



# Республиканская физическая олимпиада 2021 год (Заключительный этап)

## Теоретический тур

### 10 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
3. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. При недостатке бумаги обращайтесь к организаторам!
3. Подписывать рабочие листы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.

Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!

Может, вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Желаем успехов в выполнении данных заданий!

Пакет заданий содержит:

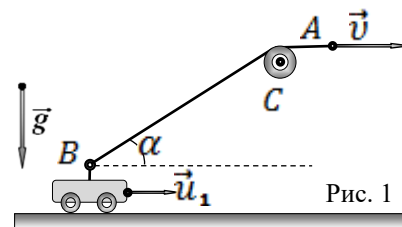
- титульный лист (стр. 1);
- условия 3 теоретических задач (стр. 2-7);

## Задача 1. Привязанная тележка

Небольшую тележку  $B$  необходимо подтянуть слева направо по гладкой горизонтальной поверхности с помощью легкой нерастяжимой нити. При движении тележка не отрывается от горизонтальной поверхности. Три удальца решили сделать это по-разному... Рассмотрим кинематическую схему каждого из них.

### Часть 1. «Высокий блок»

По плану первого удальца нить переброшена через неподвижный блок  $C$  (Рис. 1), расположенный на некоторой высоте от горизонтальной поверхности. Конец  $A$  нити тянут горизонтально с постоянной скоростью  $\vec{v}$  вправо (см. Рис. 1).

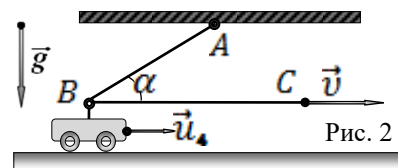


**1.1** Получите выражение для мгновенной скорости  $u_1(\alpha)$  тележки в момент, когда часть  $BC$  нити составляет угол  $\alpha$  с горизонтом, считая скорость  $v$  конца  $A$  нити известной.

**1.2** Используя полученное выражение для  $u_1(\alpha)$ , найдите скорости тележки  $u_2$  на бесконечности ( $\alpha = 0^\circ$ ) и  $u_2$ , когда тележка находится в положении при  $\alpha = 35^\circ$ .

### Часть 2. «Подвижный блок»

По плану второго удальца лёгкая нить  $ABC$  (Рис. 2) закреплена в некоторой точке  $A$  на потолке и перекинута через малый гладкий блок  $B$ , закреплённый на самой тележке. Конец  $C$  нити тянут горизонтально с постоянной скоростью  $\vec{v}$  вправо (см. Рис. 2).

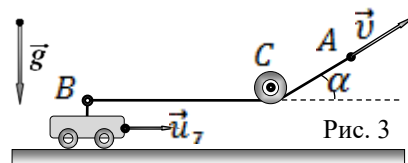


**2.1** Получите выражение для мгновенной скорости  $u_4(\alpha)$  тележки в момент, когда часть  $AB$  нити составляет угол  $\alpha$  с горизонтом, считая скорость  $v$  конца  $C$  нити известной.

**2.2** Используя полученное выражение для  $u_4(\alpha)$ , найдите скорости тележки  $u_5$  на бесконечности ( $\alpha = 0^\circ$ ) и  $u_6$ , когда тележка находится в положении при  $\alpha = 35^\circ$ .

### Часть 3. «Низкий блок».

По плану третьего удальца неподвижный блок  $C$  (Рис. 3) расположен так, что участок  $BC$  нити практически горизонтален. Конец  $A$  нити тянут под постоянным углом  $\alpha$  к горизонту (см. Рис. 3) с постоянной скоростью  $\vec{v}$ .



**3.1** Получите выражение для мгновенной скорости  $u_7(\alpha)$  тележки, считая скорость  $v$  конца  $A$  нити известной.

## Задача 2. Картезианский водолаз.

Картезианский водолаз – механическая игрушка, основанная на изменении силы Архимеда при увеличении внешнего давления. Первое описание водолаза было дано итальянским учёным Рафаэлло Маджотти в 1648 году. Его водолазы, а он называл их «флакончики», плавали в высоких цилиндрических сосудах, избыточное давление в которых создавалось закрывающей их ладонью или, если сосуд достаточно узок, большим пальцем.

В скором времени игрушка стала популярной. С начала XVIII века эта игрушка стала называться Декартов или Картезианский (по-латыни Декарт произносится как Картезий) водолаз. а также «Картезианский дьявол», «Поплавок Декарта».

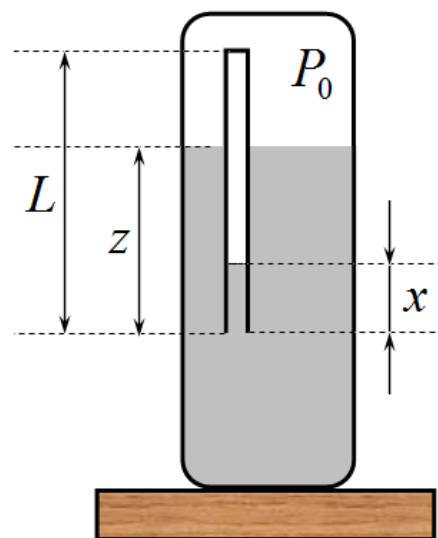
Не смотря на почти четырех вековую историю, строгое описание поведение этого поплавка вызывает затруднение у современных «олимпиадников».

Рассмотрим тонкостенную трубку, закрытую с одного конца и открытую с другого (можно назвать ее пробирка), которая помещается в сосуд с водой открытым концом вниз. Будем считать, что центр тяжести трубки смещен к открытому краю, поэтому трубка в сосуде всегда располагается вертикально. Температура в системе остается постоянной.

Будем считать, что все параметры установки заданы: длина трубки  $L = 10\text{ см}$ , площадь ее поперечного сечения  $s$ , плотность воды  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , ускорение свободного падения  $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ , давление воздуха в сосуде  $P_0$  (оно может изменяться).

Обозначим:  $z$  - глубина погружения трубки по ее нижнему краю;  $x$  - высота столбика воды в трубке.

Давление воздуха будем измерять в единицах водяного столба, в этом случае гидростатическое давление воды просто равно разности высот (давление и длина измеряются в одних единицах)



### Часть 1. Вынужденное погружение.

В данной части задачи будем считать, что давление воздуха в сосуде постоянно и равно  $P_0$ . Пустую пробирку аккуратно опускают открытым концом в воду. При этом она свободно плавает на поверхности воды, погрузившись на глубину  $z_0 = \eta L$  (где  $\eta$  - известный безразмерный коэффициент). Затем пробирку удерживают рукой на некоторой глубине  $z$ , которая может быть как меньше, так и больше глубины пробирки.

1.1 Найдите зависимость высоты столбика воды в трубке  $x$  от глубины погружения  $z$ . Постройте схематический график полученной зависимости.

1.2 Найдите зависимость силы Архимеда, действующей на трубку, от глубины погружения  $z$ . Постройте схематический график полученной зависимости.

1.3 Найдите максимальное значение силы Архимеда, укажите, при каком значении  $z$  оно реализуется.

1.4 Выразите силу Архимеда, действующую на трубку, через давление воздуха в трубке  $P$  и глубину ее погружения  $z$ .

1.5 Получите строгое уравнение, позволяющее получить значение глубины  $z_1$ , на которую надо погрузить трубку, чтобы она утонула и больше самопроизвольно не всплывала. Рассчитайте численное значение этой глубины при нормальном атмосферном давлении  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и  $\eta = 0,80$ .

**Часть 2. Трубка в закрытом сосуде.**

Пробирку погрузили в воду, как описано в части 1. Она плавает, погрузившись в воду на глубину  $z_0 = 0,80L$  при давлении воздуха в сосуде  $P_0$ . Сосуд закрывают и начинают плавно изменять давление воздуха в нем.

2.1 При каком давлении воздуха  $P$ , пробирка начнет тонуть? Получите строгое уравнение, позволяющее найти эту величину. Рассчитайте численное значение этой величины при  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и  $\eta = 0,80$ .

**Часть 3. Конструкторская.**

3.1 Предложите простой вариант рассмотренной игрушки, в котором водолаза можно заставить погружаться легким нажатием пальца. (конечно, самого водолаза трогать нельзя). Укажите примерные численные характеристики вашей игрушки.

### Задача 3. Амперметр, вольтметр, омметр и пр.

В настоящее время большинство электроизмерительных приборов – электронные. Принципы их работы таинственны и не всегда понятны (тем более, что их производители часто держат эти принципы в тайне).

«Старые добрые» электромеханические измерительные приборы могут использоваться до настоящего времени, их работа основана на простых физических принципах. Кроме того, некоторые из них до настоящего времени имеют существенные преимущества перед электронными. С одним из таких приборов вам предстоит познакомиться в данной задаче.

#### Часть 1. Приборы магнитоэлектрической системы.

Принцип действия такого прибора основан на вращении рамки с током в постоянном магнитном поле. Ось рамки соединена с пружиной и стрелкой по отклонению стрелки можно судить о силе протекающего через рамку тока<sup>1</sup>.

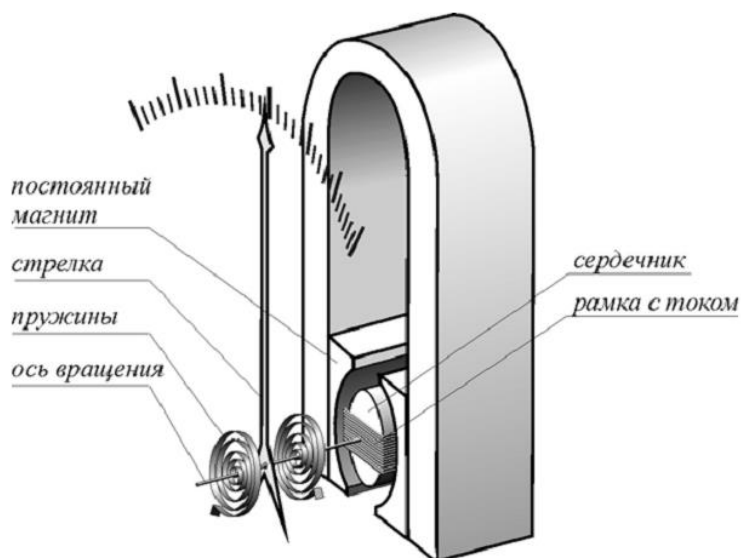
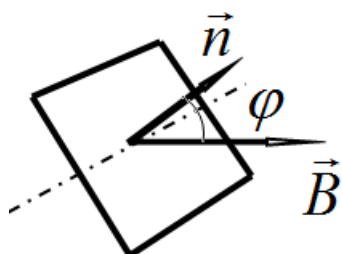


Рис. 2. Устройство прибора магнитоэлектрической системы.



На рамку с током в однородном магнитном поле действует момент силы равный

$$M = IBS \sin \varphi,$$

где  $I$  - сила тока в рамке.  $S$  - ее площадь,  $B$  - индукция магнитного поля,  $\varphi$  - угол между вектором индукции поля и нормалью к рамке.

1.1 При какой ориентации рамки, задаваемой углом  $\varphi_0$ , в положении равновесия при отсутствии тока, прибор будет работать в режиме близком к линейному, т.е. угол отклонения стрелки от положения равновесия будет пропорционален силе протекающего тока?

Основными характеристиками этого прибора (далее будем называть его гальванометр) являются: электрическое сопротивление рамки  $r$ , максимальная допустимая сила тока через рамку  $I_{\max}$ , соответствующая отклонению стрелки на всю шкалу, минимальное регистрируемое значение силы тока  $I_{\min}$ . Считайте эти величины известными.

Далее вам предстоит сконструировать ряд приборов на основе описанного гальванометра. В вашем распоряжении имеются резисторы, конденсаторы, источники тока любых номиналов.

<sup>1</sup> Рисунки скачаны из Интернета, поэтому на их нумерацию обращать внимание не следует.  
10 класс. Теоретический тур. Вариант 1.

Также следует стремиться к тому, чтобы сконструированный вами прибор работал в режиме, близком к линейному, т.е. чтобы сила тока через гальванометр была пропорциональная измеряемой величине.

1.2 Предложите схему вольтметра на основе гальванометра и схему его подключения к измеряемой цепи. Укажите характеристики использованных вами дополнительных элементов. Приведите формулы, по которым можно рассчитать измеряемое напряжение по измеренной силе тока через гальванометр. Укажите диапазон измерения напряжений.

1.3 Предложите схему омметра на основе гальванометра. Укажите характеристики использованных вами дополнительных элементов. Приведите формулы, по которым можно рассчитать измеряемое сопротивление по измеренной силе тока через гальванометр. Укажите диапазон измерения сопротивлений.

## Часть 2. Электростатический вольтметр.

Принцип действия электростатического вольтметра основан на втягивании подвижного электрода в зазор между пластинами неподвижного электрода, когда электроды подключаются к источнику измеряемого напряжения.

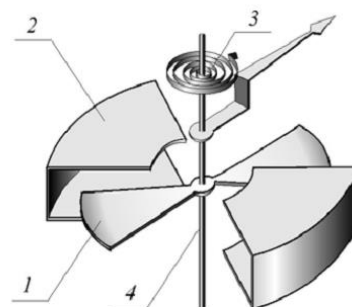
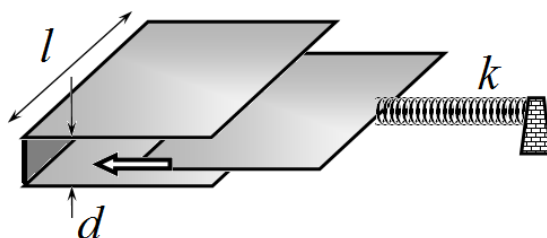


Рис. 5. Конструкция электростатического вольтметра: 1 – подвижный электрод, 2 – неподвижный электрод, 3 – пружина, 4 – ось вращения.

Конструкции таких приборов могут существенно различаться. Поэтому для описания их работы рассмотрим упрощенную модель. Неподвижный электрод представляет собой две соединенные между собой параллельные прямоугольные проводящие пластины со стороной длины  $l$ , находящиеся на малом расстоянии  $d$  друг от друга. Подвижный электрод представляет такую же пластину, способную вдвигаться в зазор между пластинами неподвижного электрода, оставаясь параллельным им. Эта пластина соединена с неподвижным упором с помощью пружины жесткости  $k$ . Измеряемое напряжение  $U_0$  подается на электроды. При этом измеряется смещение подвижной пластины.



2.1 На электроды подано постоянное напряжение  $U_0$ . Найдите силу, которая действует подвижную пластину со стороны электрического поля в зазоре между электродами.

При расчете пренебрегайте краевыми эффектами, т.е. считайте электрическое поле однородным и существующим только в области перекрытия электродов.

Напоминаем, что для расчета силы можно применить формулу «из механики»:

$$F = -\frac{\Delta W}{\Delta x},$$

где  $\Delta W$  - изменение энергии системы при смещении пластины на расстояние  $\Delta x$ . Обращаем ваше внимание: для того, чтобы пластина втягивалась внутрь зазора, необходимо чтобы при этом энергия системы уменьшалась!

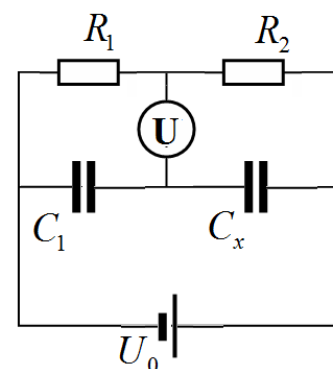
2.2 Найдите зависимость смещения подвижной пластины относительно положения равновесия в зависимости от приложенного напряжения.

2.3 Если полученная зависимость нелинейная, предложите способ ее линеаризовать, т.е. добиться того, чтобы смещение пластины было приблизительно пропорционально предложенному напряжению.

### Часть 3. «Фарадометр»

Электростатический конденсатор можно использовать для измерения емкости конденсатора.

Рассмотрите мостовую схему, приведенную на рисунке. Считайте, что значения сопротивлений и емкостей, напряжение источника известны.



3.1 Что покажет вольтметр магнитоэлектрической системы, если его включить в эту цепь?

3.2 Рассчитайте показания электростатического вольтметра, включенного в эту цепь.

Эта схема позволяет реализовать «нулевой» метод балансировки: изменяя сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ , можно добиться того, что напряжение на вольтметре станет равным нулю.

3.3 При каком соотношении между сопротивлениями резисторов и емкостями конденсаторов напряжение на электростатическом вольтметре будет равно нулю?