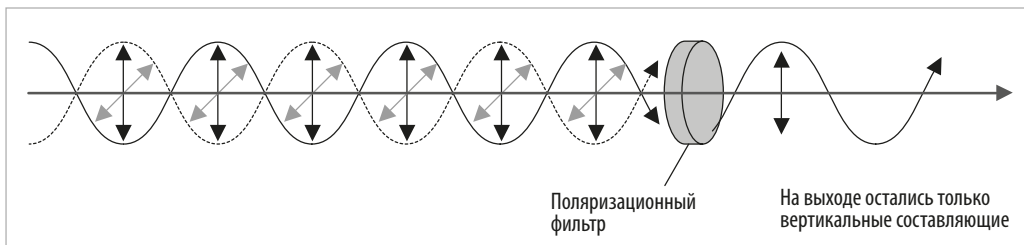
**Рис. 1.3.** Интерференция может усилить или ослабить волны

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 с ней самой, прохождение через крошечное отверстие заставляет свет расходиться или отклоняться, как это показано на **рис. 1.4.** Зачастую именно дифракция ограничивает разрешение микроскопов.



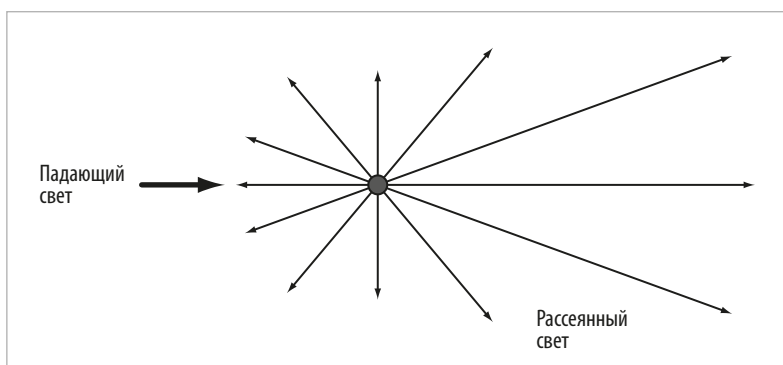
**Рис. 1.4.** Дифракция происходит вследствие интерференции

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.

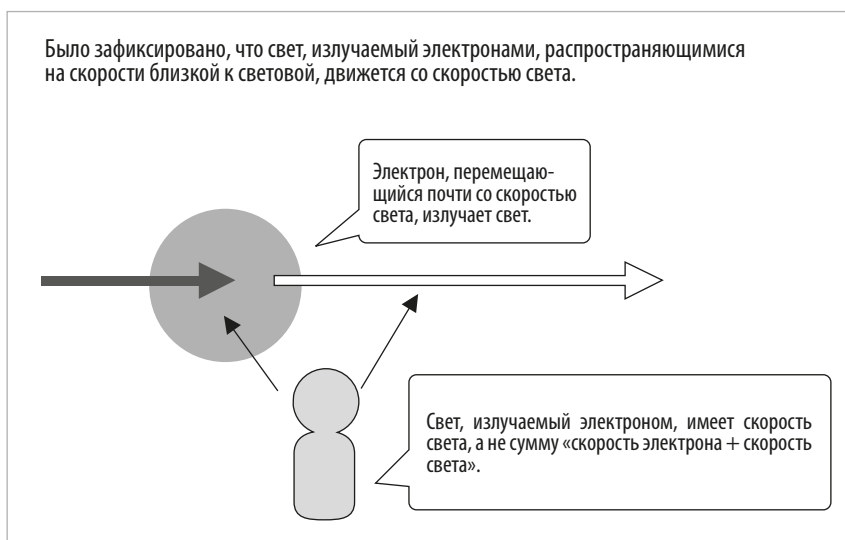


**Рис. 1.6.** Рассеяние

## СВЕТ ПОСТОЯНЕН И ТОМУ ЕСТЬ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА (SPRING-8)

Для подтверждения того факта, что скорость света постоянна, было проведено множество различных экспериментов. Этот факт важен тем, 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 (99,999998 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 рассматривать 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 скорости) со случаем, где скорость света постоянна (релятивистское сложение скорости).

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 закону 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».

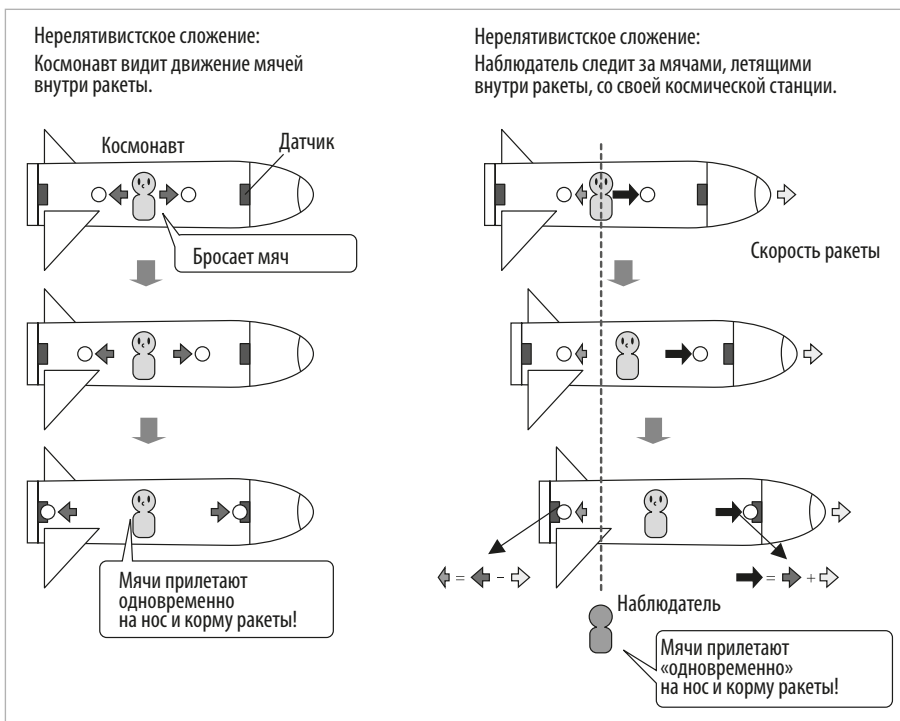
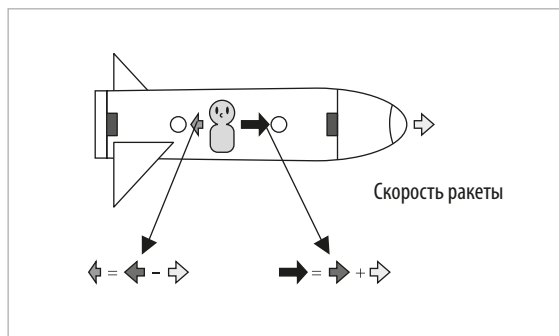


Рис. 1.8. Сложение скоростей в механике Ньютона

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 прибудут 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 разнится в зависимости от места наблюдения. Это называется *несовпадением одновременности*.

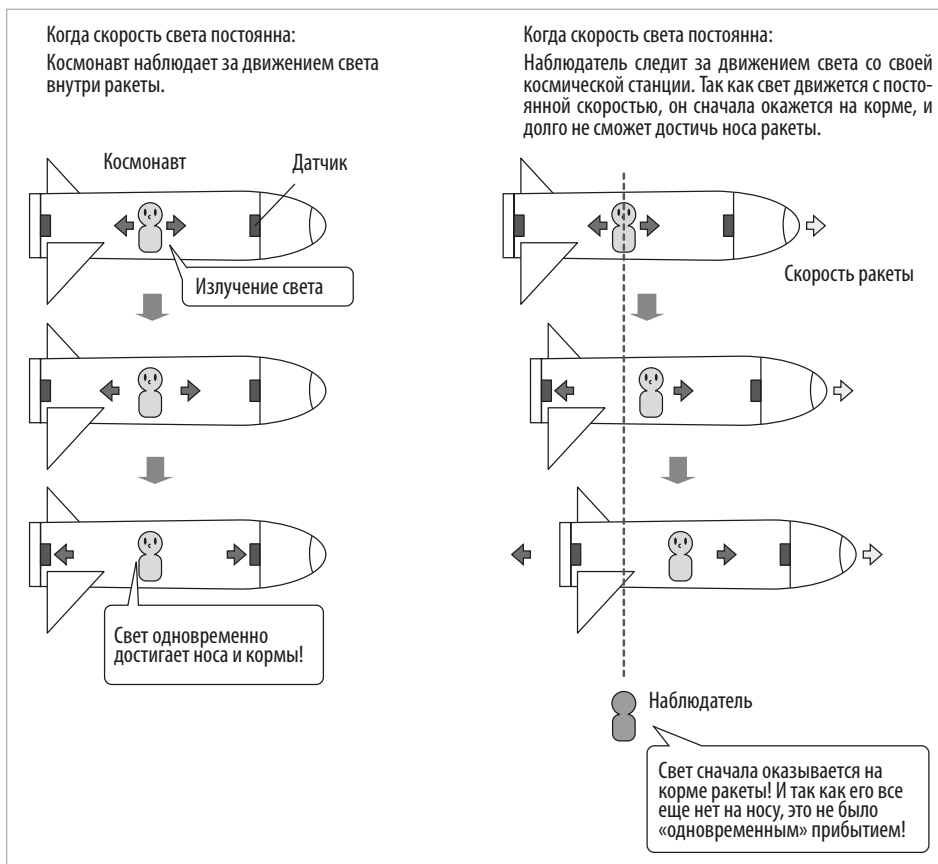
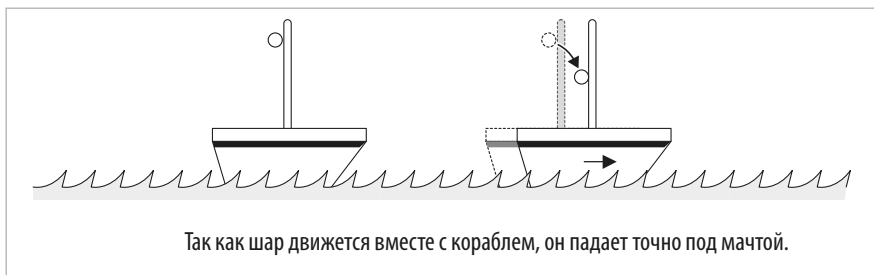


Рис. 1.10. Скорость света постоянна (релятивистское сложение скоростей)

## 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 в независимости 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 принимают 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 ранее, 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  $(\prime)$  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.

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

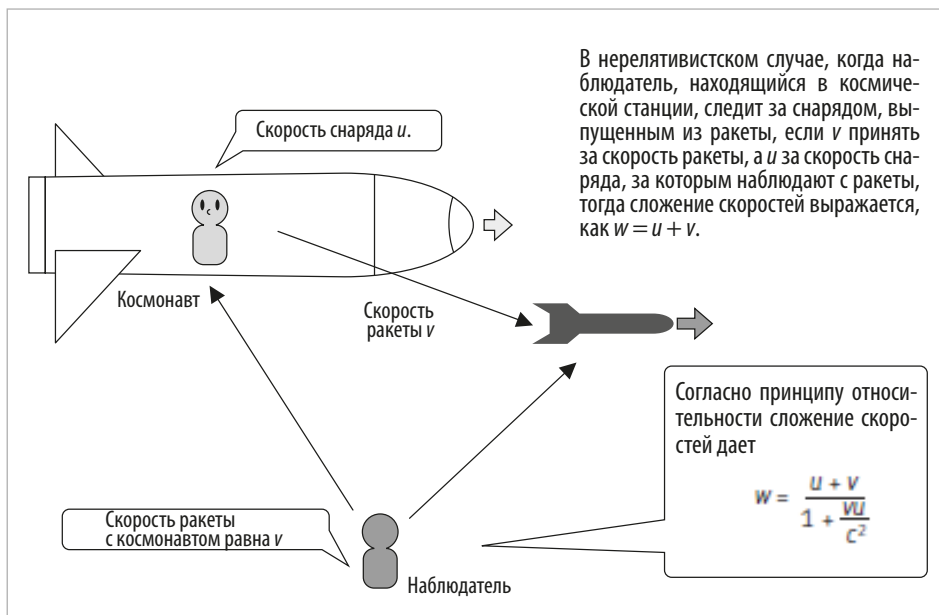
## А КАК ЖЕ ТЕПЕРЬ СКЛАДЫВАТЬ СКОРОСТИ?

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 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!