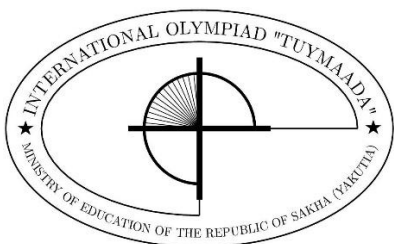
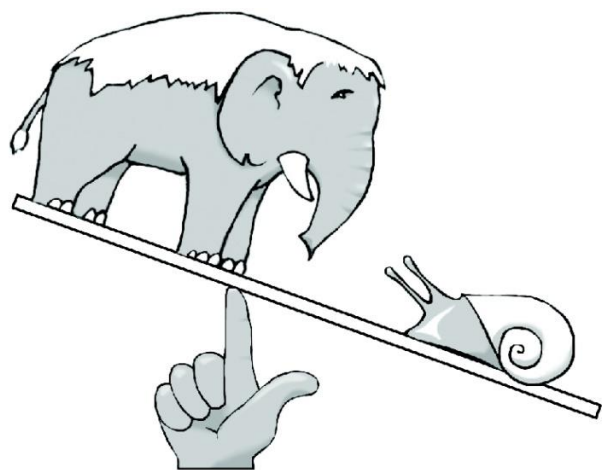


Министерство образования Республики Саха (Якутия)
Малая академия наук Республики Саха (Якутия)
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

XXXII Международная олимпиада «Туймаада»



Физика
Экспериментальный тур
Методическое пособие



Якутск, 2-10 июля, 2025 г.

*Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
Министерства образования Республики Саха (Якутия)
и Северо-Восточного федерального университета им. М.К.
Аммосова.*

E-mail: neustr@mail.ru

Авторы задач

Младшая лига

1. Ноговицын П.И.
2. Готовцев Р.М.

Старшая лига

1. Ноговицын П.И.
2. Дьяконов Р.Г.

Общая редакция — Неустроев Е.П.
Оформление и вёрстка — Неустроев Е.П.
Коррекция — Гуденко А.В., Алексеев С.Н., Неустроев Е.П.
Ответственный за комплект задач — Неустроев Е.П..
Подготовка экспериментальных установок — Ноговицын П.И.,
Готовцев Р.М., Дьяконов Р.Г.

© Авторский коллектив
Подписано в печать 05.07.2025 в 16:50.
677016, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

XXVI Международная олимпиада «Туймаада»

Ежегодно в июле в столице Республики Саха (Якутия) — городе Якутск — проходит Международная олимпиада школьников «Туймаада» по физике, математике, информатике и химии. Олимпиаду организует Министерство образования РС (Я), Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова и Малая академия наук РС (Я). В разные годы в олимпиаде принимали участие школьники из Азербайджана, Бельгии, Болгарии, Германии, Казахстана, Китая, Кыргызстана, Мексики, Монголии, Румынии, США, Таиланда, Турции, Франции, Южной Кореи и, конечно, из разных регионов России, включая Москву, Санкт-Петербург, Челябинск и другие города. Также в «Туймааде» регулярно участвуют члены сборной России и призёры заключительного этапа Всероссийских олимпиад. Согласно действующему положению олимпиада по физике включает в себя две лиги: старшую и младшую. В старшей лиге принимают участие учащиеся выпускного и предвыпускного классов, а в младшей — все остальные школьники. Задачи старшей лиги по программе и сложности соответствуют Международной физической олимпиаде, а задачи младшей лиги — 10 классу Всероссийской олимпиады. В каждой лиге проводятся два тура: теоретический и экспериментальный.

XXVI International olympiad "Tuymaada"

Every year in July in the capital of the Republic of Sakha (Yakutia), the city Yakutsk, the International School Physics, Mathematics, Informatics and Chemistry Olympiad «Tuymaada» takes place. The Olympiad is organized by the Republic Sakha's (Yakutia) Department of Education, North-Eastern Federal University n.a. M.K. Ammosov and Small Academy of Sciences on the base of the physico-mathematical forum «Lensky District». In different years students from Azerbaijan, Belgium, Bulgaria, China, France, Germany, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Mexico, Mongolia, Romania, South Korea, Thailand, Turkey, the USA and, of course, from different regions of Russia, including Moscow, Saint-Petersburg, Chelyabinsk and other cities, took part in the Olympiad. Also members of Russian national team and prizewinners of final stage of All-Russian Olympiads regularly participate in «Tuymaada». According to current regulations, Physics Olympiad includes two leagues: senior league and junior league. Students of graduation and pre-graduation classes participate in senior league, all the other school students — in junior one. Senior league problems correspond in program and difficulty to those of International Physics Olympiad, junior league problems — to those of 10th class of All-Russian Olympiad. In each league two rounds are held: theoretical one and experimental one.

Младшая лига**Задача №1. Мыльный пузырь**

В данной задаче не требуется расчет погрешностей.

Принадлежности для эксперимента: ламинированная бумага формата А4 с нанесенной шкалой, мыльный раствор, трубочка, ножницы, секундомер, линейка, миллиметровая бумага для построения графиков.

Время T , за которое сдувается мыльный пузырь радиуса R на поверхности ламинированной бумаги через трубочку длиной L , описывается уравнением:

$$T = A * L^{\alpha} R^{\beta},$$

где α и β целочисленные коэффициенты, A - постоянная.

Определите коэффициенты α и β , используя выданное вам оборудование.

Задача №2. Пластилиновый кекс

В данной задаче не требуется расчет погрешностей

Принадлежности для эксперимента: 2 шприца 20 на мл, один из которых частично заполненный пластилином с неизвестным количеством металлических гаек внутри, брусок пластилина, 7-8 гаек, линейка, ученическая деревянная длиной 41 см, сосуд с водой, нить.

Задание: определите количество гаек в шприце с пластилином («пластилиновый кекс»).

Категорически запрещается ковыряться в «пластилиновом кексе»!

Старшая лига

Задача №1. Мыльный пузырь

В данной задаче не требуется расчет погрешностей

Принадлежности для эксперимента: ламинированная бумага формата А4 с нанесенной шкалой, мыльный раствор, трубочка, ножницы, секундомер, линейка, миллиметровая бумага для построения графиков.

Время T , за которое сдувается мыльный пузырь радиуса R на поверхности ламинированной бумаги через трубочку длиной L , описывается уравнением:

$$T = A * L^{\alpha} R^{\beta} S^{\gamma},$$

где α , β и γ - целочисленные коэффициенты, S – площадь сечения трубки, A - постоянная.

Определите коэффициенты α , β и γ , используя выданное вам оборудование.

Принадлежности для эксперимента: пластина, два магнита, линейка, секундомер, пластилин, стержень, маркер.

Задания:

1. Измерьте период малых колебаний пластины относительно оси, проходящей через отверстие перпендикулярно плоскости пластины, оцените погрешность.
2. Определите массу пластины наиболее точным методом и оцените её погрешность.
3. Определите момент инерции пластины относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости пластине, и его погрешность.
4. Рассчитайте минимальный период малых колебаний пластины относительно оси, перпендикулярной пластине. При каком условии достигается этот минимум?

Ускорение свободного падения $g=9.8 \text{ м/с}^2$.

Подсказка: Момент инерции любого тела относительно некоторой оси может быть представлен в виде $I=mR^2$, где m — масса тела, R — радиус инерции.

Задача №2. Пластина

Возможные решения

Младшая лига

Задача №1. «Мыльный пузырь»

Выдувая пузырь на листок по границе пузыря, измеряется ее радиус. Чтобы границы пузыря не «прилипали» к поверхности листка наносится тонкий слой мыльного раствора. Сдувание пузыря производится через ту же трубочку, через которой выдували пузырь.

Чтобы температура выходящего из пузыря воздуха была такой же, как и у окружающего воздуха следует подождать некоторой время перед тем, как дать пузырю сдуться. Секундомером измеряется время (T), за которое пузырь сдувается. В таблице 1 приведены результаты измерения для 7 разных радиусов пузыря (R).

Таблица 1

№	R , см	Время сдутия, с	$\ln R$	$\ln T$
1	9	107,9	2,20	4,68
2	8	72	2,08	4,28
3	7	46	1,95	3,83
4	6	23,1	1,79	3,14
5	5	12	1,61	2,48
6	4	4,8	1,39	1,57
7	3	1,77	1,10	0,57

Зависимость $T(R)$ показана на рисунке 1. Для того чтобы найти показатели степеней необходимо функцию пролинеаризовать, т.е. построить зависимость в логарифмическом масштабе (рис.2). Из тангенса угла наклона зависимости находится коэффициент $\alpha=1$.

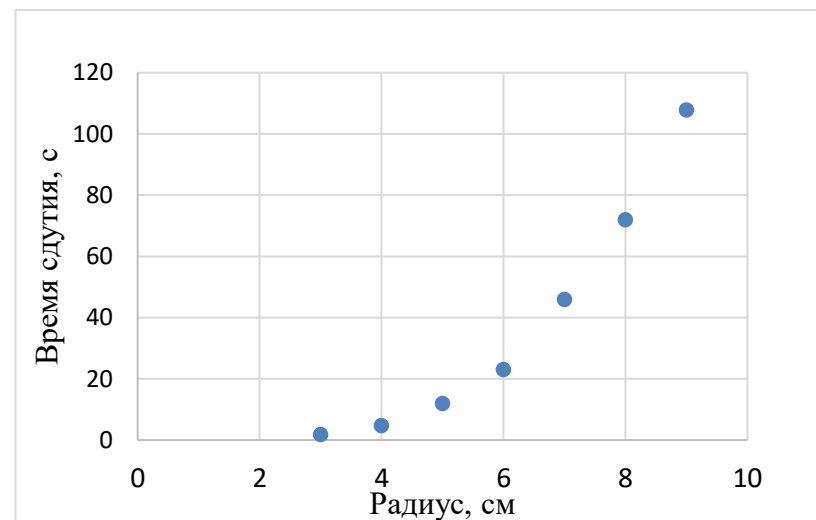


Рис.1 Зависимость радиуса пузыря от времени сдутия.

Рассмотрим зависимость от длины трубочки. Для этого выдуваются пузыри одинакового размера на ламинированный листок. Длину трубочки L можно менять, отрезая трубочку ножницами. Полученные данные занесены в таблицу 2 измерений и на рисунке 3 представлен график. После линеаризации зависимости находится второй целочисленный коэффициент $\beta = 4$.

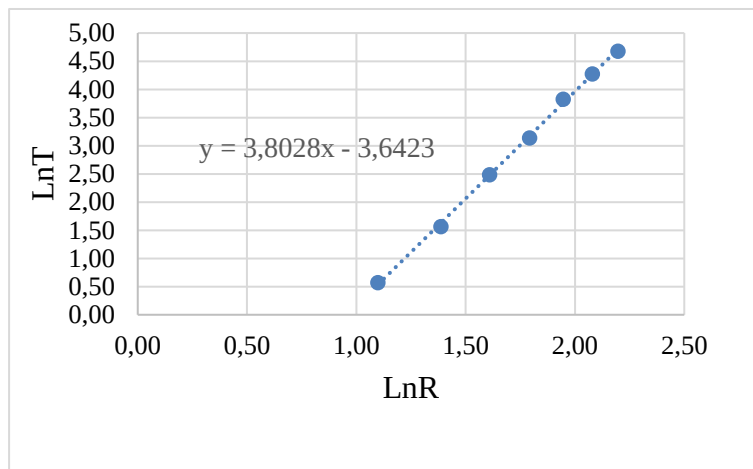


Рис.2. Зависимость радиуса пузыря от времени сдутия в логарифмическом масштабе.

Таблица 2.

№	L, см	T, с	$\ln L$	$\ln T$
1	23	36,2	3,14	3,59
2	21	33,5	3,04	3,51
3	19	28,5	2,94	3,35
4	17	27,2	2,83	3,30
5	15	24,7	2,71	3,21
6	13	24,2	2,56	3,19
7	11	21,8	2,40	3,08

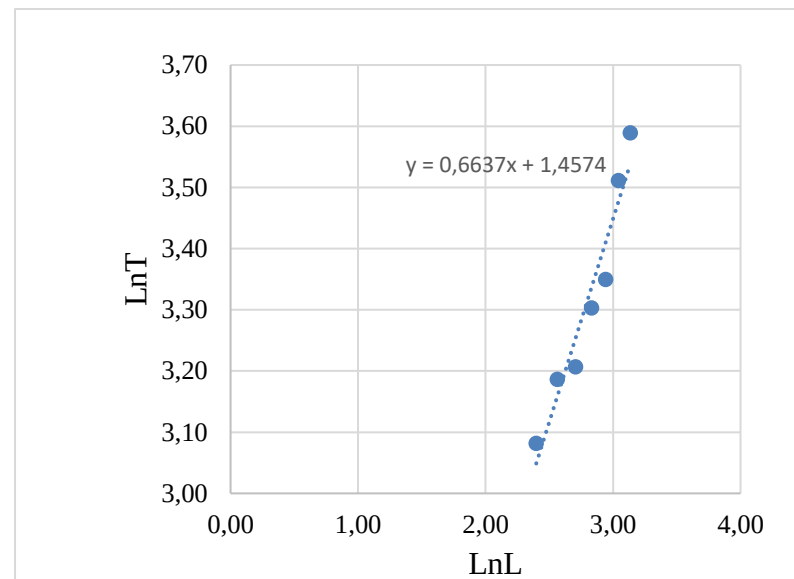


Рис.3. Зависимость времени сдувания от длины трубки.

Задача №2. Пластилиновый кекс**Возможное решение:**

Для выполнения задания нужно воспользоваться линейкой как рычагом и эталоном массы, а второй (пустой) шприц использовать для измерения объёма тел.

Пусть m и L – масса и длина линейки соответственно, а M – масса шприца с пластилином и гайками. К одному концу при помощи нити подвесим шприц с пластилином и гайками и уравновесим линейку со шприцем на ручке как опоре (можно на краю стола) и измерим длину l_1 части линейки от опоры (края стола) до конца линейки с подвешенным шприцем. С учётом того, что линейка однородна и её центр масс находится на её середине, составим условие равновесия данной конструкции:

$$Mgl_1 = mg\left(\frac{L}{2} - l_1\right)$$

и получим выражение для массы шприца с пластилином со впечатанными гайками:

$$M = \frac{m(L - 2l_1)}{2l_1}. \quad (1)$$

Из части пластилинового бруска слепим цилиндр (можно как сосиску, форма неважна) так, чтобы он свободно входил в шприц и описанным выше способом измерим его массу $m_{\text{пл}}$:

$$m_{\text{пл}} = \frac{m(L - 2l_2)}{2l_2}. \quad (2)$$

Аналогично измерим массы шприца $m_{\text{ш}}$ и гайки $m_{\text{г}}$:

$$m_{\text{ш}} = \frac{m(L - 2l_3)}{2l_3}, \quad (3)$$

$$m_{\text{г}} = \frac{m(L - 2l_4)}{2l_4}. \quad (4)$$

Далее приступим к измерению объёмов. Для этого сначала запечатаем отверстие шприца пластилином и воспользуемся им как измерительным цилиндром. Для более точного измерения объёма одной гайки рекомендуется использовать несколько гаек.

Плотность пластилина выразим как:

$$\rho_{\text{пл}} = \frac{m_{\text{пл}}}{V_{\text{пл}}} = \frac{m(L - 2l_2)}{2l_2 V_{\text{пл}}}. \quad (5)$$

По шкале шприца определим суммарный объём V пластилина и впечатанных гаек и выразим его как сумму объёмов пластилина $V_{\text{пл1}}$ и гаек:

$$V = V_{\text{пл1}} + NV_{\text{г}} = \frac{M - m_{\text{ш}} - Nm_{\text{г}}}{\rho_{\text{пл}}} + NV_{\text{г}}. \quad (6)$$

Преобразуем выражение (6) для вычисления количества гаек:

$$N = \frac{M - m_{\text{ш}} - \rho_{\text{пл}}V}{m_{\text{г}} - \rho_{\text{пл}}V_{\text{г}}}$$

и подставив в полученную формулу выражения (1) – (5) получаем окончательную формулу для вычисления количества впечатанных в пластилин гаек:

$$N = \frac{\frac{L}{l_1} - \frac{L}{l_3} - \left(\frac{L}{l_2} - 2\right) \frac{V}{V_{\text{пл}}}}{\frac{L}{l_4} - 2 - \left(\frac{L}{l_2} - 2\right) \frac{V_{\text{г}}}{V_{\text{пл}}}}. \quad (7)$$

Старшая лига
Задача №1. «Мыльный пузырь»

Коэффициенты α и β находятся также, как в решении задачи №1 младшей лиги.

Нахождение коэффициента γ .

Для этого рассматривается зависимость от площади сечение трубочки. Следует выдувать пузыри одинаковой формы и равного объема на ламинированный листок. Сечение трубочки можно менять, добавляя новые трубочки при сдувании. Полученные данные занесены в таблицу 3 измерений и на рисунке 1 представлен график зависимости $\ln T$ от $\ln S$. После линеаризации зависимости находится целочисленный коэффициент $\gamma = -2$.

Таблица 3

№	Количество трубочек выдувания, N.	Время сдутия, с	$\ln N$	$\ln T$
1	1	81,5	0,00	4,40
2	2	51,6	0,69	3,94
3	3	10,2	1,10	2,32
4	4	4,5	1,39	1,50

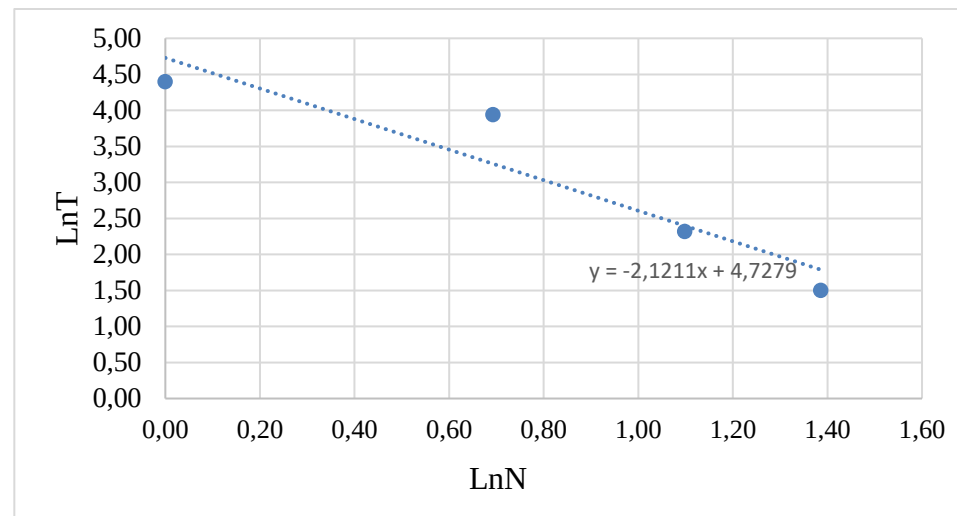


Рис.3 Зависимость скорости сдутия от площади сечения.

Задача №2. Пластина

1.Определение периода колебаний. $n = 20$ колебаний

№	1	2	3	4	5	6	7	Ср.
$t_1, \text{с}$	24,00	24,06	24,06	24,10	24,13	23,94	24,07	24,05
$\Delta t_1, \text{с}$	0,19							
$T_1 = t_1/n, \text{с}$	1,20							
ΔT_1	0,03							

2. 1-ый способ определения массы пластины:

Сначала находите центр массы пластины различными методами, измеряете расстояние d от точки опоры до центра, потом закрепляете два магнита к этому центру. Период системы изменяется согласно:

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I_{0M} + (M + M_M)d^2}{(M + M_M)gd}} = \frac{t_2}{n},$$

I_0 - момент инерции пластины относительно центра масс,

$I_{0M} = \frac{M_M(R_1^2 + R_2^2)}{2}$ - момент инерции магнитов относительно центра

магнита,

M - масса пластины,

M_M - общая масса магнитов.

№	1	2	3	4	5	6	7	Ср.
$t_2, \text{с}$	23,31	23,34	23,38	23,44	23,48	23,40	23,41	23,38
$\Delta t_2, \text{с}$	0,17							
$d \pm \Delta d, \text{см}$	28,2±0,1							
$R_2 \pm \Delta R_2, \text{см}$	3,05±0,01							
$R_1 \pm \Delta R_1, \text{см}$	1,2±0,01							
$M_M \pm \Delta M_M, \text{г}$	195,2±0,5							

$$M = \frac{4M_M \pi^2 n^2 \left(\frac{g d t_2^2}{4\pi^2 n^2} - d^2 - \frac{R_1^2 + R_2^2}{2} \right)}{g d (t_1^2 - t_2^2)} = 551 \text{ г},$$

$$\varepsilon_M = \varepsilon_{M_M} + 2\varepsilon_{t_2} + 2\varepsilon_{t_1} + 2\varepsilon_d + 2\varepsilon_{R_2} + 2\varepsilon_{R_1} = 0,06,$$

$$\Delta M = \varepsilon_M M = 34 \text{ г},$$

2-ой способ:

Используя правило моментов, находите расстояния l_1 от центра пластины до опоры и l_2 от опоры до центра магнитов.

№	1	2	3	4	5	6	7	Ср.
$l_1, \text{см}$	7,6	7,3	7,4	7,8	7,6	7,7	7,5	7,6
$l_2, \text{см}$	20,3	20,6	20,5	20,1	20,4	20,2	20,4	20,3
$\Delta l_1, \text{см}$	0,3							
$\Delta l_2, \text{см}$	0,3							

$$M = M_M \frac{l_2}{l_1} = 521 \text{ г},$$

$$\varepsilon_M = \varepsilon_{M_M} + \varepsilon_{l_1} + \varepsilon_{l_2} = 0,06,$$

$$\Delta M = \varepsilon_M M = 30 \text{ г}.$$

3. Из формулы периода следует:

$$I_0 = M \left(\frac{g d t_1^2}{4\pi^2 n^2} - d^2 \right) = 119570 \text{ г} \cdot \text{см}^2,$$

$$\varepsilon_{I_0} = \varepsilon_M = 0,06,$$

$$\Delta I_0 = 7174 \text{ г} \cdot \text{см}^2.$$

4. Минимальный период достигает, когда ось вращения находится на

расстоянии $d = \sqrt{\frac{I_0}{M}} = 14,7 \text{ см}$ от центра масс пластины.

$$T_{\min} = 2\pi \sqrt{\frac{2}{g} \sqrt{\frac{I_0}{M}}} = 1,09 \text{ с}.$$