

Зачетные материалы по физике



Составитель: Анатолий Найдин



г. Томск, ТФТЛ

2020

ЗАЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ОПТИКЕ

Доколе свет с вами, веруйте в свет, да будете сынами света.

Евангелие от Иоанна 12:36

О П Т И К А

Когда-то под оптикой понимали науку о зрении. Ныне оптика – это раздел физики, где исследуются процессы испускания света, распространение света в различных средах, его взаимодействие с веществом.

При рассмотрении многих оптических явлений (например, явлений, связанных с преломлением света на границе двух сред) можно пользоваться представлением о световых лучах – линиях, вдоль которых распространяется световая энергия. В этом случае говорят о геометрической (лучевой) оптике. Основу геометрической оптики составляет закон взаимной независимости световых лучей и принцип наименьшего времени (принцип Ферма). Геометрическая оптика широко используется в светотехнике и при рассмотрении действия многочисленных оптических приборов и устройств – начиная от лупы и очков и кончая сложнейшими оптическими микроскопами и телескопами.

В начале XIX в. развернулись интенсивные исследования открытых ранее явлений дисперсии, интерференции, дифракции и поляризации света. Эти явления не находили объяснения в рамках геометрической оптики, необходимо было рассматривать свет в виде поперечных волн. Так возникла волновая оптика. Первоначально полагали, что световые волны – упругие волны в некоей среде (мировой эфир), которая будто бы заполняла все мировое пространство. В 1864 г. английский физик Дж. Максвелл создал электромагнитную теорию света, согласно которой волны света – это электромагнитные волны, попадающие в соответствующий диапазон длин волн.

Исследования, выполненные в начале XX в., показали, что для объяснения некоторых явлений, например, фотоэффекта, необходимо представить световой пучок в виде потока частиц – световых квантов, или, иначе говоря, фотонов. Теперь представления о световых квантах изучает квантовая оптика.

Можно ли считать, что геометрическая, волновая, квантовая оптика являются последовательными этапами в развитии оптики? Нет, так считать нельзя. У каждой из указанных оптик есть свои области применения, свой круг практических задач. Например, для построения изображения предмета в микроскопе и определения увеличения можно использовать геометрическую оптику; при рассмотрении же разрешающей способности микроскопа необходимо обратиться к волновой оптике, поскольку разрешение ограничивают дифракционные эффекты.

Способствуя развитию разных направлений современной физики, оптика в то же время и сама переживает сегодня период бурного развития,

основной толчок которому дало изобретение интенсивных источников когерентного света – лазеров.

ОТВЕТЬ НА ВОПРОСЫ

1. Какими двумя способами может передаваться действие на расстояние. Приведите пример.
2. Приведите примеры передачи светом действия на расстояние?
3. Какие две теории возникли на природу света в XVIII веке? Каковы достоинства и недостатки каждой из них?
4. Как должна измениться скорость света при его прохождении из воздуха в воду с точки зрения корпускулярной и с точки зрения волновой теории света?
5. Почему эксперименты Физо и Фуко по измерению скорости света в воздухе и в воде были названы решающими? Каковы результаты этих опытов? Какая из теорий на природу света получила после этих опытов решающее подтверждение?
6. Что вы знаете об астрономических и лабораторных методах измерения скорости света?
7. Кто автор электромагнитной теории света? Какова природа света с точки зрения этой теории?
8. Что называют световым лучом?
9. Как называют науку о световых лучах?
10. Сформулируйте: а) закон независимости распространения световых лучей; б) закон прямолинейного распространения света; в) закон отражения света; г) закон преломления света.
11. Почему законы геометрической оптики справедливы лишь приближенно?
12. Что называют абсолютным показателем преломления среды? Каков его физический смысл?
13. Какова связь относительного показателя преломления двух сред с их абсолютными показателями преломления?
14. Покажите, что с помощью закона прямолинейного распространения света можно объяснить: образование тени и полутени, солнечные и лунные затмения; определить расстояние до недоступного объекта, расстояние до светила.
15. Как построить изображение предмета в плоском зеркале, определить область видения предмета? Чему равно фокусное расстояние плоского зеркала?
16. Электромагнитные волны какой частоты (длины волны) при попадании в глаз вызывают ощущение красного цвета; зеленого цвета? фиолетового цвета?
17. С чем связано ощущение цвета – с частотой световой волны или с ее длиной?
18. На каком основании мы считаем, что частота света не меняется при его переходе из одной среды в другую?
19. Какое явление называют полным внутренним отражением? Какие условия необходимы для его наблюдения?

20. Приведите примеры полного внутреннего отражения и расскажите о его технических применениях.
21. Изобразите ход произвольного светового луча в плоскопараллельной стеклянной пластинке, в треугольной призме, в тонкой линзе.
22. Постройте изображение точки в плоскопараллельной стеклянной пластинке, в треугольной призме, в собирающей линзе, в рассеивающей линзе.
23. Какие способы измерения фокусного расстояния линзы вам известны?
24. Каким будет изображение предмета в собирающей (рассеивающей) линзе, если предмет расположен: а) за двойным фокусным расстоянием? б) на двойном фокусном расстоянии? в) между главным фокусом и двойным фокусным расстоянием? г) в главном фокусе? д) между главным фокусом и линзой?
25. Зачем применяют линзы в диапроекторе? в фотоаппарате?
26. Для каких целей предназначена и как действуют лупа, микроскоп, телескоп?
27. Расскажите о глазе как об оптическом приборе?
28. Какое явление называют дисперсией волн и как его можно наблюдать?
29. Каким образом И.Ньютону удалось наблюдать дисперсию света, каковы результаты этого эксперимента и как их удалось объяснить?
30. Объясните происхождение цветов, действие светофильтра, происхождение радуги, цветное зрение.
31. Какие цвета называются основными, дополнительными? Каким образом можно получить различные комбинации цветов?
32. Можно ли наблюдать интерференцию света? Что для этого необходимо? Какой вид имеет интерференционная картина в монохроматическом и белом свете?
33. Почему нельзя наблюдать интерференцию от двух естественных источников света?
34. Какие методы наблюдения интерференции света вам известны?
35. Сформулируйте условие максимума при наблюдении интерференции света от двух точечных когерентных источников? Что можно определить по наблюдаемой интерференционной картине?
36. Расскажите об интерференции света в тонких пленках и технических применениях этого явления.
37. Каким образом можно наблюдать дифракцию света? Опишите экспериментальную установку для наблюдения дифракции света от щели. Как объяснить происхождение наблюдаемой дифракционной картины?
38. Мы слышим звук, доносящийся из-за угла, но не видим того, что происходит за углом, хотя и звук, и свет – волны. Объясните, в чем их различие.
39. Почему оптические приборы имеют определенную разрешающую способность?
40. Что такое дифракционная решетка, и для каких целей она предназначена?
41. Поперечны ли электромагнитные волны? Какие эксперименты указывают на поперечный характер электромагнитной волны?

42. Какое явление называется поляризацией? Какой вывод о природе света можно сделать, наблюдая его поляризацию?
43. В чем сходство и различие между светом и звуком.
44. Какие электромагнитные волны называют инфракрасными лучами? Для каких целей они применяются?
45. Какое излучение называют ультрафиолетовым и как его можно обнаружить? Для каких целей оно применяется?
46. Как распределена энергия в спектре нагретого тела?
47. Какова природа рентгеновских лучей? Какие свойства обнаруживает коротковолновое излучение?
48. На какие диапазоны разбита вся шкала электромагнитных излучений? Расскажите о способах получения низкочастотных колебаний, радиоволн, инфракрасных лучей, видимого и ультрафиолетового излучения. Каким образом регистрируют эти излучения?
49. В чем выражается различие излучений разной частоты?

ВЫБЕРИ ВЕРНЫЙ ОТВЕТ

1. Какое оптическое явление не смогла объяснить корпускулярная теория света?
 - 1) отражение света;
 - 2) преломление света;
 - 3) прямолинейное распространение света;
 - 4) дифракцию света.
2. В каком случае наблюдается полное внутреннее отражение света?
 - 1) при отражении света от идеального зеркала;
 - 2) при преломлении света на границе раздела двух сред?
 - 3) при переходе света из оптически более плотной среды в менее плотную среду, если угол падения больше предельного;
 - 4) при отражении света от сферического зеркала.
3. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием 10 см надо поставить предмет, чтобы его действительное изображение было вдвое больше самого предмета?
 - 1) 15 см; 2) 12 см; 3) 20 см; 4) 10 см.
4. Дисперсией света называют...
 - 1) зависимость показателя преломления вещества от цвета;
 - 2) зависимость показателя преломления вещества от частоты падающего на него света;
 - 3) зависимость показателя преломления вещества от угла падения светового луча;
 - 4) зависимость показателя преломления треугольной призмы от ее материала.
5. Какое явление называют интерференцией света?
 - 1) наложение световых волн друг на друга, приводящее к усилению света вдоль одних направлений и ослаблению вдоль других;
 - 2) разложение белого света в спектр;
 - 3) возникновение бегущей волны на шнуре;
 - 4) изменение свойств падающего на экран излучения.

6. Какое явление называют дифракцией света?
 - 1) наложение волн друг на друга;
 - 2) разложение света в спектр;
 - 3) огибание светом краев препятствий;
 - 4) образование на экране светлых и темных полос.
7. Какая из характеристик не относится к инфракрасным лучам?
 - 1) тепловые;
 - 2) излучаются любым нагретым телом;
 - 3) имеет меньшую частоту по отношению к ультрафиолетовым лучам;
 - 4) вызывают загар.
8. Какая из характеристик не относится к ультрафиолетовым лучам?
 - 1) имеют меньшую длину волны по отношению к инфракрасным лучам;
 - 2) обладают высокой биологической активностью;
 - 3) вызывают загар;
 - 4) на них приходится максимум энергии в спектре излучения любого нагретого тела.
9. Какое из свойств рентгеновских лучей служит доказательством их волновой природы?
 - 1) дифракция рентгеновских лучей на кристаллах;
 - 2) отражение рентгеновских лучей от препятствий;
 - 3) поглощение лучей веществом;
 - 4) ионизация рентгеновскими лучами воздуха.
10. Для объяснения какого явления необходимо применять геометрическую оптику?
 - 1) дифракция света;
 - 2) прямолинейное распространение света;
 - 3) интерференция света;
 - 4) поляризация света.

ЗАПОЛНИ ОБОБЩАЮЩУЮ ТАБЛИЦУ

«ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ». ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

1. Основание

- 1.1. Наблюдения
- 1.2. Эксперименты
- 1.3. Основные понятия
- 1.4. Идеализированный объект

2. Ядро теории

- 2.1. Постулаты
- 2.2. Законы
- 2.3. Константы

3. Следствия

- 3.1. Формулы-следствия
- 3.2. Экспериментальная проверка
- 3.3. Границы применимости
- 3.4. Практические применения

Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам теории можно отнести следующие утверждения:

1. Луч – линия, вдоль которой распространяется световая энергия.

2. Законы геометрической оптики, установленные для световых лучей, приближенно справедливы и для узких световых пучков.
3. В однородной и изотропной среде световые лучи распространяются прямолинейно.
4. Точное значение скорости света в вакууме $c=299792458\pm 1,1$ м/с.
5. С помощью законов геометрической оптики удалось объяснить целый ряд оптических явлений: миражи, происхождение радуги и т.д.
6. Формула тонкой линзы имеет вид: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.
7. Измерив фокусное расстояние линзы, легко опытным путем подтвердить справедливость формулы линзы.
8. Лучи прожекторов проходят друг через друга, не изменяя своей формы.
9. Величина, обратная фокусному расстоянию линзы, называется оптической силой линзы.
10. При зеркальном отражении угол отражения светового луча равен углу падения.

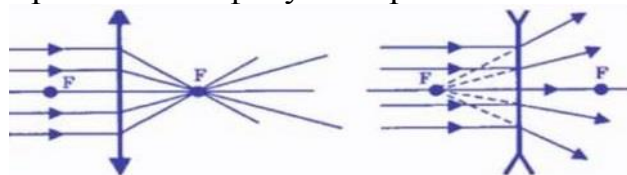
УМЕЙ ПОЛУЧАТЬ ФОРМУЛЫ-СЛЕДСТВИЯ

1. На основе принципа Ферма, утверждающего, что между двумя точками свет распространяется по пути, на прохождение которого он затрачивает минимальное время, выведите законы геометрической оптики.
2. Какова должна быть наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек в нем мог видеть свое изображение во весь рост, не изменяя положение головы?
3. В плоском зеркале, отражающая поверхность которого покрыта защитным слоем стекла толщиной h , наблюдают изображение точечного источника света. Доказать, что расстояние от точечного источника света до плоской зеркальной поверхности не равно расстоянию от нее до изображения источника.
4. Докажите, что формулу линзы можно представить в ньютоновской форме: $x \cdot x' = F^2$, где x – расстояние от объекта до главного фокуса с передней стороны линзы, x' – расстояние от изображения до главного фокуса с другой стороны линзы.
5. Покажите, что фокусное расстояние однородного шара радиусом R , сделанного из прозрачного диэлектрика с коэффициентом преломления n ($1 < n < 2$), равно $F = \frac{R(2-n)}{2(n-1)}$.
6. Основываясь на электромагнитной теории света, объясните:
 - 1) явление дисперсии света;
 - 2) происхождение света;
 - 3) явление интерференции света;
 - 4) интерференцию света в тонких пленках;
 - 5) дифракцию света от щели;
 - 6) поляризацию света;
 - 7) давление света.

7. При каком условии при описании распространения света необходимо пользоваться лучевыми представлениями?
8. Можно ли по наблюдаемой интерференционной или дифракционной картине определить длину световой волны? Объясните.
9. Основываясь на электромагнитной теории света, выведите:
 - 1) закон отражения света;
 - 2) закон преломления света;
 - 3) закон Малюса;
 - 4) формулу для ширины центрального максимума при наблюдении дифракции света от щели.
10. Основываясь на лучевых представлениях о свете: а) объясните принцип действия фотоаппарата и проекционного аппарата; б) выведите формулу линзы; в) формулы увеличения лупы и микроскопа.

УМЕЙ РЕШАТЬ ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

1. На каком расстоянии видно с Останкинской башни высотой около 300 м?
2. При освещении непрозрачного диска радиуса r на экране, отстоящем от него на расстоянии ℓ , получается тень радиуса r_1 и полутень r_2 . Источник света также имеет форму диска, причем прямая, соединяющая центры дисков, перпендикулярна к ним и к плоскости экрана. Определить диаметр источника света и его расстояние от освещаемого диска.
3. Требуется осветить дно колодца, направив на него солнечные лучи. Как надо расположить плоское зеркало по отношению к земле, если лучи Солнца падают под углом 60° ?
4. Какова должна быть наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек в нем мог видеть свое изображение во весь рост, не изменяя положения головы?
5. Точечный источник света и два его изображения, даваемые двумя зеркалами, лежат в вершинах равностороннего треугольника. Определите расположение зеркал относительно источника и угол между ними.
6. Человек, стоящий на берегу озера, видит на гладкой поверхности воды изображение Солнца. Как будет перемещаться это изображение при удалении человека от озера?
7. Далеко ли от вас до изображения Солнца в плоском зеркале?
8. На какой угол повернет луч, отраженный от плоского зеркала, при повороте последнего на 60° ?
9. С помощью циркуля и линейки постройте ход преломленного луча в среде с показателем преломления 2 при известном угле падения.
10. Увидим ли мы изображение, если будем смотреть через собирающую линзу на предмет, помещенный в ее фокальной плоскости?
11. Край линзы обрезали. Изменилось ли при этом ее фокусное расстояние (доказать построением)?
12. Как надо расположить две линзы, одна из которых собирающая, а другая рассеивающая, чтобы пучок



- параллельных лучей, пройдя через обе линзы, остался параллельным?
13. На каком расстоянии можно отличить двугорбого верблюда от одногорбого верблюда?

НАУЧИСЬ РЕШАТЬ КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ

1. Если поверхность воды колеблется, то изображения предметов в воде также колеблются. Почему?
2. Почему снег и туман непрозрачен, хотя вода прозрачна?
3. Почему форма солнечного «зайчика» на дальней стене не зависит от формы зеркала? При каких условиях будет зависеть?
4. Объясните, почему в лунную ночь на поверхности моря видна лунная дорожка, а не изображение лунного диска?
5. Почему блестят драгоценные камни?
6. Почему, когда едешь по сильно разогретому солнцем шоссе, то иногда кажется, что видишь на дороге лужу?
7. Почему с моста лучше видно рыбу, плавающую в реке, чем с низкого берега?
8. Почему мнимое изображение предмета (например, карандаша) при одном и том же освещении в воде получается менее ярким, чем в зеркале?
9. Если поверхность воды не совсем спокойна, то предметы, лежащие на дне, кажутся колеблющимися. Объясните явление.
10. Почему Солнце и Луна у горизонта кажутся овальными?
11. В какой среде лучи света могут быть криволинейными?
12. Как изменится фокусное расстояние линзы, если ее температура повысится?
13. Чем толще двояковыпуклая линза в центре по сравнению с краями, тем короче ее фокусное расстояние при заданном диаметре. Почему?
14. Из двух часовых стекол склеили «выпуклую» линзу. Как будет действовать эта линза на пучок лучей в воде?
15. Почему проекционный аппарат дает увеличенное изображение предмета, а фотоаппарат – уменьшенное?
16. Зачем объективы у проекционных аппаратов должны быть подвижными?
17. Чтобы лучше видеть, близорукие люди щурят глаза? Как это объяснить?
18. Чем меньше длина волны, тем быстрее меняется показатель преломления. Как это отражается на спектре, полученном с помощью стеклянной призмы?
19. Почему интерференционная окраска одного и того же места поверхности мыльного пузыря непрерывно меняется?
20. Почему у орла должен быть большой зрачок?
21. Правда ли, что лилипуты обладают несравненно лучшим зрением, чем мы?
22. Почему сторону лопастей винта самолета, обращенную к кабине летчика, окрашивают в черный цвет?
23. Почему свет от яркого источника света, проходя через узкий зазор между щечками микрометра, поляризуется?

24. Плоскополяризованный лазерный луч падает на лист белой бумаги. Почему же отраженный свет не поляризован?
25. Почему рулон тонкой гладкой полимерной пленки выглядит блестящим, как будто это рулон фольги или металлизированной пленки?
26. Правда ли, что шашлыки жарят с помощью инфракрасных лучей?
27. Почему температура всех тел в неотапливаемом закрытом помещении становится одной и той же?
28. Почему мел выглядит среди раскаленных углей темным?
29. Чем отличается спичка от радиостанции?
30. В чем сходство и в чем различие между светом и звуком?

ТАК РЕШАЙ ЗАДАЧИ

1. Каким должен быть внешний радиус изгиба световода, сделанного из прозрачного вещества с показателем преломления n , чтобы при диаметре световода, равном ℓ , свет, вошедший в световод перпендикулярно плоскости его поперечного сечения, распространялся, не выходя через боковую поверхность наружу?

ДАНО:

$n; \ell$

$R - ?$

АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ:

Если для луча ВВ' угол падения α_2 равен предельному, то для любого другого луча, например АА', он больше предельного и этот луч тем более не выйдет через боковую поверхность. Тогда $\sin \alpha_2 = \frac{1}{n}$. $\sin \alpha_2 = \frac{R - \ell}{R}$ и $\frac{R - \ell}{R} = \frac{1}{n}$, откуда $R = \frac{n\ell}{n - 1}$.

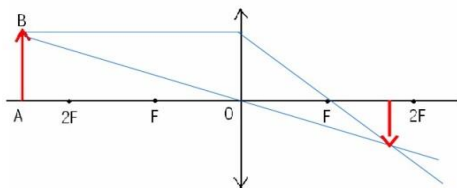
2. Где надо поместить предмет перед собирающей линзой с фокусным расстоянием F , чтобы расстояние между предметом и его изображением было наименьшим?

ДАНО:

$F, \ell - \text{мин.}$

$d - ?$

АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ:



АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ: Для тонкой собирающей линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ и $d + f = \ell$,

то тогда $\ell = d + \frac{df}{d - f}$. Чтобы установить, при каком d расстояние между предметом и его изображением будет минимальным, необходимо взять первую производную от функции $\ell = f(d)$ и приравнять ее к нулю:

$$\ell = 1 + \frac{F(d - F) - dF}{(d - F)^2} = 0, \text{ откуда } d = 2F.$$

3. Два когерентных источника S_1 и S_2 испускают монохроматический свет с длиной волны 600 нм . Определить, на каком расстоянии от точки O на экране будет первый максимум освещенности, если $OC = 4 \text{ м}$ и расстояние между источниками равно 1 мм .

ДАНО:

$\lambda = 600 \text{ нм}$

$L = 4 \text{ м}$

$d = 1 \text{ мм}$

$n = 1$

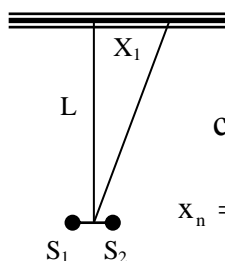
$x_1 - ?$

АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ:

Из условия максимума

следует $\frac{dx_n}{L} = n\lambda$, откуда

$$x_n = \frac{n\lambda L}{d} = 2,4 \text{ мм.}$$



РЕШИ САМ

1. Матовая электрическая лампочка в виде шара диаметром 5 см освещает шар диаметром 10 см. Определите диаметр полной тени и полутени непрозрачного шара на стене. Расстояние от шара до лампочки 1 м, до стены 2 м.
2. Мачта высотой 13 м и диаметром 13 см отбрасывает на землю тень. Высота Солнца над горизонтом 13° . Чему равна длина тени шеста? Примечание: учесть, что угловой диаметр Солнца - $0,5^{\circ}$.
3. Световод (длинная тонкая нить) изготовлен из прозрачного материала с показателем преломления 1,2. Один из торцов световода прижат к источнику рассеянного света, другой торец размещен на расстоянии 5 см от экрана. Найти диаметр светового пятна на экране.
4. Какие очки вы пропишите близорукому студенту для чтения и для прогулок на улице, который может читать текст, расположенный от глаз не далее 15 см?
5. Свет с длиной волны 0,6 мкм падает на тонкую, мыльную пленку под углом падения 30° . В отраженном свете на пленке наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними полосами равно 4 мм. Показатель преломления мыльной пленки 1,33. Вычислите угол между поверхностями пленки.
6. Оцените на основе дифракционных соображений, может ли орел, летящий над землей на высоте 1 км, различить мышонка размером в 2 см, если диаметр его зрачка 10 мм?

ВЫПОЛНИ ЭКСПЕРИМЕНТ ДОМА

1. Изготовьте камеру-обскуру и с ее помощью определите среднее расстояние между витками нити накала лампочки, не разбивая ее.
2. Светящаяся точка находится между двумя плоскими зеркалами. Сколько изображений точки можно получить, расположив зеркала под углом друг к другу?
3. Проткните в фольге от шоколадной конфеты маленькое отверстие и, расположив его как можно ближе к глазу, посмотрите на какой-нибудь ярко освещенный текст, помещенный тоже близко к глазу. Что вам удалось увидеть? Почему?
4. Возьмите круглый стакан и установите прямо за ним вертикальную измерительную линейку. Глядя через противоположный край стакана на нижнее деление шкалы, наливайте в стакан воду, не изменяя положения головы. Что вы наблюдаете? Как объяснить это явление? Производя необходимые измерения, определите показатель преломления воды.
5. Почему черный пластмассовый шарик в воде кажется зеркальным?
6. В 1841 году швейцарский профессор Колладон продемонстрировал замечательное сооружение – светящийся фонтан. Это красивое зрелище было основано на явлении полного внутреннего отражения. Попробуйте и вы предложить конструкцию или изготовить действующую модель фонтана.

7. Как измерить фокусное расстояние рассеивающей линзы?
8. Попробуйте наблюдать миражи с помощью горячего утюга?
9. Наполните пустую бутылку наполовину исследуемой жидкостью и, положив горизонтально, измерьте фокусное расстояние этой плосковыпуклой линзы. Воспользовавшись соответствующей формулой, найдите показатель преломления жидкости.
10. Капля воды на стекле или водяная пленка, затягивающая проволочную петлю малого радиуса, работает как линза. Убедитесь в этом, рассматривая через них точки, мелкие предметы, буквы.
11. В глазу собеседника можно увидеть свое изображение в прямом и уменьшенном виде. Как возникает это изображение?
12. Оцените спектральную разрешающую способность вашего глаза.
13. Если продолжительное время смотреть на одноцветный квадратик, а затем перевести взгляд на белую бумагу, то на бумаге вы увидите изображение рисунка в дополнительном цвете. Почему?
14. Нагревая кусок лезвия в пламени горелки, наблюдайте возникновение на его поверхности цветов побежалости. Зарисуйте наблюдаемую картину и объясните ее происхождение. Зависит ли вид наблюдаемой картины от температуры пламени? Проведите эксперименты и сделайте выводы.
15. Измерьте ширину щели оптическим методом.
16. Возможно, вы замечали, что если свести почти вплотную большой и указательный пальцы, то между ними возникает темная линия. Чем объяснить появление этой линии?
17. Смазав предметное стекло тонким слоем вазелина, прижмите его жирной стороной к ликподию, рассыпанному ровным слоем на газете. Встряхнув пластину, удалите излишки порошка. Рассматривая через пластинку пламя зажженной свечи, опишите наблюдаемую картину и оцените длину световой волны.
18. Оцените разрешающую способность ваших глаз – отдельно для правого и левого.
19. Пронаблюдайте и объясните происхождение спектра на долгоиграющей музыкальной пластинке.
20. Вырежьте из полимерной пленки (полипропилена) полоску и сложите ее несколько раз пополам так, чтобы получился восьми – или шестнадцатислойный многослойник. Покажите, что вы получили поляризатор, работающий на просвет и отражение.
21. Через поляроид рассмотрите любые прозрачные пластмассовые детали и объясните ваши наблюдения.
22. Выйдите на улицу и, закрыв глаза, «посмотрите» на Солнце. Что вы ощущаете? Добейтесь таких же ощущений (теплоты и красноты) при приближении к электрической лампочке в комнате. Зная мощность лампочки и расстояние до нее, рассчитайте «солнечную постоянную».
23. Держа руку вблизи глаза, сфокусируйте зрение через узкую щель между двумя пальцами на далеком источнике света. Опишите картину, которую вы увидите.
24. Поляризован ли свет радуги? Если да, то попытайтесь объяснить причину поляризации.

УМЕЕШЬ ЛИ ТЫ ПРОВОДИТЬ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

1. Предложите план эксперимента по измерению:
 - 1) скорости света;
 - 2) показателя преломления стекла;
 - 3) фокусного расстояния линзы;
 - 4) угла полной поляризации при отражении;
 - 5) длины световой волны.
2. Предложите план эксперимента по наблюдению:
 - 1) отражения света;
 - 2) преломления света;
 - 3) полного внутреннего отражения света;
 - 4) дисперсии света;
 - 5) интерференции света;
 - 6) дифракции света;
 - 7) поляризации света.
3. Предложите план эксперимента по проверке справедливости:
 - 1) закона отражения;
 - 2) закона преломления;
 - 3) формулы линзы,
 - 4) закона Малюса;
 - 5) закона Стефана-Больцмана;
 - 6) закона Вина.
4. На основе законов оптики объясните принцип действия:
 - 1) камеры-обскуры;
 - 2) плоского зеркала;
 - 3) сферического зеркала;
 - 4) треугольной призмы;
 - 5) лупы;
 - 6) микроскопа;
 - 7) бипризмы Френеля,
 - 8) дифракционной решетки;
 - 9) зонной пластинки;
 - 10) поляроида.
5. Если смотреть на освещенную поверхность через широкое отверстие корпуса шариковой ручки, то вокруг узкого отверстия в корпусе видно несколько концентрированных темных и светлых колец. Объясните, почему наблюдаются эти кольца.
6. Какой должна быть наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек в нем мог видеть свое изображение во весь рост, не изменяя положения головы?
7. Как измерить фокусное расстояние рассеивающей линзы?
8. Зимой на стеклах трамваев и автобусов образуются тонкие пленки наледи, окрашивающие все видимое сквозь них в зеленоватый цвет. Оцените, какова наименьшая толщина этих пленок.

9. Поляризован ли рассеянный свет голубого неба? Как это можно установить на опыте?
10. Плоскополяризованный лазерный луч падает на лист белой бумаги. Почему же отраженный свет не поляризован?

УМЕЙ ПРИМЕНИТЬ ПОЛУЧЕННЫЕ ЗНАНИЯ НА ПРАКТИКЕ

1. При базисе 1 км ученик получил следующие значения углов: $\alpha=59^\circ$, $\beta=63^\circ$. Определите по этим измерениям расстояние до недоступного объекта.
2. На каком расстоянии видно с Останкинской башни, высота которой около 300 м?
3. Светящаяся точка находится между двумя плоскими зеркалами. Сколько изображений точки можно получить, расположив зеркала под углом друг к другу?
4. Почему иногда ночью зимой над уличными фонарями видны вертикальные световые столбы?
5. С помощью циркуля и линейки постройте ход преломленного луча в среде с показателем преломления 1,5 при известном угле падения.
6. Можно ли увидеть что-нибудь через две смежные грани стеклянного куба?
7. Что вам известно о причинах возникновения следующих световых явлений в атмосфере: горных призраков, нижних и верхних миражей, световых столбов, гало, венцов?
8. Край линзы обрезала. Изменилось ли при этом ее фокусное расстояние (доказать построением)?
9. Предложите проект измерителя фокусного расстояния очковых линз.
10. Почему не видно изображения предмета, помещенного в фокусе собирающей линзы? Если сверху линзы налить слой воды, то изображение предмета становится видимым. Почему?
11. Как надо расположить две линзы, одна из которых собирающая, а другая рассеивающая, чтобы пучок параллельных лучей, пройдя через обе линзы, остался параллельным?
12. Какие очки вы пропишите близорукому человеку, который может читать текст, расположенный от глаз не далее 20 см, а какой дальнорубкому, который может читать текст, расположенный от глаз не ближе 50 см?
13. В театре иногда применяют световой занавес. Предложите конструкцию занавеса и объясните принцип его действия.
14. Предложите конструкцию прибора для измерения малых длин и малых углов.
15. Как измерить ширину щели оптическим методом?
16. На каком расстоянии можно отличить двугорбого верблюда от одногорбого?
17. Если верить древним скандинавским сагам, штурманы викингов могли установить положение Солнца, закрытого облаками, с помощью «солнечного камня» (кристаллы кордерита). Как им это удавалось?

18. Для чего в фотографии используют поляризационные светофильтры-поляроиды?
19. Почему температура всех тел в неотопливаемом закрытом помещении становится одной и той же?
20. Почему с помощью собирающей линзы можно зажечь бумагу светом от Солнца, а от звезды нельзя?
21. Подумайте, каким должен быть принцип устройства поляризатора для рентгеновских лучей?
22. Перед вами пять законов: $\alpha = \beta$; $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$; $d \sin \varphi_n = n\lambda$; $\Delta_n = n\lambda$;

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Какой из законов необходимо применить для объяснения данного явления?

- 1) просветление оптики,
- 2) возникновение цветных бликов при наблюдении Солнца через ресницы,
- 3) лунная дорожка,
- 4) мираж,
- 5) получение на экране резкого изображения предмета,
- 6) излом карандаша в стакане с водой.

ПРОВЕРЬ И ОЦЕНИ СВОИ ЗНАНИЯ ПО ТЕМЕ

1. Сразу после захода Солнца, когда на горизонте узким серпом поднимается молодой месяц, вы можете увидеть и «темную» часть лунного диска. Почему это возможно?
2. Известно, что в солнечный жаркий день деревья не следует поливать – капли воды оставляют на листьях коричневые пятна. Почему они возникают?
3. Глядя на себя в плоское зеркало, вы видите одну и ту же часть своей фигуры независимо от того, как близко вы стоите от зеркала (попробуйте убедиться в этом). Начертив ход лучей, объясните, почему это происходит?
4. Если ваш собеседник носит очки, то как установить, каким дефектом зрения – близорукостью или дальнозоркостью – он обладает?
5. В комнате, освещенной обычным белым светом, зажгли настольную лампу с красной лампочкой, положили на стол лист белой бумаги и поместили между ним и лампой карандаш. Почему тень от карандаша зеленая?
6. Капля нефти на поверхности воды кажется наиболее яркой у краев, где ее толщина гораздо меньше длины видимого света. Что можно сказать о показателе преломления нефти?
7. Почему оптический микроскоп не позволяет наблюдать молекулы и атомы?
8. Как определить, обладает ли стекло очков (солнцезащитных) поляризующим действием?
9. В чем сходство и различие между интерференцией и дифракцией?
10. Почему в спектроскопии предпочитают использовать дифракционную решетку, а не призму?
11. Для объяснения каких явлений необходимо применить законы физической (волновой) оптики?
 - 1) Образование радуги.
 - 2) Стереokino.
 - 3) Происхождение спектра на компакт-диске.
 - 4) Солнечные и лунные затмения.
 - 5) Получение действительных изображений предмета с помощью линзы.

ЗАЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Теория относительности Эйнштейна должна рассматриваться как великопепное произведение искусства.

Э.Резерфорд

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО)

Специальная теория относительности – новое учение о пространстве и времени. Изучение СТО начнем с понятия инвариантности физического закона. Триста с лишним лет назад И.Ньютон установил справедливость второго закона механики, который носит его имя. Если сейчас я проведу такие же опыты, то получу те же самые результаты, то есть вид и форма закона не изменились за последние 300 лет! Таким образом, законы физики инварианты (не меняют свой вид и форму) относительно сдвигов во времени, сдвигов и повторов в пространстве, преобразований движения (равномерного прямолинейного движения), если пренебречь воздействием на систему внешних факторов. Последний тип инвариантности носит название принципа относительности, а преобразования, с помощью которых можно «пересчитать» событие (законы) из одной движущейся ИСО в другую, называются преобразованиями Галилея. Из них следует классический закон сложения скоростей: $\vec{q} = \vec{q}' + \vec{V}$.

Когда в конце XIX века провели ревизию всех законов физики, то оказалось, что законы механики Ньютона инварианты относительно преобразований Галилея, а законы электродинамики нет. Попытки изменить законы электродинамики ни к чему хорошему не привели, принцип относительности распространялся на все явления, но не верными оказались преобразования Галилея и законы механики Ньютона. Правильными оказались преобразования Лоренца:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Следует отметить, что при малых скоростях ($v \ll c$) преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея и, следовательно, при этих скоростях смело можно применять законы механики Ньютона. Из преобразований Лоренца следует относительность одновременности, расстояний, промежутков времени, релятивистский закон сложения скоростей: $q_x = \frac{q'_x + V_x}{1 + \frac{q'_x V_x}{c^2}}$, а скорость света является предельной скоростью

распространения взаимодействия (сигнала).

При релятивистских скоростях (близких к скорости света в вакууме) необходимо применять только законы СТО, из которых, в частности, следует

зависимость энергии тела от скорости движения: $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Теперь понятно,

почему любое тело с массой покоя $m_0 \neq 0$ не может достичь скорости света в вакууме и только частицы с $m_0 = 0$ (фотоны, нейтрино) движутся с такой скоростью.

Следует отметить, что все выводы СТО многократно подтверждены экспериментально при взаимодействиях элементарных частиц и лежат в основе всех современных теорий, рассматривающих явления при релятивистских скоростях.

ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Эксперименты: опыты Майкельсона - Морли.

Основные понятия: инвариантность физического закона относительно сдвигов во времени, сдвигов и поворотов в пространстве, равномерного прямолинейного движения; преобразования Галилея и Лоренца.

Идеализированный объект: инерциальная система отсчета.

ЯДРО ТЕОРИИ

Постулаты. 1. Принцип относительности. 2. Скорость света одинакова во всех системах отсчета и не зависит от скорости движения источника.

Законы: $\vec{P} = \frac{m_0 \vec{V}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. $E = m \cdot c^2$.

Константы: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

СЛЕДСТВИЯ

Формулы-следствия: $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$; $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$; $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$;

$$E = c\sqrt{P^2 + m_0^2 c^2}.$$

Границы применимости: применять при больших скоростях.

Практические применения: расчеты траекторий частиц в ускорителях, объяснение астрофизических, атомных и ядерных явлений.

ОТВЕТЬ НА ВОПРОСЫ

1. Почему необходимо изучать специальную теорию относительности?
2. Что понимают под инвариантностью физического закона?
3. Относительно, каких преобразований должны быть инвариантны физические законы?
4. Почему инвариантность физических законов относительно преобразований движения называют принципом относительности?
5. Какая система отсчета называется инерциальной? Приведите примеры.
6. Приведите примеры неинерциальных систем отсчета.
7. Запишите прямые (обратные) преобразования Галилея. Для каких целей они предназначены?
8. Пользуясь преобразованиями Галилея, выведите классический закон сложения скоростей.
9. Покажите, что второй закон Ньютона инвариантен относительно преобразований Галилея.
10. Покажите, что законы электродинамики неинвариантны относительно преобразований Галилея.
11. Какие у вас есть возражения против того, что законы электродинамики не верны и их надо изменить так, чтобы они были инвариантны относительно преобразований Галилея?
12. Какие у вас есть возражения против того, что принцип относительности не распространяется на законы электродинамики?
13. Сформулируйте постулаты СТО.
14. Запишите прямые (обратные) преобразования Лоренца, релятивистский закон сложения скоростей.
15. Какую длину называют собственной длиной стержня?
16. Запишите формулу для расчета длины стержня из любой ИСО?
17. Какой промежуток времени называют собственным промежутком времени?
18. Докажите, что промежутки времени относительны.
19. Покажите, что законы электродинамики инвариантны относительно преобразований Лоренца.
20. Можно ли догнать световой луч?

21. Если бы скорость распространения света превышала скорость распространения света в вакууме, то нарушались бы причинно - следственные связи. Почему?
22. Почему невозможно разогнать любое тело до скорости света?
23. Почему фотоны и нейтрино движутся со скоростью света?
24. Почему нельзя говорить, что массы всех электронов одинаковы?
25. Запишите формулу зависимости массы тела от его скорости, формулу связи массы и энергии.
26. Какую энергию называют энергией покоя тела?
27. Какими способами можно выделить энергию покоя тела? Какова эффективность этих способов?
28. В одной из книг Дж. Гамова его герой попадает в мир, где скорость света равна 50 км/ч. Чем еще интересен этот мир?

ВЫБЕРИ ВЕРНЫЙ ОТВЕТ

1. Законы физики инвариантны относительно:
 - 1) сдвигов и поворотов в пространстве;
 - 2) равномерного прямолинейного движения;
 - 3) сдвигов во времени;
 - 4) преобразований Галилея.
2. После того, как выяснили, что законы электродинамики не инвариантны относительно преобразований Галилея, возникло предположение, получившее впоследствии блестящее экспериментальное подтверждение.
 - 1) Законы электродинамики не верны и их надо изменить.
 - 2) Принцип относительности не распространяется на электромагнитные явления.
 - 3) Законы электродинамики верны, принцип относительности на них распространяется, но неверны преобразования Галилея.
 - 4) Законы механики Ньютона верны.
3. Преобразования Лоренца:
 - 1) позволяют «пересчитать» событие из одной ИСО в другую;
 - 2) показывают, что одновременность двух пространственно разделенных событий относительна;
 - 3) не верны при больших скоростях;
 - 4) показывают, что длина абсолютна.
4. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями 0,75 с относительно неподвижного наблюдателя. Какова скорость их сближения?
 - 1) 0,96; 2) с; 3) 0; 4) 1,5 с.
5. Ионизированный атом, вылетев из ускорителя со скоростью 0,89 с, испустил фотон в направлении своего движения. Определите скорость фотона относительно ускорителя.
 - 1) 1,89 с; 2) 0,11 с; 3) 0,99 с 4) с.
6. В верхних слоях атмосферы рождается – мезон, движущийся со скоростью 0,99 с. До распада он успевает пролететь 5 км. Чему равна толщина атмосферы, измеренная в его «собственной» системе координат?
 - 1) 0,7 км; 2) 5 км; 3) 35 км; 4) 0,3 км.

7. Почему невозможно разогнать любое тело до скорости света?
- 1) Скорость света – предельная скорость передачи сигнала.
 - 2) Масса тела становится бесконечно большой при приближении к скорости света.
 - 3) Невозможно приложить силу к быстро движущемуся телу.
 - 4) Невозможно передать энергию быстро движущемуся телу.
8. Какое из уравнений выражает связь массы и энергии?
- 1) $E = m \cdot c^2$; 2) $E = \frac{m\vartheta^2}{2}$; 3) $E = mgh$; 4) $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.
9. Какой из способов освобождения энергии покоя наиболее эффективен?
- 1) Расщепление. 2) Химические реакции. 3) Аннигиляция. 4) Синтез.
10. Мощность общего излучения Солнца $3,83 \cdot 10^{26}$ Вт. На сколько в связи с этим ежедневно уменьшается масса солнца?
- 1) $4,3 \cdot 10^9$ кг; 2) 34,5 т; 3) 3,83 Гт; 4) $9 \cdot 10^{16}$ кг.

**ЗАПОЛНИ ОБОБЩАЮЩУЮ ТАБЛИЦУ
«ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ»
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО)**

1. Основание

- 1.1. Наблюдения
- 1.2. Эксперименты
- 1.3. Основные понятия
- 1.4. Идеализированный объект

2. Ядро теории

- 2.1. Постулаты
- 2.2. Законы
- 2.3. Константы

3. Следствия

- 3.1. Формулы-следствия
- 3.2. Экспериментальная проверка
- 3.3. Границы применимости
- 3.4. Практические применения

Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам теории можно отнести следующие утверждения:

1. Законы СТО справедливы при любых скоростях и вплоть до расстояний 10^{-16} см.
2. Покоящийся в данной ИСО стержень в движущейся вдоль него ИСО имеет длину $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.
3. При релятивистских скоростях зависимость энергии тела от скорости его движения имеет вид: $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

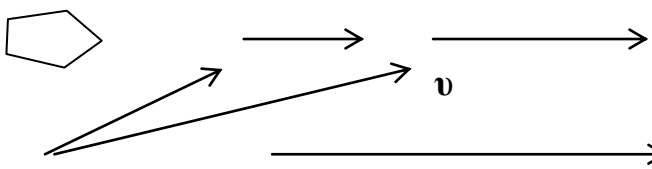
4. Закон инвариантен относительно данных преобразований, если его вид и форма не изменяются при данных преобразованиях.
5. Скорость света в вакууме $c=299792458 \pm 1,1$ м/с.
6. В опытах Майкельсона - Морли не удалось обнаружить мирового эфира.
7. Скорость света в вакууме – предельная скорость распространения сигнала.
8. Инерциальной называется система отсчета, в которой свободное тело сохраняет свою скорость неизменной.
9. Характерное для СТО замедление времени наблюдается при распадах нестабильных элементарных частиц в космических лучах.
10. СТО лежит в основе всех современных теорий, рассматривающих явления при релятивистских скоростях.

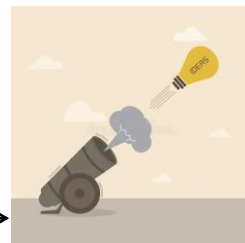
УМЕЙ ПОЛУЧАТЬ ФОРМУЛЫ-СЛЕДСТВИЯ

1. Используя преобразования Галилея, докажите, что законы механики Ньютона инвариантны относительно преобразований Галилея, а законы электродинамики не инвариантны.
2. Используя преобразования Лоренца:
 - 1) выведите релятивистский закон сложения скоростей;
 - 2) докажите, что длина относительна;
 - 3) докажите, что события, одновременные в одной ИСО, уже будут не одновременными в ИСО, движущейся относительно первой;
 - 4) докажите, что промежутки времени относительны;
 - 5) докажите, что при малых скоростях они переходят в преобразования Галилея.
3. Докажите, что второй закон Ньютона не справедлив при больших скоростях.
4. Как преобразуется плотность вещества при переходе из одной инерциальной системы отсчета в инерциальную систему отсчета, движущуюся относительно первой.
5. Из формулы $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ при $v \ll c$ получите формулу $m \approx m_0 + \frac{m_0 v^2}{2c^2}$.
6. Выведите формулу связи энергии с импульсом, импульса с кинетической энергией тела в релятивистском случае.
7. Как выглядела бы теория относительности, если бы скорость света была бесконечно большой?
8. Пользуясь формулой сложения скоростей теории относительности, доказать, что сложение скоростей никогда не приводит к скоростям, большим скорости света.
9. Покажите, что специальная теория относительности ограничивает область применения третьего закона Ньютона, в частности, он не всегда справедлив при взаимодействии тел на расстоянии.

ТАК РЕШАЙ ЗАДАЧИ

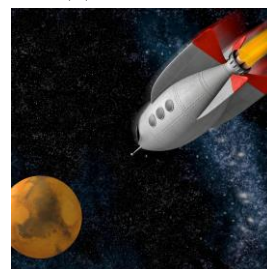
1. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость $0,4$ с. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения α -частицу со скоростью $0,75$ с относительно ускорителя. Найдите скорость частицы относительно ядра.

| | |
|---|--|
| ДАНО: $V=0,4$ с $v=0,75$ с <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> $v'-?$ | ускоритель  |
|---|--|

$$v_x = \frac{v'_x + V_x}{1 + \frac{v'_x V_x}{c^2}} \rightarrow v = \frac{v' + V}{1 + \frac{v'V}{c^2}} \rightarrow v' = \frac{v - V}{1 - \frac{vV}{c^2}} = 0,5 \text{ с.}$$


2. Космический корабль с постоянной скоростью $0,96$ с движется по направлению к центру Земли. Какое расстояние в системе отсчета, связанной с Землей, пройдет корабль за промежуток времени 7 с, отсчитанный по корабельным часам? Вращение Земли и ее орбитальное движение не учитывать.

| | |
|--|---|
| ДАНО: $V=0,96$ с $\tau_0=7$ с <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> $\ell_0-?$ | $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$ $\ell_0 = V\tau = 7200 \text{ км}$ |
|--|---|



3. Какую работу необходимо совершить, чтобы увеличить скорость частицы с массой покоя m_0 от $0,6$ с до $0,8$ с? Сравнить полученный результат со значением, вычисленным по классической формуле.

| | |
|--|---|
| ДАНО: $V_1=0,6$ с $V_2=0,8$ с <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> $A_1-?$ $A_2-?$ | $A_1 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{5}{12} m_0 c^2$ $A_2 = \frac{m_0 v_2^2}{2} - \frac{m_0 v_1^2}{2} = 0,14 m_0 c^2$ $A_1 > A_2$ |
|--|---|

УМЕЙ РЕШАТЬ КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ

1. До XX века считалось, что существует особая светонесущая среда – эфир, который заполняет все пространство. Какими свойствами должна обладать эта среда?
2. Можно ли догнать световой луч?
3. Пусть бегун смотрит на себя в зеркало, держа его перед собой в вытянутой ручке. Если он бежит со скоростью света, то увидит ли он себя в зеркале?

4. Допускает ли СТО существование абсолютно твердых тел, имеющих конечные размеры?
5. Могут ли две точки А и В двигаться в одной системе отсчета по параллельным прямым, а в другой – по пересекающимся?
6. Исходя из принципа относительности, покажите, что максимальная скорость распространения взаимодействия должна быть фундаментальной постоянной?
7. С какой скоростью должен двигаться наблюдатель вдоль гипотенузы равнобедренного треугольника, чтобы он оказался равносторонним?
8. Объясните, почему заряженная частица, летящая параллельно проводнику с током, взаимодействует с ним.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
2. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. – М.: Дрофа, 2002.
3. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе.- М.: Просвещение, 1972.
4. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
5. Д. Джанколи. Физика.- М.: Мир, 1989.
6. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).
7. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
8. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
9. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
10. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
11. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
12. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн.– М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
1. Кондратьев А. С., Ларченкова Л. А, Ляпцев А. В. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: – М.: Издательская фирма «Физико-математическая литература» МАИК «Наука/Интерпериодика», 2012 г.
2. А.А. Найдин. Как научить школьников открывать и применять законы? ж. «Физика в школе», №7, 2012 г.
3. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
4. Славов А.В., Щеглова О.А., Абражевич Э.Б., Чудов В.Л., ФИЗИКА, ЗАДАЧИ, КАЧЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ, ТЕСТЫ. «Издательский дом МЭИ», 2016
5. Физика. 10—11 кл.: Сборник задач и заданий с ответами и решениями. Пособие для учащихся общеобразоват. учреждений / С.М. Козел, В. А.

- Коровин, В. А. Орлов. — М.: Мнемозина, 2001. — 254 с.: ил.
6. Кондратьев А.С., Прияткин Н.А. Современные технологии обучения физике: Учеб. пособие. — СПб.: С.-Петербург. ун-т, 2006.