

Оригинал — *Fysiikka, kevät 2020*.

Авторский перевод и публикация — с разрешения *Ylioppilastutkintolautakunta*.

Национальный экзамен по физике в Финляндии для выпускников гимназий

Весна 2020

Экзамен состоит из 11 заданий, из которых выполняются семь. Задания разделены на три части. В части I находится одно обязательное для всех 20-очковое задание. В части II имеется семь 15-очковых заданий, из которых выполняются четыре. В части III имеется три 20-очковых задания, из которых выполняются два. Максимальная сумма очков за экзамен равна 120. Все приведённые ответы следует обосновывать, если имеется техническая возможность дать обоснование при ответе. Вы можете снабжать ответы рисунками, диаграммами и таблицами и прикреплять соответствующие скриншоты к тексту ответа в любом месте.

Не пишите ничего в месте, отведённом для ответа на то задание, которое не хотите оставлять для оценивания. Внимание! В задании 4 имеется особое указание, как оставить его без ответа.

Часть I: 20-очковое задание

1. Задания с выбором ответа из разных разделов физики [20 очков]

На каждом из видео 1.A — 1.E показано некоторое механическое явление. В пунктах 1.1 — 1.5 выберите правильное явление, соответствующее данному видео. В пунктах 1.6 — 1.10 выберите правильную физическую величину, которая описана в данном пункте. Верный ответ — 2 очка, неверный ответ — 0 очков, нет ответа — 0 очков.

1.1. [2 очка] Посмотрите [видео 1.A](#). *Внимание! На видео нет звука.* Показанное на видео явление — это

- равномерное движение
- равноускоренное движение
- затухающие колебания
- стоячая волна

1.2. [2 очка] Посмотрите [видео 1.B](#). *Внимание! На видео нет звука.* Показанное на видео явление — это

- равномерное движение
- равноускоренное движение
- затухающие колебания
- стоячая волна

1.3. [2 очка] Посмотрите [видео 1.C](#). *Внимание! На видео нет звука.* Показанное на видео явление — это

- равномерное движение
- равноускоренное движение
- затухающие колебания
- стоячая волна

1.4. [2 очка] Посмотрите [видео 1.D](#). *Внимание! На видео нет звука.* Показанное на видео явление — это

- равномерное движение
- равноускоренное движение
- затухающие колебания
- стоячая волна

1.5. [2 очка] Посмотрите [видео 1.E](#). *Внимание! На видео нет звука.* Показанное на видео явление — это

- равномерное движение
- равноускоренное движение
- затухающие колебания
- стоячая волна

1.6. [2 очка] Величина, которая описывает интенсивность источника радиоактивного излучения, — это

- доза излучения
- постоянная распада
- активность
- период полураспада

1.7. [2 очка] Величина, являющаяся мерой взаимодействия, — это

- интенсивность
- скорость
- импульс
- сила

1.8. [2 очка] Величина, которая описывает способность проводника сопротивляться электрическому току, — это

- ёмкость
- сопротивление
- диэлектрическая проницаемость
- потенциал

1.9. [2 очка] Величина, которая описывает способность вещества принимать и отдавать энергию в виде тепла, — это

- плотность
- энтропия
- коэффициент объёмного расширения
- удельная теплоёмкость

1.10. [2 очка] Величина, которая описывает способность частиц и тел производить или ощущать электрическое воздействие, — это

- потенциал
- напряжённость электрического поля
- заряд
- напряжение

Часть II: 15-очковые задания

Выполните четыре задания.

2. Ящик и груз [15 очков]

На [рисунке 2.A](#) изображён расположенный на горизонтальной платформе ящик, к которому с помощью нити прикреплён груз. Между ящиком и платформой имеется трение. Ящик начинает двигаться из состояния покоя и останавливается, когда ударяется о край платформы. Если масса груза мала по сравнению с массой ящика, то ящик остаётся в покое. Нить лёгкая, блок легко приводится в движение. Ситуация [рисунка 2.A](#) смоделирована в [файле 2.B](#).

Меняйте в файле массу m_a ящика и массу m_b груза, дважды кликая по соответствующей ячейке таблицы и вводя новое значение массы (жмите Enter). В файле представлены в таблице пройденный ящиком путь s и скорость v как функции времени.

2.1. [6 очков] Изобразите на рисунке силы, приложенные к ящику и грузу, в ситуации, когда ящик не движется.

2.2. [9 очков] Определите с помощью файла коэффициент трения покоя между ящиком и платформой.

3. Повышение уровня моря [15 очков]

Океаны Земли нагреваются вследствие изменения климата. Это вызывает повышение уровня моря, которое в 2000-х годах составляло примерно 3 миллиметра в год. Одной из причин повышения уровня моря является тепловое расширение воды.

Количество теплоты, поглощаемое в год морями, оценивается примерно в $1,3 \cdot 10^{22}$ Дж. На сколько возрастает в год средняя температура морей? И каково ежегодное изменение уровня моря, вызванное тепловым расширением? Свойства морской воды зависят от давления, температуры и концентрации соли, так что используйте приведённые в таблице средние значения.

Величина	Среднее значение
Площадь поверхности морей	$3,6 \cdot 10^8$ км ²
Глубина морей	3700 м
Плотность морской воды	1030 кг/м ³
Объёмный коэффициент теплового расширения морской воды	$1,37 \cdot 10^{-4}$ 1/К
Удельная теплоёмкость морской воды	3,96 кДж/(кг · К)

4. В тёмной комнате [15 очков]

В тёмной комнате ставят опыты со светом лазера, используя схему [рисунка 4.А](#). На рисунке L — это лазер, G — исследуемый объект. Рассматриваем свет, падающий на экран S. Расстояние от объекта до экрана много больше длины волны используемого света.

В пунктах 4.2 — 4.6 выберите ответ, наилучшим образом подходящий к ситуации. Правильный ответ — 3 очка/2 очка, неверный ответ — 0 очков, нет ответа — 0 очков. Если вы начали отвечать на задание, но всё же не хотите оставить его для оценивания, отметьте в каждом пункте вариант «Нет ответа» и очистите поле ответа 4.1.

4.1. [3 очка] Используем красный свет лазера и в качестве объекта установим сетку. В сетке много очень узких щелей, которые находятся на расстоянии a друг от друга. Тогда на экране появляется картина, изображённая на [рисунке 4.В](#). Каким явлением она вызвана? Обосновывать ответ не требуется.

4.2. [2 очка] Экран отодвигается от сетки на вдвое большее расстояние. Как изменится наблюдаемая на экране картина?

- Красные пятна двигаются ближе друг к другу.
- Красные пятна отодвигаются дальше друг от друга.
- Красные пятна остаются на месте.
- Крайние красные пятна исчезают, но расстояния между пятнами на экране не меняются.
- Нет ответа.

4.3. [2 очка] Вернёмся к исходной ситуации пункта 4.1. После этого отодвигаем лазер от объекта на вдвое большее расстояние. Как изменится наблюдаемая на экране картина?

- Красные пятна двигаются ближе друг к другу.
- Красные пятна отодвигаются дальше друг от друга.
- Красные пятна остаются на месте.

- Крайние красные пятна исчезают, но расстояния между пятнами на экране не меняются.
- Нет ответа.

4.4. [2 очка] Используем тот же свет лазера и те же величины расстояний, что и в пункте 4.1, но в качестве объекта установим пластину, в которой только две очень узких щели. Расстояние между щелями равно a . Как изменится наблюдаемая на экране картина?

- На экране вообще не видно света.
- На экране видно лишь одно красное пятно.
- На экране видны два красных пятна.
- На экране видна картина, аналогичная пункту 4.1.
- Нет ответа.

4.5. [3 очка] Используем тот же свет лазера и те же величины расстояний, что и в пункте 4.1, но в качестве объекта выберем другую сетку, расстояние между соседними щелями которой вдвое меньше расстояния между щелями исходной сетки, то есть равно $\frac{1}{2}a$. Как изменится наблюдаемая на экране картина?

- Красные пятна двигаются ближе друг к другу.
- Красные пятна отодвигаются дальше друг от друга.
- Красные пятна остаются на месте.
- Крайние красные пятна исчезают, но расстояния между пятнами на экране не меняются.
- Нет ответа.

4.6. [3 очка] Используем те же величины расстояний и ту же сетку, что и в пункте 4.1, но красный свет лазера заменим на зелёный свет лазера. Как изменится наблюдаемая на экране картина?

- Пятна двигаются ближе друг к другу.
- Пятна отодвигаются дальше друг от друга.
- Пятна остаются на месте.
- Крайние пятна исчезают, но расстояния между пятнами на экране не меняются.
- Нет ответа.

5. Магнитоэлектрический гальванометр [15 очков]

В основе работы магнитоэлектрического гальванометра лежит действие момента сил, вращающего обмотку прибора в магнитном поле. С помощью гальванометра можно измерять силу тока или напряжение в желаемом диапазоне, подключая параллельно или последовательно с обмоткой подходящий резистор. На [рисунке 5.А](#) и [рисунке 5.В](#) показан гальванометр, используемый в различных измерительных диапазонах, а также подключение соответствующего резистора. Когда прибор показывает максимальное значение, через его обмотку течёт ток 0,1 мА. Сопротивление обмотки равно 360 Ом.

5.1. [8 очков] Каким должно быть сопротивление резистора R_I , чтобы можно было измерять силу тока в диапазоне от 0 до 100 мА? Дайте ответ с точностью до двух значащих цифр.

5.2. [7 очков] Каким должно быть сопротивление резистора R_U , чтобы можно было измерять напряжение в диапазоне от 0 до 1 В? Дайте ответ с точностью до двух значащих цифр.

6. Прыжок без парашюта [15 очков]

*Helsingin Sanomat*¹ опубликовала 10.8.2016 на своём научном сайте новость о прыжке Люка Эйкинса, сделанном без парашюта.

Без парашюта в сетку с высоты 7600 метров

Паращотист Люк Эйкинс совершил в конце июля прыжок без парашюта длительностью менее двух минут в свободном падении. Путь до сетки составил 7620 метров. Эйкинс влетел в сетку размером 30 × 30 метров, натянутую в Сими-Вэлли, Калифорния. Скорость в конце была немногим более 190 километров в час.

В шлеме Эйкинса работала спутниковая навигация, которая направляла его к сетке. Проекторы сетки меняли цвет на красный, если прыгун двигался в неверном направлении, — сообщает журнал *Scientific American*.

Эйкинс мог слегка управлять своим движением во время двухминутного свободного падения — например, положив руки вдоль тела. Непосредственно перед приземлением он перевернулся в полёте на спину, чтобы удариться в сетку спиной. Это смягчило удар.

В свободном падении возникает большое количество энергии движения. Если удариться о землю, кинетическая энергия отражается от земли назад в тело и разрушает его. Сетка, поймавшая Эйкинса, была изготовлена из эластичного полиэтилена. Её плотный материал растянулся соответствующим образом и поглотил энергию движения прыгуна. В углах сетки находились четыре пневматических цилиндра, которые амортизировали удар Эйкинса о сетку.

Источник: *Laskuvarjotta verkkoon 7 600 metristä. Helsingin Sanomat. 10.8.2016.*

Из видео², запечатлевшего прыжок, извлечена зависимость высоты прыгуна от времени ([файл 6.В](#)). Отсчёт времени начался с момента, когда прыгун покинул самолёт. Выполните задания 6.1 и 6.2, полагая массу прыгуна со снаряжением равной 95 кг.

6.1. [8 очков] Постройте график зависимости высоты прыгуна от времени. Чему равна сила сопротивления воздуха, действующая на прыгуна, когда он находится на высоте 3800 метров?

6.2. [7 очков] Аргументированно объясните, какого рода ошибочные утверждения, связанные с энергией, присутствуют в тексте статьи.

¹Самая известная и крупная газета Финляндии. — Прим. пер.

²Вот [полное видео](#). — Прим. пер.

7. Падающий магнитный стержень [15 очков]

Магнитный стержень падает сквозь катушку, как показано на [рисунке 7.А](#). Катушка содержит 500 витков медного провода. В течение времени падения магнита измеряется ток в катушке. Результаты измерений приведены в [файле 7.В](#).

7.1. [7 очков] Постройте график зависимости силы тока в катушке от времени. Почему в катушке течёт ток, пока магнитный стержень падает сквозь катушку?

7.2. [8 очков] Сравните друг с другом величины суммарного заряда, прошедшего через катушку за время первого и второго импульса тока.

8. Рентгеновское излучение [15 очков]

На [рисунке 8.А](#) представлен³ спектр излучения, генерированного рентгеновской трубкой с молибденовым анодом при ускоряющем напряжении 28 кВ.

6.1. [8 очков] Объясните, каким образом в рентгеновской трубке возникает рентгеновское излучение.

6.2. [7 очков] Дифракцию рентгеновских лучей можно использовать для исследования структуры вещества. На чём основан такой метод? Что можно выяснить с помощью дифракции рентгеновских лучей и какого рода вещества можно исследовать таким образом?

Часть III: 20-очковые задания

Выполните два задания.

9. Измерение удельного заряда иона [20 очков]

Дайте объяснение какого-нибудь метода, с помощью которого можно экспериментально определить неизвестный удельный заряд иона, то есть отношение заряда иона к массе. Расскажите, какое оборудование используется и значения каких величин нужно измерить или узнать. Выведите уравнение, с помощью которого удельный заряд иона вычисляется по измеренным величинам. Какие факторы оказывают в процессе эксперимента существенное влияние на надёжность и точность результата?

10. Гравитационные волны и LIGO [20 очков]

В приведённом ниже тексте рассказывается о наблюдении гравитационных волн на экспериментальной установке LIGO. Выполните задания 10.1 — 10.3 с помощью этого текста и приложенного к нему [рисунка 10.В](#).

Гравитационные волны и LIGO

14 сентября 2015 года на экспериментальной установке LIGO (Advanced Laser Interferometer Wave Observatory) в США было осуществлено первое прямое наблюдение гравитационных волн, GW150914. Наблюдение подтвердило даваемое общей теорией относительности Эйнштейна предсказание существования и свойств гравитационных волн, то есть колебаний

³По оси абсцисс — длина волны в нанометрах, по оси ординат — относительная интенсивность. — *Прим. пер.*

пространства-времени. Райнер Вайсс, Барри К. Бэриш и Кип С. Торн получили за это наблюдение в 2017 году Нобелевскую премию по физике.

Ранее были получены лишь косвенные подтверждения гравитационных волн: в 1974 году физики Рассел Алан Халс и Джозеф Хотон Тейлор мл. обнаружили по изменению электромагнитного излучения двойного пульсара, что теряемая системой энергия в точности та же самая, каковую согласно общей теории относительности должны излучать в виде гравитационных волн такого рода нейтронные звёзды, вращающиеся друг вокруг друга. Исследование Халса и Тейлора было удостоено Нобелевской премии по физике в 1993 году.

В основе работы высокочувствительного элемента экспериментального оборудования LIGO лежит метод измерения, использующий интерференцию лазерного света. Гравитационная волна, проходящая через установку, различным образом воздействует на два лазерных луча. Когда лучи накладываются друг на друга, их разность фаз приводит к интерференции, с помощью которой можно определить относительное удлинение⁴, вызываемое гравитационной волной.

На [рисунке 10.В](#) на верхней панели представлено связанное с наблюдением GW150914 относительное удлинение и его связь с движением двух тел при их слиянии⁵. На нижней панели показаны относительная скорость тел и расстояние между телами как функции времени⁶. Расстояние дано в единицах так называемого радиуса Шварцшильда, возникающего при слиянии тела. В единицах радиуса Шварцшильда измеряют размер чёрных дыр: например, у тела, масса которого равна 62 массам Солнца, радиус Шварцшильда составляет примерно 180 км.

Гравитационные волны возникают при ускоренном движении тел. В процессе наблюдения вначале видна осциллирующая часть графика относительного удлинения. Это можно интерпретировать как вращение двух массивных тел вокруг друг друга. Возрастание частоты говорит о том, что тела в процессе вращения сближаются друг с другом. Частота сигнала возрастает значительно, а его амплитуда быстро уменьшается до нуля. Это говорит о том, что вращательное движение прекращается, тела сталкиваются и сливаются воедино.

По результатам измерений определяется расстояние между вращающимися телами (см. рис. 10.В), которое можно сопоставить с размерами известных небесных тел: диаметры типичных звёзд равны 100 000 — 1 000 000 км. Размеры белых карликов — обычно десятки тысяч километров. Нейтронные звёзды — самые маленькие по размеру, их диаметры равны 10 — 20 км. Масса нейтронной звезды может составлять по порядку величины самое большее несколько масс Солнца.

10.1. [5 очков] Что означает сказанное в связи с наблюдением GW150914, что это наблюдение «прямое»? Почему наблюдение 1974 года не является «прямым наблюдением»?

10.2. [8 очков] Когда вращающиеся вокруг друг друга тела сливаются воедино, с гравитационными волнами уходит энергия, равная примерно трём массам Солнца, за время 0,015 секунды. Вычислите мощность гравитационных волн. Мощности излучения какого количества Солнц это соответствует? Мощность излучения Солнца равна $3,9 \cdot 10^{26}$ Вт.

10.3. [7 очков] В результате анализа данных LIGO было получено, что масса тела, появившегося при слиянии, в 62 раза больше массы Солнца. Принимая это во внимание, можно прийти к выводу, что наблюдаемый сигнал GW150914 последовал за столкновением именно чёрных дыр,

⁴плеч интерферометра — *Прим. пер.*

⁵Ось абсцисс — время в секундах, ось ординат — относительное удлинение. Красная кривая — предсказание общей теории относительности. Серая кривая — наблюдаемая в эксперименте. — *Прим. пер.*

⁶Зелёная кривая — относительная скорость чёрных дыр в единицах скорости света (левая ось ординат). Чёрная кривая — расстояние между чёрными дырами в единицах R_S (правая ось ординат). — *Прим. пер.*

а не обычных звёзд или нейтронных звёзд. Каким образом это можно заключить с помощью материала, приведённого в задании?

11. Пароочиститель [20 очков]

Пароочиститель — это устройство, в котором имеется сосуд под давлением и резистор. Вода в сосуде нагревается с помощью резистора, и в сосуде образуется водяной пар. Через насадку пар направляется на очищаемую поверхность. На [рисунке 11.А](#) и [рисунке 11.В](#) дана информация о пароочистителе. На [рисунке 11.С](#) представлена фазовая диаграмма воды⁷. Выполните задания 11.1 — 11.3 с помощью предоставленного материала и собственных знаний.

11.1. [8 очков] На основе предоставленного материала определите, какова температура воды в сосуде пароочистителя, когда устройство готово к использованию.

11.2. [8 очков] Объём сосуда равен 1 л. Сосуд наполняется водопроводной водой, температура которой равна $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$, и резистор-нагреватель подключается к сети. Через какое время очиститель будет готов к использованию?

11.3. [4 очка] Каково эффективное значение тока, протекающего через резистор очистителя, пока нагревается вода?

⁷Ось абсцисс — температура. Ось ординат — давление по логарифмической шкале. Kaasu — газообразная фаза, neste — жидкая фаза, kiinteä — твёрдая фаза. — *Прим. пер.*

ОТВЕТЫ

Оригинал — Hyvän vastauksen piirteitä.

1.1. равноускоренное движение

1.2. стоячая волна

1.3. равномерное движение

1.4. равноускоренное движение

1.5. затухающие колебания

1.6. активность

1.7. сила

1.8. сопротивление

1.9. удельная теплоёмкость

1.10. заряд

2.2. 0,34

3. 0,0024 К; 1,2 мм.

4.1. Дифракция.

4.2. Красные пятна отодвигаются дальше друг от друга.

4.3. Красные пятна остаются на месте.

4.4. На экране видна картина, аналогичная пункту 4.1.

4.5. Пятна отодвигаются дальше друг от друга.

4.6. Пятна двигаются ближе друг к другу.

5.1. 0,36 Ом

5.2. 9,6 кОм

6.1. 930 Н

7.2. Заряды равны по модулю.

10.2. $3,6 \cdot 10^{49}$ Вт; 10^{23} Солнц

11.1. 140 °C

11.2. 312 c

11.3. 7,8 A