

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. К выводу формул Лоренца.

Для общности, 2-я и 3-я формулы преобразования записаны так:

$$y' = b y \text{ и } z' = b z,$$

где в силу эквивалентности направлений  $Oy$  и  $Oz$  стоит один и тот же множитель  $b$ . Разрешим эти выражения относительно не штрихованных координат:

$$y = \frac{1}{b} y' \text{ и } z = \frac{1}{b} z'.$$

Из равноправия ИСО  $L$  и  $L'$  непосредственно следует, что коэффициенты  $b$  и  $\frac{1}{b}$  должны быть равны (иначе одну ИСО можно было бы отличить от другой по изменению длины масштаба). Но это возможно (при нашем выборе направлений осей координат ИСО  $Oy'$  и  $Oz'$ ), если коэффициент  $b = 1$ . Поэтому  $y' = y$  и  $z' = z$ .

### Приложение 2. Нахождение коэффициентов $a, d, g$ .

Решим алгебраическую систему уравнений (6.4).

$$a^2 - c^2 d^2 = 1, \quad (6.4.a)$$

$$a^2 v^2 - c^2 g^2 = -c^2, \quad (6.4.б) \text{ (П.2.1)}$$

$$-a^2 v + c^2 g d = 0. \quad (6.4.в)$$

Выразим из равенства (6.4.в) коэффициент  $d$ :

$$d = \frac{a^2 v}{c^2 g} \quad (\text{П.2.2})$$

и подставим в уравнение (6.4.a):

$$a^2 - \frac{a^4 v^2 c^2}{c^4 g^2} = 1. \quad (\text{П.2.3})$$

Из равенства (6.4.б) выразим  $a^2$  :

$$a^2 = \frac{c^2 g^2 - c^2}{v^2}$$

и подставим в (П.2.3):

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

После приведения к общему знаменателю и сокращения подобных членов получаем:

$$g^2 = \frac{1}{1 - v^2 / c^2}. \quad (\text{П.2.4})$$

Полученное значение  $g^2$  подставляем в выражение для  $a^2$ , найденное из равенства (6.4б):

$$a^2 = \frac{1}{1 - v^2 / c^2}. \quad (\text{П.2.5})$$

Коэффициент  $d$  определим из (6.4а):

$$d^2 = \frac{v^2}{c^4} \cdot \frac{1}{1 - v^2 / c^2}. \quad (\text{П.2.6})$$

### Приложение 3. “Парадоксы” СТО

С момента появления СТО ее пытались опровергнуть, в частности, с помощью задач, решения которых будто бы опровергают выводы СТО. Но каждый раз оказывалось, что обнаруживаемые противоречия были кажущимися, возникавшими из-за неправильного применения положений СТО. Однако, за такими задачами закрепилось название “Парадоксы СТО”, хотя, как будет видно из разбора некоторых из этих парадоксов, ничего парадоксального с точки зрения СТО в них нет. Часть этих парадоксов была рассмотрена в основном тексте, в том числе в § 7.

## 1. “Парадокс” пенала и карандаша

Этот “парадокс” аналогичен тому, что был рассмотрен в задаче № 2 (§7). Пусть пенал и карандаш движутся навстречу друг другу, их собственные длины одинаковы. В качестве исходной ИСО выберем СО “Пенал”. В силу относительности длины в этой ИСО карандаш полностью уместится в пенале (предположим, что у пенала отсутствуют передняя и задняя стенки, и карандаш может “зайти” внутрь пенала). Можно выделить четыре момента в рассматриваемом процессе вхождения карандаша внутрь пенала:

1) прохождение переднего конца карандаша через передний срез пенала  $t_1=0$ ;

2) прохождение заднего конца карандаша через передний срез пенала  $t_2=l/v$ , где  $l=l_0(1-v^2/c^2)^{-1/2}$ ;

3) прохождение переднего конца карандаша через задний срез пенала  $t_3=l_0/v$ ;

4) прохождение заднего конца карандаша через задний срез пенала  $t_4=(l_0+l)/v$ . В ИСО “Пенал” временной порядок событий такой  $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ , что естественно и с точки зрения “здорового смысла”, опирающегося на классические представления об абсолютности длины и времени.

Так в чем же состоит парадокс? Он (парадокс) возникает, если рассмотреть процесс прохождения карандаша и пенала относительно друг друга, используя ИСО “Карандаш”. Рассмотрим временной порядок указанных выше четырех моментов в этой СО. Воспользуемся формулой Лоренца для преобразования временной координаты (6.6), нижний индекс у переменных будет соответствовать одному из четырех моментов процесса. Тогда получаются следующие выражения:

$$\begin{aligned} t'_1 &= \frac{t_1 - \frac{vx_1}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; & t'_2 &= \frac{t_2 - \frac{vx_2}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \\ t'_3 &= \frac{t_3 - \frac{vx_3}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, & t'_4 &= \frac{t_4 - \frac{vx_4}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \end{aligned} \quad (\text{П.3.1})$$

Подставим в эти формулы значения пространственных координат тех точек, где произошли события. Поскольку первое и второе события произошли на переднем срезе пенала, то для них  $x_1=x_2=0$ . Третье и четвертое события — на заднем срезе пенала, для этих событий  $x_3=x_4=l_0$ . Так как  $l' = l_0(1-v^2/c^2)^{1/2}$ , то из (П.3.1) следует, что  $t_1' < t_3' < t_2' < t_4'$ . Но это означает, что временной порядок событий изменился по сравнению с временным порядком событий в ИСО “Пенал”. С точки зрения классических представлений это было невозможно, это противоречило “здравому смыслу”, это было парадоксально, по классическим представлениям временной порядок событий абсолютен, так как абсолютно время, промежутки времени. Однако, в СТО время перешло в ранг относительных величин, временной порядок относителен, если между событиями нет причинно-следственных связей, относительна и одновременность событий. С точки зрения СТО в рассматриваемой задаче нет никакого парадокса, нужно только последовательно пользоваться рассуждениями в рамках СТО.

## 2. “Парадокс” транспортера

Транспортер представляет из себя замкнутую ленту из гибкого материала, которая движется по направляющим с помощью двух шкивов, укрепленных на концах станины. Приведем транспортер в действие, допустим, что лента движется с огромной, но не больше световой, скоростью. В СО, связанной со станиной, размеры горизонтальных частей ленты уменьшатся в  $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$  раз. Если вначале лента провисала, то она натянется. Если же связать СО с лентой, то двигаться в этой СО будет станина, в этой СО лента должна будет провисать. Мы получили в двух системах отсчета для одного и того же явления исключающие друг друга результаты, “нарушен” принцип относительности, вот и парадокс. Однако, принцип относительности справедлив лишь для равноправных, инерциальных систем отсчета. В нашем же случае рассматриваемые СО не равноправны. Дело в том, что СО “Лента” не является инерциальной СО, со всей лентой (ее горизонтальные части движутся в противоположные стороны) нельзя связать одну инерциальную систему отсчета. На шкивах лента вообще

движется с ускорением. Таким образом в результатах, полученных в СО “Станина” и “Лента”, нет противоречия принципу относительности СТО, справедливому лишь для ИНЕРЦИАЛЬНЫХ систем отсчета.

### **3. “Парадокс” сверхсветовых скоростей**

Из второго постулата СТО следует, что скоростей, больших скорости света в вакууме, не существует. Для опровержения этого утверждения СТО придумывали мыслимые или реально осуществимые опыты, в которых шла речь о сверхсветовых скоростях. Так возникали “парадоксы” сверхсветовых скоростей. На самом же деле никаких парадоксов не возникало бы, если бы “опровергатели” СТО понимали бы, что в СТО речь идет не вообще о скоростях, а о скоростях сигналов, процессов, с помощью которых можно передавать информацию. Это должны быть обязательно материальные процессы. И для скорости их перемещения СТО ставит предел: скорости перемещения материальных процессов не могут превышать скорость электромагнитных волн в вакууме. Известно, что в вещественных средах скорость электромагнитных волн может быть значительно меньше скорости их в вакууме. Поэтому не будет никакого противоречия СТО, если в такой среде какая-нибудь элементарная частица (вещественный объект!) будет двигаться со скоростью, превышающей скорость света в этой среде.

В качестве примера существования “сверхсветовой” скорости рассмотрим скорость перемещения светового “зайчика”, испущенного фонариком в сторону вертикальной стены, если сам фонарик будет равномерно вращаться вокруг оси, параллельной стене. С увеличением угла между перпендикуляром к стене и осью фонарика скорость перемещения светового “зайчика” неограниченно растет и приближается к бесконечности при стремлении угла к  $90^\circ$  (читателю предоставляется возможность решить эту по сути дела геометрическую задачу). Если учесть, что каждый след светового луча (световой “зайчик”) есть след независимой порции световой энергии, то становится понятным, что в этом опыте речь идет о перемещении не одного тела, а появлении на стене последовательно множества независимых

пятен — “зайчиков”. Поэтому положение СТО о предельности скорости света для передачи информации не нарушается. В качестве других примеров “сверхсветовых” скоростей можно назвать так называемую “фазовую” скорость электромагнитной волны (фазовая скорость — это скорость перемещения фазы волны — чисто математического понятия, характеризующего эту волну), скорость сближения двух тел в СО, не связанной с этими телами, или скорость перемещения пересечения двух стержней, переносимых равномерно параллельно своему первоначальному положению.

Из предыдущего следует, что все “парадоксы” возникают из неправильного толкования положений СТО. Положительным в процессе опровержения “парадоксов” является то, что решение таких задач позволяет глубже, правильнее понять содержание СТО.

#### ***4. Видимая форма тел, движущихся с релятивистской скоростью***

Эта задача в определенной степени связана с предыдущей, так как для ее разбора необходимо учесть конечность скорости сигнала, несущего информацию. Обычно мы видим тело благодаря отраженным им световым лучам. Но для “убедительности” будем рассматривать куб, в вершинах которого располагаются горящие электрические лампочки. Пусть куб движется слева направо со скоростью, близкой к  $c$ . Чтобы увидеть такой куб, необходимо зафиксировать лучи, приходящие одновременно в сетчатку глаза, или на фотопластинку (пленку), или в приемник какого-либо регистрирующего устройства, воспринимающего электромагнитные волны. Однако, эти волны, принятые приемником одновременно, в силу конечности скорости распространения световых волн, должны были быть испущены светящимся телом в разные моменты времени. Более удаленные точки тела должны были “послать” свет раньше, чем ближе расположенные. Но более удаленные точки в более ранний момент времени находились еще левее той линии, вдоль которой “смотрит” ось фотоаппарата (глаза или другого регистрирующего устройства). Т.о., на пленке будет зафиксирована левая боковая грань куба, как если он повернулся

в момент фотографирования. Этот “парадокс” связан с конечностью скорости света. Кстати, релятивистски движущийся шар будет “виден” в виде шара, а не эллипсоида вращения, как это считалось долгое время. Все количественные расчеты читатель сможет найти в книге, указанной под номером три в списке методической литературы.

#### Приложение 4. Существует ли “релятивистская масса”?

В учебной и научно-популярной литературе очень часто встречается понятие “релятивистская масса”, под которой

понимают выражение  $\frac{m}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$ , ей придают физический смысл, толкуя как указание на то, что масса вещественного тела (или частицы) изменяется в зависимости от скорости его (ее) движения. На самом деле эта величина не является физической величиной, и ее не следует вообще упоминать при изучении и использовании СТО. Как было показано в пособии, масса в СТО является инвариантной величиной и поэтому не может ни от чего зависеть.

Покажем сначала элементарными рассуждениями внутреннюю противоречивость понятия “релятивистская масса”. Рассмотрим два мысленных опыта с одним и тем же телом, имеющим массу  $m$ . Пусть это тело движется со скоростью  $u$  относительно ИСО “ $L$ ”. В этой ИСО, согласно определению релятивистской массы, тело обладает массой

$$m_{\text{рел}} = \frac{m}{\sqrt{1-u^2/c^2}}. \quad (\text{П.4.1})$$

При этом никакого физического объяснения изменению массы тела не дается. Утверждается, что возрастание массы (т.е. инертных и гравитационных свойств) тела есть следствие того, что масса в СТО перестает быть абсолютной величиной и, подобно длине или длительности, принимает разные числовые значения в зависимости от скорости движения тела.

Относительность массы рассматривается в этом опыте как чисто кинематический эффект, определяющийся выбором ИСО.

Однако, рассмотрим теперь другую ситуацию. Пусть то же тело в той же ИСО “ $L$ ” разгоняется из состояния покоя до скорости  $u$ . Для этого, очевидно, необходимо совершить работу, затратить энергию. Возрастание массы тела в данном случае есть чисто динамический эффект.

Резонно поставить вопрос: так что же на самом деле происходит с телом при возрастании его массы по формуле (П.4.1)?

Чтобы ответить на поставленный вопрос, выясним, как было введено в СТО понятие “релятивистская масса”. Понимание результатов СТО невозможно без учета того нового, что дало установление в СТО неразрывной связи пространства и времени, без учета 4-х-мерности мира. Вспомним, как определяются компоненты 4-вектора скорости в СТО (см. §9):

$$V_i = \frac{dx_i}{dt}, \quad (\text{П.4.2})$$

где  $i=1, 2, 3, 4$ , а  $dt$  — интервал собственного времени.

Воспользуемся связью интервалов собственного и лабораторного времени (см. формулу (6.9)):

$$dt = \frac{dt}{\sqrt{1-u^2/c^2}}, \quad (\text{П.4.3})$$

где  $u$  — модуль скорости относительного движения двух ИСО, лабораторной “ $L$ ” и ИСО “ $L'$ ”, связанной с движущимся телом. Подстановка формулы (П. 6.3) в (П. 6. 2) позволяет получить для компонент 4-вектора скорости следующее выражение:

$$V_i = \frac{u_i}{\sqrt{1-u^2/c^2}}. \quad (\text{П.6.4})$$

Обратим внимание на то, что в формуле (П.4.4) появился множитель  $g = \frac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$  — релятивистский коэффициент,

наличие которого указывает на релятивистское содержание данного выражения.

Умножая все компоненты 4-х-вектора скорости на один и тот же множитель — инвариантную массу тела  $m$ , получим компоненты релятивистского 4-х-мерного вектора импульса:

$$P_i = mV_i = \frac{mu_i}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}. \quad (\text{П.4.5})$$

Именно с помощью этого выражения (П.4.5) когда-то и была введена “релятивистская масса”. Сделано это было лишь из желания придать выражению (П.4.5) классический вид  $P_i = m_{\text{рел}}V_i$ . Так появилась понятие  $m_{\text{рел}}$ , содержание которой необъяснимо с физической точки зрения. Из предыдущего ясно, что коэффициент  $g$  НИКАКОГО отношения не имеет к массе и присоединен к ней искусственно. Таким образом, мы установили, что НИКАКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ, называемой “релятивистской массой”, в СТО НЕ СУЩЕСТВУЕТ, масса не зависит от скорости движения тела или вещественной частицы. В СТО используется лишь одна масса тела (поэтому индекс “О” у массы писать не имеет смысла), она инвариантна и, к тому же, имеет тот же физический смысл, что и масса в классической физике. И в СТО масса выступает как мера инертных и гравитационных свойств вещественных тел (частиц). Вместе с тем, на основании формулы Эйнштейна (10.6)  $E_0 = mc^2$  в СТО устанавливается, что масса является мерой энергии, содержащейся в теле, когда тело находится в покое в данной ИСО. Это принципиально новый результат СТО, которого не знала классическая физика: покоящееся тело только из факта своего существования обладает энергией — энергией покоя  $E_0$ . Эксперимент (ядерная энергетика, физика элементарных частиц) подтверждает правильность формулы Эйнштейна (10.6).

### Приложение 5. Как возник миф о “релятивистской массе”

Несмотря на то, что с момента выхода в свет первой работы А. Эйнштейна по специальной теории относительности (СТО) прошло 100 лет, продолжается и физическое, и философское, и

методическое осмысление этой теории, которая является основой современного мировоззрения. Учителю физики приходится не только сообщать учащимся основы СТО, но и устранять ряд мифов, возникших вокруг этой теории. Наиболее распространенным и устойчивым мифом является миф о существовании так называемой “релятивистской массы”(РМ).

В данном сообщении на основе анализа исторических фактов показывается, что понятие РМ появилось в физике за несколько лет до создания СТО и не имеет к ней никакого отношения. Сам создатель СТО А. Эйнштейн не употреблял этого названия, и можно только сожалеть, что великий ученый, уделявший много внимания и физическим, и философским проблемам СТО, методике ее изложения, ни разу не коснулся “проблемы” РМ. Только однажды на соответствующий вопрос он посоветовал не пользоваться понятием РМ в силу ее неопределенности.

Идея о зависимости массы электрона от скорости его движения была выдвинута Кауфманом в 1896-98гг. Им были поставлены опыты по отклонению катодных лучей в магнитном поле. Естественно, в своих расчетах он пользовался классическими выражениями для импульса и кинетической энергии электрона (до создания СТО пройдет еще 7-9 лет). Расчеты Кауфмана приводили к формуле, из которой следовало, что удельный заряд электрона  $e/m$  зависит от его скорости. А так как еще Фарадеем был сформулирован закон сохранения электрического заряда, то Кауфман предположил, что от скорости зависит масса электрона. В то же время (1899г.) Г. Лоренц – знаменитый голландский физик, создатель электронной теории вещества, используя второй закон Ньютона, вводит для электрона “продольную” и “поперечную” массы. “Продольной” массой обладает электрон, у которого ускорение совпадает с направлением движения (скорости), а “поперечная” масса характеризует движение электрона, у которого ускорение перпендикулярно направлению движения (скорости). Обе массы частицы оказались зависящими от скорости ее движения, но по-разному:

$$m_{\text{прод}} = \frac{m}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}}, \quad m_{\text{попер}} = \frac{m}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}.$$

Но результаты опытов Кауфмана не согласовались с этими формулами Лоренца.

В 1900 году А. Пуанкаре (французский математик и физик), используя ньютоновскую формулу для количества движения, ввел в употребление “инертную” массу, характеризующую инертные свойства электромагнитной волны. Пуанкаре исходил из того, что электромагнитная волна, несущая энергию  $E$ , обладает импульсом  $p$ , абсолютная величина которого, в соответствии с теоремой Умова – Пойнтинга, равна  $E/c$ . Подставляя это значение импульса в формулу для количества движения, Пуанкаре ввел массу для электромагнитного поля, равную  $E/c^2$ . Поскольку электромагнитная волна не может находиться в покое, то найденная масса является динамической массой движущейся волны.

Так в физике появилось три вида масс: “продольная”, “поперечная” и “релятивистская”(электромагнитная). После ввода формулы для релятивистской массы А.Пуанкаре, в физической литературе релятивистскую массу стали называть просто массой. Но тогда должна была возникнуть еще одна масса – “масса покоя”. Именно эта масса совпадала с ньютоновской массой, для ее обозначения ввели дополнительный индекс у массы “0”:  $m_0$ .

Итак, еще до создания СТО А. Эйнштейном в 1905 году в физике утвердились следующие массы: “продольная”, “поперечная”, “релятивистская” – все эти массы зависели от скорости движения частицы (тела) и еще одна масса- “масса покоя”.

В 1905 году А. Эйнштейн публикует работу “К электродинамике движущихся тел”, в которой он отказывается от эфира как носителя электромагнитных колебаний, и тем самым утверждает материальность самого электромагнитного поля. С

1905 года в науке стали рассматривать два вида материи: вещество и электромагнитное поле. Если раньше масса выступала как мера количества материи (вещество отождествлялось с материей), то с 1905 г. (ввиду введения еще одного вида материи) масса выступает как мера вещества, его инертных свойств. Но в том же году А.Эйнштейн, развивая содержание СТО, публикует короткую заметку, в которой приходит к выводу, что масса тела является мерой содержащейся в нем энергии:  $E_0 = mc^2$ , где  $E_0$  – энергия покоящегося тела (частицы). И если тело отдает энергию  $\Delta E$ , то масса тела уменьшается на величину:  $\Delta m = \Delta E / c^2$ . (Примечание. Не следует эту величину отождествлять с так называемым дефектом массы, возникающим при образовании устойчивой системы взаимодействующих элементарных частиц, например - образование ядра из нейтронов и протонов. В 1905-1906 гг. строение ядра еще не было известно!). Таким образом в СТО утверждается новое содержание понятия “масса”: она является мерой энергии тела в состоянии покоя.

В 1909 году Г. Минковский (немецкий математик) придает формулам СТО симметричный вид, используя единое четырехмерное многообразие “пространство – время”. Новое математическое изложение СТО позволяет ярче увидеть то, что ввела эта теория в физику и философию.

Выше отмечалось, что теоретическое описание опытов Кауфмана было сделано на основе классических представлений, СТО еще не была создана. При составлении уравнений движения быстрых частиц непреднамеренно была установлена зависимость массы от скорости движения частиц (электронов). Самым неудачным в этом было то, что эту зависимость пытались объяснить физически. Лишь после создания СТО стало ясно, что для описания движения быстрых частиц необходимо использовать не классические формулы кинематики и динамики, а новую механику, механику СТО. Рассматривая четырехмерные величины механики СТО (скорость, импульс, силу), Г.Минковский показал: релятивистский корень  $(1-u^2/c^2)^{1/2}$  появляется еще в кинематике СТО и никакого отношения к массе

не имеет. Так “элементарно” СТО освободилась от нефизической величины – релятивистской массы.

Однако сами физики не могли так “просто” освободиться от очередного заблуждения. Продолжим исследование истории распространения этого заблуждения. В 1909 году в работах физиков Льюиса и Толмена используется понятие РМ при описании движения быстрых электронов, при рассмотрении процесса их столкновений. В 1921 году выходит книга В. Паули “Теория относительности”, в которой отбрасываются такие понятия как “продольная” и “поперечная” массы, но за РМ сохраняется представление как о реальной физической величине. Здесь же В. Паули делает еще одну физико-философскую ошибку: закон пропорциональности массы и энергии В. Паули трактует как закон эквивалентности массы и энергии. В действительности масса и энергия – это две самостоятельные физические величины, между которыми в СТО устанавливается фундаментальная связь, связь между энергией покоя и массой вещественного тела. Но не всякой энергии сопоставляется масса. Например, у фотона нет массы, фотон – без массовая частица, а энергией он обладает. В СТО нет закона сохранения массы как в классической механике. Все это говорит о том, что масса, как физическая величина, не эквивалентна энергии, хотя в отдельных случаях может быть ей пропорциональна.

Вслед за монографией В. Паули вышел труд А. Эйнштейна “Сущность теории относительности”. В этой работе А. Эйнштейн использует лишь одну массу, ту, которая пропорциональна энергии покоя  $E_0$ . Возможно, если бы А. Эйнштейн более последовательно и подробно прокомментировал свое уравнение  $E_0=mc^2$  и показал бы разницу между этой формулой и формулой  $E=mc^2$ , то последняя формула исчезла бы из литературы уже в 20-х гг. XX века. Но, к сожалению, он этого не сделал, и РМ до сих пор “гуляет” по популярным книгам, справочным пособиям для поступающих в вузы, отдельным задачникам. Интересно отметить, знаменитый физик Р. Фейнман в своих лекциях посвящает выводу формулы для РМ несколько страниц, а затем неожиданно делает странное замечание: “но эта формула на

практике не используется”. Так зачем же было “огород городить”?..

Еще в 1941 году вышел 4-й том курса теоретической физики “Теория поля” Л.Ландау и Е.Лифшица, в котором изложение СТО строилось на базе лишь одной массы. Однако авторы школьных учебников, включив согласно новой программе по физике отдельную главу по СТО, нарушили установившуюся традицию и методику и включили в изложение СТО РМ. Не отставали от них и авторы вузовских учебников по общей физике. Не будем перечислять имена уважаемых авторов, они известны всем. И только в 1977 году вышел вузовский учебник по СТО В.А. Угарова, в котором впервые в нашей учебной литературе не только не использовалось понятие РМ, но и был включен специальный параграф, в котором логически было показано отсутствие всякого физического содержания в РМ. Но школьные и вузовские программы по физике, обширная научно-популярная и всякая другая литература, касавшаяся СТО, продолжали с воодушевлением обсуждать зависимость массы движущегося тела от скорости его движения. Потребовалось вмешательство крупного советского физика-теоретика Л.Б. Окуня, опубликовавшего большую статью в журнале международного класса “Успехи физических наук” под названием “Понятие масса”(1989г.). Затем журнал “Физика в школе” поместил статью автора данного пособия под названием “Существует ли релятивистская масса?”(1994г.). Ранее вышло его учебное пособие (Г.А.Розман Специальная теория относительности (1992, 1995гг)). Эти и другие публикации о РМ заставили составителей школьных и вузовских программ и учебных пособий наконец-то исключить понятие РМ. Появились новые школьные учебники (“Физика-11” под ред. А.А.Пинского, “Физика-11” под ред. Н.М Шахмаева. “Физика-10” С.В Громова.), излагающих основы СТО на современном научном и методическом уровне.

Будем надеяться, что новое поколение учителей не будет употреблять понятие РМ и физика забудет еще один миф, связанный с толкованием СТО

## **Приложение 6. Организация и методика проведения занятий по факультативу “Основы специальной теории относительности”**

Специальная теория относительности(СТО), являясь современным учением о свойствах пространства, времени и движения, лежит в основе формирования современного научного мировоззрения. Необходимость ее изучения определена государственным стандартом. Однако, является парадоксом, что на изучение этого важного, и не побоимся сказать, трудного раздела школьного курса физики максимально отводится 5 уроков. Что может сделать учитель за этот отрезок времени? - Фактически, ничего. Не поэтому ли многие учителя вынуждены заменять изучение СТО лишь знакомством с ней ?

Вот уже более 3-х десятков лет автор читает по школам обзорные лекции по СТО, многие годы проводил общегородской факультатив, а теперь привлекает к этой важной работе студентов-физиков. Уже несколько тысяч школьников г. Пскова и области изучали основы СТО на факультативных занятиях, проводимых студентами-дипломниками.

Ниже приводится программа факультатива по СТО и тезисы отдельных занятий. Курс рассчитан на десять парных учебных занятий. Методика проведения занятий отличается от методики проведения обычных уроков, в основном, большим по объему теоретическим материалом, необходимостью записи учащимися под диктовку сообщаемого материала(в этом отношении нам удалось широко использовать упоминаемое ниже учебное пособие и избавиться от диктовки). Но мы постоянно использовали фронтальный опрос по материалу предыдущих занятий, рассказ нового материала велся методом беседы (часто с использованием учебного пособия автора этих строк “Специальная теория относительности”. Длительность занятия позволяла проводить детальное закрепление нового материала, обязательно давалось задание на дом (по учебному пособию) и, если оставалось время, сообщался дополнительный материал из биографии создателя СТО – А. Эйнштейна. Часто по завершении курса проводилась конференция, выпускался “Бюллетень о СТО”,

что позволяло познакомиться с удивительной теорией и тех учащихся, которые не посещали факультатив.

Отмечая важность изучения “Основ СТО” учащимся, следует сказать и о значении этой творческой работы и для самого учителя физики, для его внутреннего и внешнего самоутверждения, для получения творческого удовлетворения при работе с самыми любознательными школьниками.

## **ПРОГРАММА ФАКУЛЬТАТИВА ПО СТО**

**1-е занятие.** Ознакомление учащихся с программой курса. Восстановление в памяти учащихся знаний по основам классической механики, об основных классических представлениях о пространстве, времени и движении. Система отсчета, метризация пространства и синхронизация часов в классической физике.

**2-е занятие.** Принцип относительности Галилея. Формулы Галилея. Абсолютные и относительные величины в классической физике. Инвариантность законов механики.

**3-е занятие.** Решение задач (с выбором различных систем отсчета).

**4-е занятие.** Принцип относительности и классическая электродинамика Эфир. Опыты по обнаружению эфира (явление аберрации, опыт Физо, опыт Майкельсона).

**5-е занятие.** Постулаты А. Эйнштейна, их кажущаяся противоречивость. Относительность одновременности, времени, длины.

**6-е занятие.** Формулы Лоренца (без вывода), кинематические следствия из них.

**7-е занятие.** Решение задач по кинематике СТО.

**8-е занятие.** Интервал, его инвариантность, два вида интервала. Световой конус.

**9-е занятие.** Динамика СТО. Формулы А. Эйнштейна, их содержание. Решение задач по динамике СТО

**10-е занятие.** “Парадоксы” СТО. Роль СТО в физике, философии, в экономике, социальной жизни общества и культуре.

По завершению занятий факультатива проводится зачет или по билетам, или по докладам, тематика которых была сообщена в начале всех занятий.

### **Краткое содержание учебных занятий.**

**1-е занятие.** Краткое изложение программы факультатива. Пространство и время – атрибуты материи. Представления древних о пространстве и времени. Ньютон – основоположник классической физики. Система отсчета в классической механике и в современной физике.

**2-е занятие.** Знакомство с работами Галилея. Формулировки классического принципа относительности. Формулы преобразования координат и времени Галилея. Абсолютность времени, временных промежутков, относительность координаты, абсолютность длины. Вывод формулы сложения скоростей. Абсолютность ускорения, массы, силы в классической физике. Инвариантность формулы 2-го закона механики.

**3-е занятие.** Решение задач по кинематике и динамике классической механики (главная цель – зафиксировать в сознании учащихся, что без выбора системы отсчета невозможно решать физические задачи). Задачи подбирались из пособия автора. Так как большинство их снабжено подробными решениями, то учащимся предлагалось предварительно познакомиться с этими решениями, а на занятии “озвучить” их и провести методически оправданную запись.

**4-е занятие.** Занятие посвящено тщательному анализу опытов, с помощью которых пытались обнаружить гипотетический эфир. Подчеркивается, что эфир нужен был классической физике не только как светонесущая среда, но и для поиска абсолютной системы отсчета, необходимой для утверждения ньютоновских представлений о пространстве, времени и движении. Анализ опытов Брэдлея, Физо и Майкельсона выявляют противоречивость поведения эфира в наблюдаемых явлениях, что приводит к кризису в классической физике.

**5-е занятие.** Это занятие является центральным. Анализ Эйнштейном кризиса гипотезы об эфире приводит его к отвержению эфира как носителя электромагнитных волн и признанию материальности самого электромагнитного поля. Для построения нового учения о свойствах пространства, времени и движения Эйнштейн выдвигает два постулата. Показывается, что они не противоречат друг другу, а противоречат классическим представлениям. Устанавливается (качественно) относительность временных промежутков и длины (это достигается анализом мысленного эксперимента с “Вагоном Эйнштейна” и введения способа определения длины движущегося тела).

**6-е занятие.** После повторения материала предыдущего занятия, даем без вывода формулы преобразования координат и времени в СТО – формулы Лоренца (в отдельные годы, в зависимости от уровня подготовленности учащихся, проводился вывод формул Лоренца, так как это закрепляет содержание постулатов СТО, но требует, однако, времени почти целого занятия). На основании формул Лоренца выводились формулы относительности временных промежутков и длины. Вводились понятия “собственной длительности” и “собственной длины”. Делался вывод релятивистской теоремы сложения скоростей. Утверждался важный принцип современной физики – принцип соответствия на конкретных примерах формул СТО.

**7-е занятие.** Решение задач по кинематике СТО (задачи подбирались из учебного пособия автора).

**8-е занятие.** Постулируется “интервал”, как новая абсолютная величина в СТО, символизирующая неразрывность пространственных и временных представлений в СТО, утверждающая новое пространственно-временное многообразие “пространство-время”. Вводятся два интервала: временно-подобный и пространственно-подобный. Анализируется критерий причинно-следственных связей в СТО. Строится “световой конус”.

**9-е занятие.** Оно посвящено динамике СТО. Анализируются две формулы Эйнштейна для энергии. Утверждается безмассовость фотона. Вводятся понятия дефекта массы и

энергии связи. Завершается занятие решением нескольких небольших задач по динамике СТО.

**10-е занятие.** Фактически оно является итоговым, так как на нем рассматриваются “парадоксы”, устранить которые нельзя без понимания основ СТО. Сообщения о “парадоксах” делают сами учащиеся, они же, привлекая аудиторию, пытаются устранить кажущиеся противоречия.

Завершает занятие преподаватель, рассказывая о значении СТО как в истории развития физики, так и в истории развития человеческого общества. “В двух словах” рассказывается об общей теории относительности.

### Литература

1. В. А. Угаров. Принцип относительности и специальная теория относительности. — Сб. “Школьникам о современной физике” (классическая физика). — 1974 г., М., “Просвещение”.
  2. Г. И. Копылов. Всего лишь кинематика. — Б-ка “Квант”, вып. И, М., 1981 г.
  3. Ю. Б. Румер, М. С. Рывкин. Теория относительности. — 1960 г., М., Просвещение.
  4. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Т. 2.— 1965 г., М., “Наука”.
  5. А. Эйнштейн, Л. Инфельд. Эволюция физики. — 1956г., М., ГИТТЛ.
  6. Я. П. Терлецкий. Парадоксы теории относительности. — 1966 г., М., “Наука”.
  7. Ю. И. Соколовский. Элементарный задачник по теории относительности.— 1971 г., М., “Наука”.
  8. А. Н. Малинин. Теория относительности в задачах и упражнениях.— М., “Просвещение”, 1983 г.
  9. И. И. Воробьев. Теория относительности в задачах. — 1989 г., М., “Наука”.
  10. С. Э. Хайкин. Силы инерции и невесомость.— 1967 г., М., “Наука”.
  11. А. Б. Мигдал. Квантовая физика для больших и маленьких.— Б-ка “Квант”, вып. 75, 1989 г., М., “Наука”.
- Методическая литература
1. И. Г. Пустильник, В. А. Угаров. Специальная теория относительности в средней школе.— 1975 г., М., “Просвещение”.

2. Л. Б. Окунь. Понятие массы (масса, энергия, относительность). 1989 г., Журнал “Успехи физических наук”.— 1989 г., т. 158, вып. 3, с. 511—529.
3. В. А. Угаров. Специальная теория относительности.— 1977г., М., “Наука”.
4. А. М. Мостепаненко. Пространство и время в макро-, мега-и микромире.— 1974 г., М., ИПЛ.
5. Э. М. Ч у д и н о в. Теория относительности и философия. — 1974 г., М., ИПЛ.
6. Г. А. Розман Преподавание физики (сб. методических статей) 2005г., Псков, изд. ПГПИ.

### Приложение 7.

#### **К 100-летию создания специальной теории относительности. 2005 год - год Альберта Эйнштейна (из резолюции ООН)**

*Все существенное, чего я добился за свою жизнь, группируется вокруг вопроса: к каким методическим следствиям в физике ведут универсальный закон распространения света и равенство инертной и тяжелой масс?*

*А. Эйнштейн*

Альберт Эйнштейн родился 14 марта 1879 г. в городе Ульме в Германии. Среднее образование ему далось нелегко. Зубрежка не давалась ему, не любил он и муштру, господствовавшей в школьной жизни Германии. Позже он вспоминал, что “учителя в начальной школе представлялись мне сержантами, а в средней – лейтенантами”. Выделяло Эйнштейна среди учеников увлечение математикой и физикой. Уже в 12 – 14 лет он ознакомился с дифференциальным и интегральным исчислением. Самостоятельное овладение наукой, чтение книг и размышление над прочитанным развило у Эйнштейна способность удивляться, увидеть нечто, что другие не замечают или не придают значение наблюдению. Еще в возрасте 5 лет его поразило поведение стрелки компаса, которая “упорно” принимала одно и то же направление

на север. А в 12 лет он ставит себе вопрос: “Можно ли бежать за светом со скоростью света, что будет?” - ответ он даст, создав специальную теорию относительности. В эти же годы у Эйнштейна зародилась любовь к музыке, занятия которой остались для него главным отдыхом от напряженной умственной работы в течение всей жизни.

17-летним юношей Эйнштейн поступает в Цюрихскую высшую техническую школу. Много времени он уделял физической лаборатории и чтению трудов Кирхгофа, Гельмгольца, Герца и др.

Высшую техническую школу Эйнштейн оканчивает со средней оценкой 4,91. После окончания он два года работает от случая к случаю школьным учителем. А затем получает место эксперта в Бернском бюро патентов.

В эти годы начинается научное творчество Эйнштейна. Первое исследование, в котором рассмотрены явления капиллярности, выходят из печати в 1901г.

В 1905 году появляются три статьи, каждой из них было достаточно, чтобы имя автора вошло в историю физики. Это были работы по квантовой теории, о броуновском движении и теории относительности.

В 1900г Макс Планк ввел понятие о квантах света. Планк считал, что атомы излучают и поглощают свет не непрерывно, а порциями, квантами. Эйнштейн пошел дальше: кванты не только появляются при излучении, но и распространяются в виде локализованных образований, впоследствии получивших имя “фотоны”. Исходя из своего взгляда на природу света, Эйнштейн объясняет все законы фотоэффекта. Позднее, в 1921 году, он получил Нобелевскую премию за эту работу.

В 1917 г. Эйнштейн установил связь между вероятностью излучения и поглощения света. Впоследствии эта работа стала теоретическим основанием создания квантовых генераторов.

Будучи у истоков создания квантовой физики, А. Эйнштейн не принял квантовую механику, считая ее неполной. Многие годы, вплоть до своей кончины, он вел дискуссию с Нильсом Бором. И, как это нередко бывает, способствовал более глубокому пониманию и утверждению квантовой механики.

В работе о броуновском движении (1905г) Эйнштейн дает объяснение этому явлению, которое было обнаружено английским ботаником Броуном еще в 1827г. Полученная автором формула (одновременно этой проблемой занимался немецкий ученый Г.Смолуховский) – формула Эйнштейна – Смолуховского позволяла экспериментально определять размеры молекул и их концентрацию. Считается, что эта работа Эйнштейна (и Смолуховского) утвердила молекулярно-кинетическую теорию окончательно. Экспериментально полученная формула была проверена в 1909 г французским физиком Перреном.

30 июня 1905 г. Эйнштейн завершил третью работу “К электродинамике движущихся тел” и отправил ее в журнал *Annalen der Physik*. Эта дата считается моментом создания той теории, которая получила название “Специальная теория относительности” (СТО) и которая утвердила новые представления о свойствах пространства, времени и движении. Придя на смену ньютоновским представлениям об основах мира, СТО вместе с электродинамикой Фарадея –Максвелла завершила построение новой, электродинамической картины мира.

В основу своих рассуждений А. Эйнштейн положил два постулата, которые следуют из опытных фактов.

**Первый постулат:** нельзя обнаружить абсолютное движение или покой инерциальной системы отсчета, наблюдая внутри нее любое физическое явление. Другими словами, все физические процессы во всех ИСО при одинаковых условиях протекают одинаково, законы природы во всех ИСО действуют одинаково. Одновременно А. Эйнштейн вводит в науку представление о материальности электромагнитного поля, в том числе и света. До этого электромагнитное поле рассматривалось как особое состояние специфической среды, заполняющей все мировое пространство и с которой можно было бы связать абсолютную систему отсчета (СО) - электромагнитного эфира. Но ни в одном опыте эфир не удавалось обнаружить. Признавая материальность электромагнитного поля, Эйнштейн отказывается от использования эфира как носителя электромагнитных волн.

**Второй постулат** утверждает, что скорость электромагнитных волн в вакууме не зависит от скорости движения источника волн или приемника их. Эта скорость оказывается предельной для передачи информации.

Исходя из этих постулатов, Эйнштейн показал, что, в отличие от классической физики, которая основана на принципе дальнего действия (бесконечно быстрой передачи взаимодействия-информации), новая физика исходит из принципа ближнего действия-передачи взаимодействия от точки к точке с конечной скоростью, максимальной в вакууме.

Из постулатов Эйнштейна следовало, что ряд физических величин, которые в механике Ньютона считались абсолютными (во всех ИСО эти величины имели соответственно одно и то же численное значение), на самом деле являются относительными, т.е. численное значение, например, длины, длительности, силы и т.д., зависит от условий измерения этих величин.

Опираясь на постулаты, Эйнштейн выводит новые формулы преобразования координат и времени при переходе от одной ИСО к другой, движущейся относительно первой с некоторой скоростью.

Из этих формул, называемых формулами Лоренца, следует не только относительность координат, но и времени, это принципиально новый результат, полученный в СТО. Однако, неверно расхожее утверждение, что «СТО все сделала относительным». Не может существовать физическая теория, в которой нет абсолютных, инвариантных величин. Именно такие величины определяют нечто, что не изменится даже после уточнения теории. На инвариантах базируется основное содержание и СТО. Такой инвариантной (абсолютной, одинаковой) во всех ИСО величиной является и скорость электромагнитных волн (света) в вакууме, длина покоящегося тела, длительность процесса, неподвижного в данной системе отсчета.

Наряду с указанными выше инвариантами СТО, в неё вводятся и новые инвариантные величины. Одной из таких величин является *интервал*, который связывает пространственные

и временные характеристики двух разноместных и разновременных событий (обратим внимание, что сами эти характеристики - относительные величины!).

Совокупность четырех величин  $x, y, z, t$  определяет положение события в едином пространстве-времени - мировую точку. Мы говорим о едином пространстве-времени, так как изменилось содержание времени. Из формул Лоренца видна тесная связь пространства и времени. В СТО говорят о четырех-мерности мира, имея в виду, что для описания события необходимо задание всех четырех величин  $x, y, z, t$ . Благодаря изменению хотя бы одной из этих величин, происходит изменение положения мировой точки в четырехмерном пространстве-времени. Последовательное перемещение мировой точки события составляет мировую траекторию.

Знание четырехмерного интервала между двумя событиями позволяет определить, имеется ли между этими событиями причинно-следственная связь или между этими событиями не может быть такой связи. В классической механике, в которой предполагалось существование бесконечной скорости передачи взаимодействия, между всеми событиями должна была быть причинно-следственная связь. Только СТО навела в этом вопросе однозначность.

Чрезвычайно важным выводом, полученным А.Эйнштейном в СТО, является установление взаимосвязи между двумя фундаментальными характеристиками вещественного тела, между его массой и энергией в покое. Именно из этой взаимосвязи следовало предсказание о наличии гигантских запасов энергии внутри ядер атомов, что стало теоретической базой ядерной энергетики.

СТО является фундаментом современной физики и лежит в основе всех новейших физических теорий, ее выводы подтверждены экспериментально.

Научный успех изменил жизнь Эйнштейна. В 1908 г. он стал читать лекции в Бернском университете. В 1909г. он становится профессором теоретической физики в Цюрихском университете, а в 1911 г. – профессором в Немецком университете в Праге. С

1914 г. Эйнштейн работает в Берлине. В 1913 г. его избирают в Прусскую Академию наук.

В эти годы Альберт Эйнштейн начинает интенсивно работать над созданием общей теории относительности (ОТО). Потребность в СТО чувствовалась в физике в начале XX в в связи с проблемой эфира. Иначе обстояло дело с общей теорией относительности. Можно сказать, что только Эйнштейн видел ограниченность СТО в первую очередь потому, что она не учитывала существование гравитационного поля и “работала” только с инерциальными системами отсчета. Новая гигантская работа была завершена в 1916 г. А в 1919 г. она получила первое экспериментальное подтверждение: английская экспедиция во главе с знаменитым астрофизиком Эддингтоном, наблюдая полное солнечное затмение, обнаружила искривление траектории светового луча при прохождении вблизи Солнца. Главное содержание общей теории относительности состоит в том, что и показал Эйнштейн, что геометрия окружающего мира имеет неклассический характер, эта геометрия отличается от геометрии Евклида, которую мы изучаем в школе. Во второй половине XX в. ОТО пережила свое “второе” рождение: она стало основой бурно развивающихся космогонии и космологии, а так же обнаружилась связь с физикой элементарных частиц.

В 1926 г. А. Эйнштейна избирают почетным членом Академии наук СССР.

Плодотворная работа Эйнштейна в Берлине была прервана в 1933г в связи с приходом к власти фашистов, которые зачислили Эйнштейна во врага гитлеровского режима. Его имущество разграблено, научные труды вместе с книгами Гете и Толстого, Шиллера и Гейне сожгли в огромном костре на одной из берлинских площадей, а за голову Эйнштейна была обещано 50 тысяч марок. Он эмигрирует в США, в Принстон.

Вся жизнь А. Эйнштейна прошла под этическим кредо: “Доброта, красота и правда – вот идеалы, которые освещали мой жизненный путь” (из автобиографии Эйнштейна). “Все, что было связано с личным культом, мне всегда было крайне неприятно”.

В послевоенные годы Эйнштейн активно участвовал в международном движении по запрету ядерных исследований в военных целях.

В 1954 г. научный мир отмечал 75-летие Альберта Эйнштейна - великого физика XX века. В 1955г. предполагалось отметить 50-летие создания СТО. Но 18 марта 1955г. Эйнштейн скорострительно скончался. Его прах был развеян над землей, но память о нем будет жить вечно, пока будет существовать человечество.

2005 г. по решению ЮНЕСКО (гуманитарной организации при ООН) объявлен годом Алберта Эйнштейна, годом Специальной теории относительности, годом интенсивного распространения научных знаний.

### **Приложение 8. Кто автор той теории, которую мы называем “Специальная теория относительности”?**

Уже много лет от случая к случаю появляются публикации, в которых отвергается авторство А. Эйнштейна в создании СТО. Создателями называются Г. Лоренц и А. Пуанкаре.

То, что в науке почти одновременно у разных ученых рождаются сходные идеи – это естественно. Можно даже сказать, что у каждого открытия всегда были предшественники, способствовавшие рождению окончательной идеи.

Но, по меньшей мере не корректно, когда авторство приписывается тем, кто совершенно иначе толковал те положения, которые являются основой теории, созданной А.Эйнштейном. Это вызывает недоумение: знают ли подобные “исследователи” истории физики саму теорию относительности или они руководствуются другими мотивами?

Чтобы указать истинного автора той теории, которую мы называем Специальной теорией относительности, проведем сопоставление толкований основных положений этой теории Лоренцом и Пуанкаре, с одной стороны, и Эйнштейном, с другой.

*Во первых.* И Лоренц, и Пуанкаре рассматривали свою теорию исключительно только по отношению к электродинамике.

Теория же Эйнштейна – это общезначимая теория, современная теория свойств пространства, времени и движения, применимая к любым физическим процессам.

*Во вторых.* В формулах, носящих имя Лоренца (но выведенных не им) штрихованные координаты и время рассматривались Лоренцем и Пуанкаре лишь как вспомогательные, математические величины, не имеющие физического содержания.

У Эйнштейна штрихованные координаты и время – это физические характеристики события с т.з. наблюдателя, находящегося в подвижной (штрихованной) системе отсчета.

*В третьих.* И Лоренц, и Пуанкаре были сторонниками эфира. В их теории существовала абсолютная система отсчета, связанная с эфиром.

Эйнштейн отказался от эфира в силу его противоречивых свойств, и тем самым признал все инерциальные системы отсчета равноправными

*В четвертых.* И Лоренц, и Пуанкаре пытались “спасти” эфир, выдвигая для него различные механические модели.

Эйнштейн, отказываясь от эфира как носителя электромагнитных колебаний, признал за электромагнитным полем самостоятельную физическую реальность. Именно после создания СТО Эйнштейном в физике и философии стали рассматривать два вида материи: вещество и электромагнитное поле.

*В пятых.* Пытаясь объяснить отрицательный результат в опыте Майкельсона, Лоренц ввел эффект динамического сокращения продольных размеров электрона, что сопровождалось сокращением продольных размеров и движущихся вещественных тел.

У Эйнштейна нет никакого сокращения, это слово чуждо теории Эйнштейна. В СТО речь идет об относительности длины и временных промежутков. Собственная длина тела и длина тела в движении – это проявление роли условий наблюдения, каждая

из этих длин – реальная величина, но для разных наблюдателей. То же можно сказать и о собственной и лабораторной длительности физического процесса.

Очень важно для решения нашего вопроса мнение самого Лоренца. В книге “Теория электрона” в издании 1916 г. он писал: “Основная причина моей неудачи в том, что я был связан идеей, что только переменная  $t$  может рассматриваться как истинное время, а мое “локальное” время  $t'$  должно рассматриваться не более, как произвольная математическая величина”.

Или вот еще одно, более определенное высказывание Лоренца о приоритете в создании СТО. В 1927 г. (за год до смерти) Лоренц писал: “Итак, теория относительности является фактически работой исключительно Эйнштейна”.

На вопрос: кто же создал теорию, которая называется “Специальная теория относительности”, мы можем дать однозначный ответ – автором СТО является Альберт Эйнштейн.