

Исследовательские работы школьников по физике: фронтальность и глубина

*Рыжиков Сергей Борисович
доктор педагогических наук
доцент физического ф-та МГУ
phys-school@rambler.ru
2018*

Рыжиков Сергей Борисович

- 1981 – наст. вр. – участие в поведении Московской городской олимпиады по физике (с 2001 – секретарь оргкомитета)
- 1991 – наст. вр. – Директор Вечерней физической школы при физическом ф-те МГУ
- 1999 – 2009 – руководитель команды г. Москвы на Всероссийской олимпиаде по физике
- 2004 – наст. вр. – учитель физики в лицее «Вторая школа» (с 2009 – учитель Высшей категории)
- 2016 – наст. вр. – преподаватель в Университетской гимназии

Курс повышения квалификации

**Развитие исследовательских
способностей одаренных школьников
72 часа**

Всего публикаций по теме курса – 104

Образовательные ресурсы

Видеозаписи лекций с физическими демонстрациями

<http://fpff.ru/pupils/demonstrations>

<http://elementy.ru>

- Образовательный сайт МИОО

<http://phys.olymp.mioo.ru>

«Физика 7-9», часть 2,
изд. «Новый диск»



Энциклопедии

Рыжиков С.Б., Рыжикова Ю.В.

1. Энергия и движение

2. Загадки оптики

Изд. ОЛМА медиа групп

2014 - 2015

www.olmamedia.ru

[/authors/13728/](http://www.olmamedia.ru/authors/13728/)



Литература

Материал доклада изложен в диссертации
и в монографиях 2012 – 2013;

Доступны на сайте:

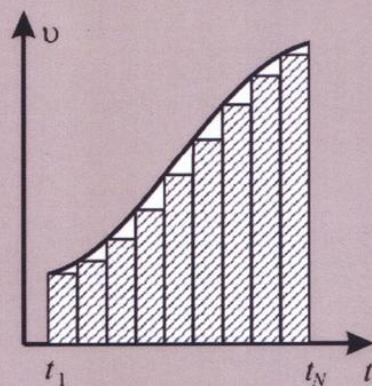
<http://phys.msu.ru/rus/entrants/courses/vfms/>

Материал доклада изложен в монографиях 2012 – 2013



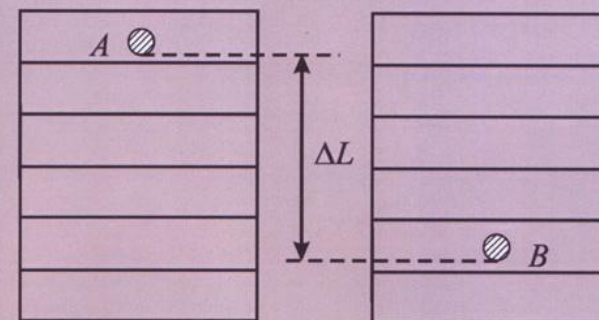
Рыжиков С. Б.

**Развитие исследовательских
компетенций школьников
при выполнении
исследовательских работ
по физике с использованием
численного моделирования**



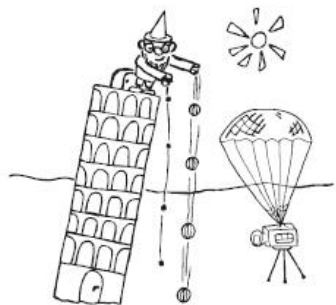
Рыжиков С. Б.

**Развитие исследовательских
способностей одаренных
школьников при выполнении
исследовательских работ
по физике с проведением
экспериментов на базе фото-
и видео техники**



С. Б. Рыжиков

Классический опыт Галилея
в век цифровой техники:



численное моделирование и
лабораторный эксперимент

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких
занимательных задач механики



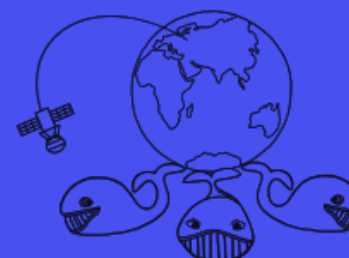
Мо

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел математик и компьютерных технологий

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких
занимательных задач механики



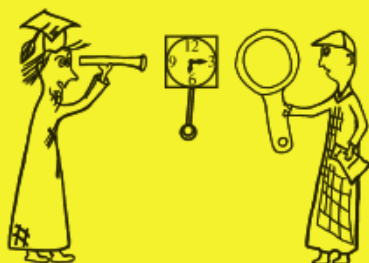
Мо

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел математик и компьютерных технологий

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких
занимательных задач механики



Москва, 2009

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел математик и компьютерных технологий

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких занимательных
задач механики



Москва, 2009

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел математик и компьютерных технологий

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких занимательных
задач механики



Москва, 2010

Учебные пособия 2007 - 2012

Материал доклада изложен в трудах *Рыжикова С.Б.*

Учебные пособия

Классический опыт Галилея в век цифровой техники. М. МЦНМО. 2008.

Беседы и компьютерные расчеты, касающиеся нескольких занимательных задач механики. М.: МГДД(Ю)Т, 2007-2012, в 5 частях.

В трудах конференций ФССО, СФП, Ломоносовские чтения (МГУ), Физическое образование: проблемы и перспективы (МПГУ), Емельяновские чтения и др.

Материал доклада изложен в трудах *Рыжикова С.Б.*

Физика в школе 2008, №3; 2012, №6; 2015, №4; 2016, №1,
№6

Физика - Первое сентября 2013, №5; 2015, №11

Вестник МГУ, серия 20, 2008, №2; 2011, №3.

Физическое образование в вузах 2002, №3, 2005, №1

Информатика и образование 2007, №10; 2008, №8; 2011,
№6.

Школа будущего 2011, №1, №4; 2012, №2, №5, №6,
2013, №4.

Наука и школа 2012, №5; 2013, №2

ФГОС среднего образования

Портрет выпускника школы» включает:

- « — владение основами научных методов познания окружающего мира;
- мотивированность на творчество и инновационную деятельность;
- ... способность осуществлять учебно-исследовательскую, проектную и информационно-познавательную деятельность...»

Основное противоречие

Между требованиями к уровню сформированности исследовательских способностей учащихся, в том числе одаренных в области физики, и невозможностью обеспечить необходимый уровень сформированности этих способностей с помощью существующих методик

Возможные пути развития:

- использование проблемных (олимпиадных) задач, в которых рассматриваются более точные модели, приближающие условия к реальности;
- использование видео и «живых» демонстраций физических экспериментов;
- чтение научно-популярных лекций, создание интернет ресурсов, брошюр и т.п.;
- проведение **исследовательских работ**

Используемые термины

- любопытство
- любознательность
- поисковая активность
- исследовательское поведение
- исследовательская деятельность
- исследовательские способности
- исследовательское обучение
- исследовательская работа

Уровни исследовательских работ

Работы, когда учащиеся получают субъективно новую информацию в результате простого наблюдения (закипание воды в кастрюле) - **возможно выполнение большой группой учащихся;**

Работы, когда учащиеся получают новую научную информацию (в лабораториях вузов и НИИ);

Часто оказывается, что «научные» работы школьников менее самостоятельны, чем стандартные лабораторные работы

Различие учебной и профессиональной исследовательской работой

«...умственная деятельность везде является той же самой, на переднем ли фронте науки или в третьем классе школы. Различие здесь в степени, а не в роде. Школьник, изучающий физику, является физиком, и для него легче изучать науку, действуя наподобие учёному-физику, чем делать что-либо ещё»

[Дж. Брунер]

«Углубленный уровень» исследовательских работ

1) получение «не очевидных» результатов;

2) включает основные этапы научных исследований:

- видение проблемы;
- выдвижение гипотез;
- планирование эксперимента;
- проведение эксперимента (натурного или вычислительного);
- анализ полученных результатов;
- публикация результатов

Существующие мифы

- Для выполнения работ «высокого уровня» необходимо дорогостоящее профессиональное оборудование;
- Для проведения расчетов необходимо знание интегралов и других «премудростей» высшей математики

Фотокамера как физический инструмент

- доступность;
- простота в использовании, компактность;
- универсальность;
- простота в подготовке;
- возможность компьютерной обработки данных;
- высокая точность измерений;
- наглядность — возможность использовать полученные материалы на уроке, в презентации на конференции и т.п.

Компьютерное моделирование

Существующие методики использования компьютера в обучении физике зачастую сводятся либо к ускорению арифметических вычислений (компьютер как большой калькулятор), либо к использованию уже готовых расчетных (и не всегда ясно как работающих) программ (напр. «Открытая физика»)

Численное моделирование

- численное интегрирование, в т.ч. уравнений движения (без упоминания термина «интегрирование»);
- решение трансцендентных уравнений;
- расчет статистических распределений

«Плюсы» и «минусы» численного моделирования

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• можно существенно расширить круг решаемых задач по физике• можно использовать при проведении проектных работ• эвристическое значение при решении олимпиадных задач• все, что связано с компьютером, вызывает повышенный интерес• знакомство с методом, широко используемым в современной науке | <ul style="list-style-type: none">• численные расчеты не должны заменять умение решать задачи аналитически• вычислительные эксперименты не должны заменять натурных |
|--|--|

Проблемы преподавания численных методов

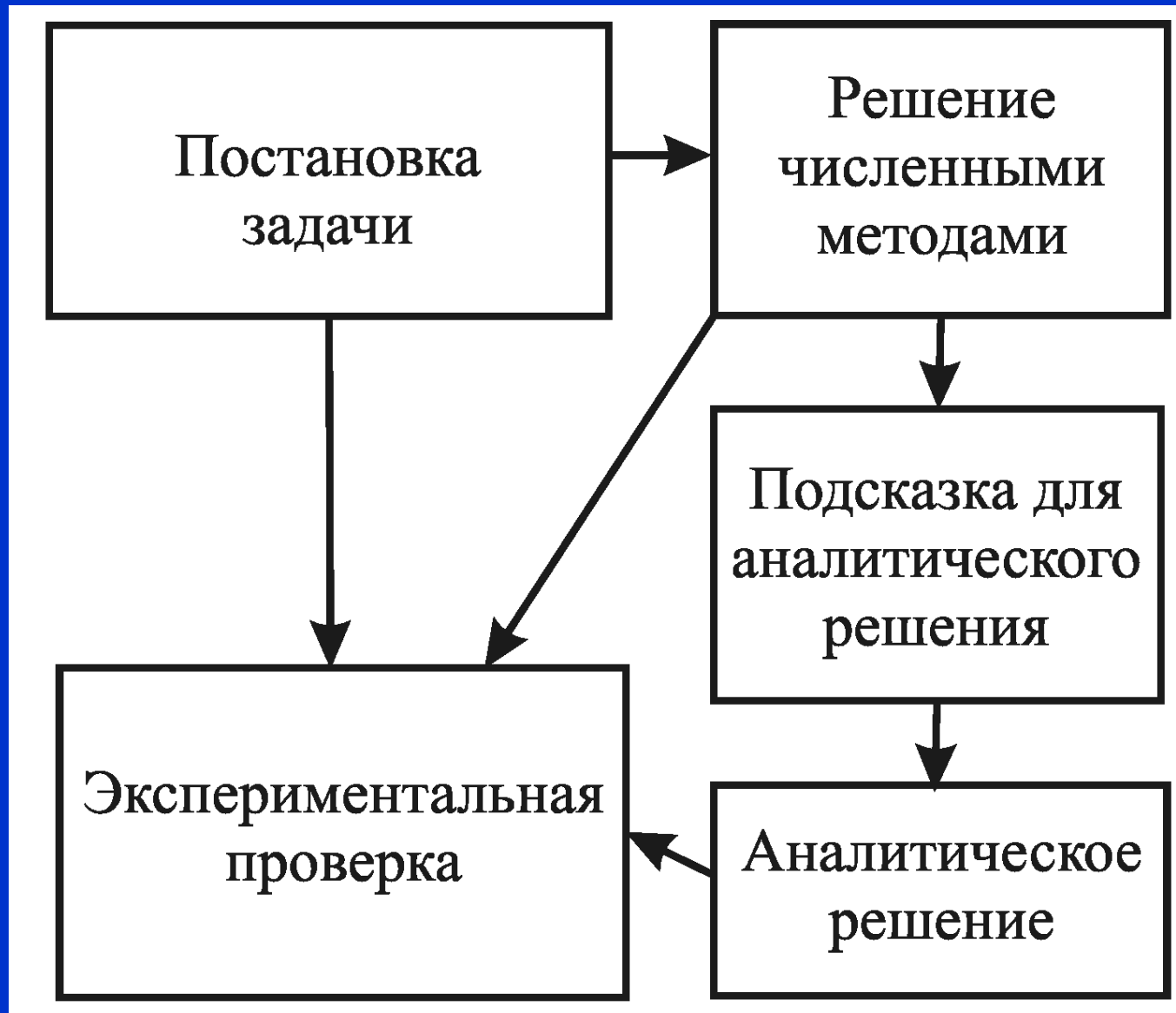
- существует много вузовских учебников по численным методам, но практически нет учебников, адаптированных для школьников;
- отсутствие в программе по физике — не требуется ни при ЕГЭ, ни при сдаче вступительных экзаменов в Вуз;
- не часто встречаются школьники, умеющие программировать (можно использовать *MS Excel* или *Open Office*).

Организация занятий

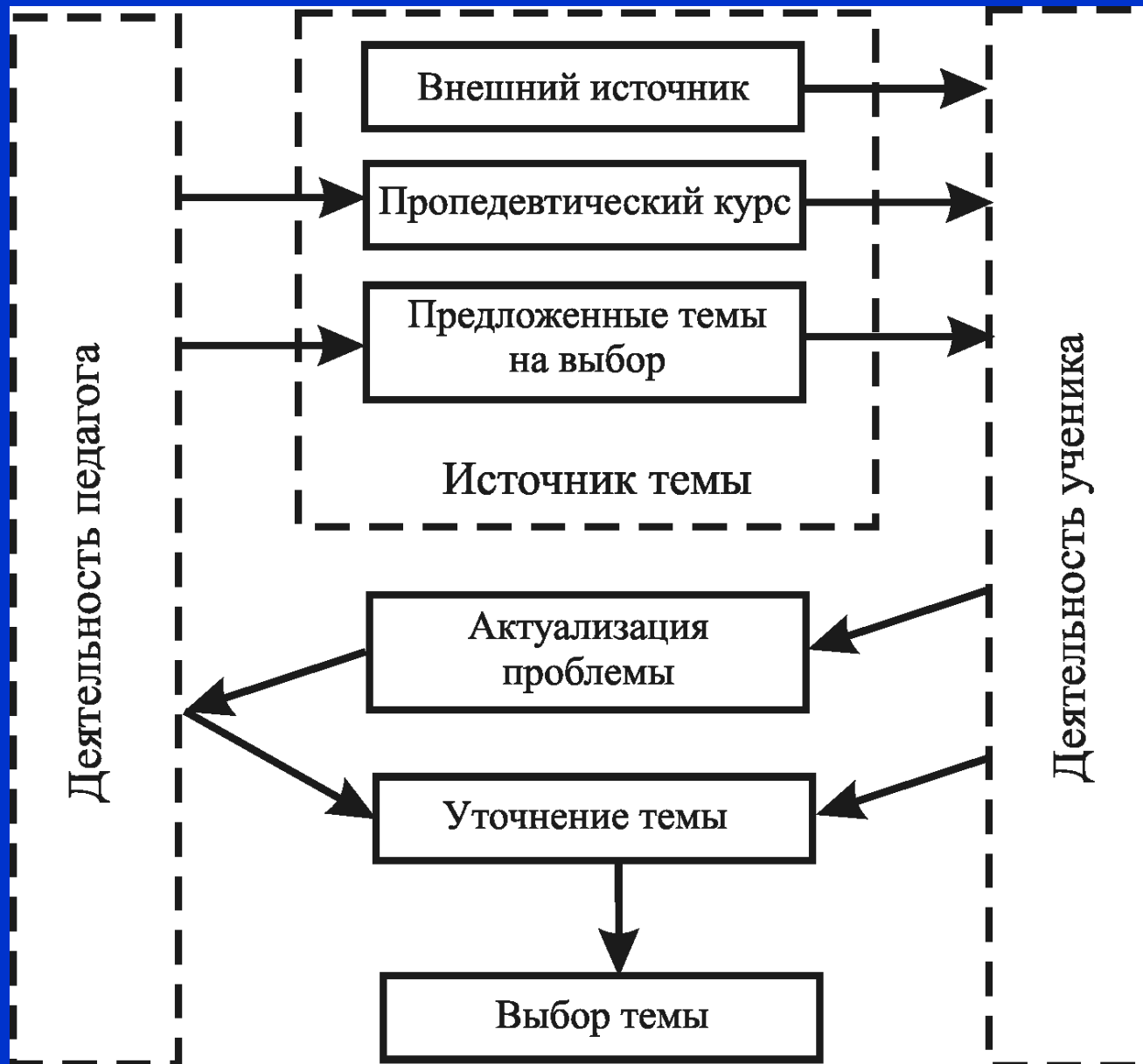
Курс «двойного» назначения:

- 1) подготовка к исследованию и выбор темы;
- 2) «дополнительная цель»:
 - подготовка к олимпиадам;
 - занятия в стиле «занимательная физика»;
 - углубленном физический практикум;
 - подготовка к ТЮФ и др.

Обучение численным методам



Выбор темы исследовательской работы

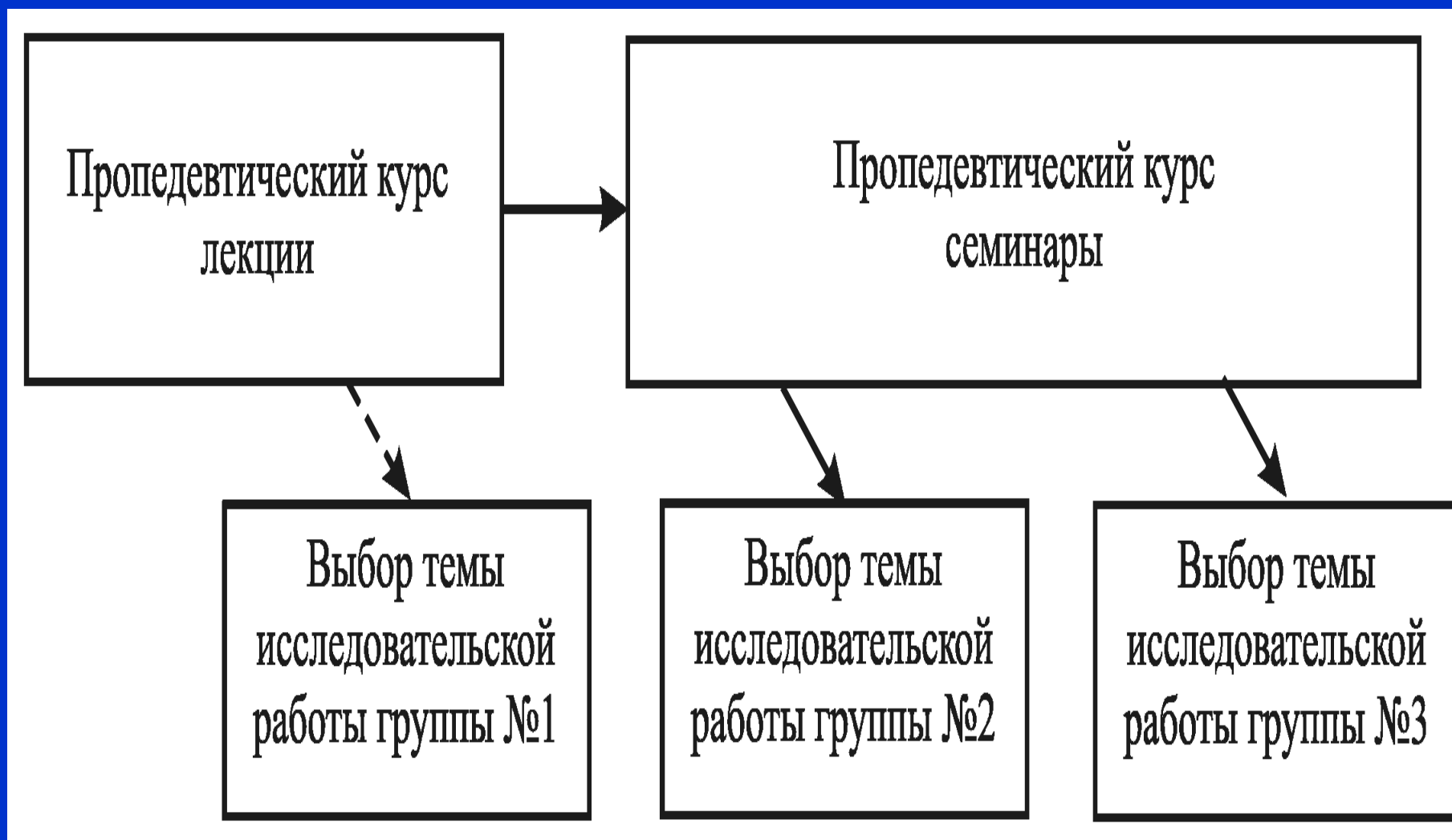


Организация занятий

Курс «двойного» назначения:

- 1) подготовка к исследованию и выбор темы;
- 2) «дополнительная цель»:
 - подготовка к олимпиадам;
 - занятия в стиле «занимательная физика»;
 - углубленном физический практикум;
 - подготовка к ТЮФ и др.

Организация занятий



Принципы подбора задач

- давать задачи, которые на школьном уровне нельзя (или очень трудно) решить аналитически
- расчеты можно проверить:
 - аналитически (напр., найти формулу в вузовском задачнике);
 - сопоставить с известными данными;
 - экспериментально.

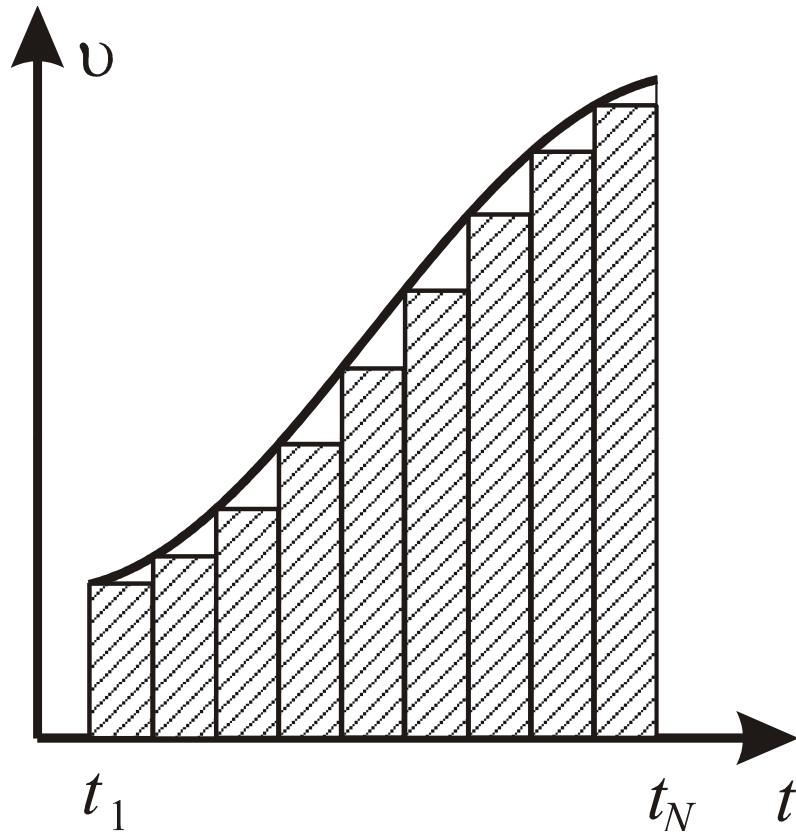
Численный расчет движения.

Схема Эйлера

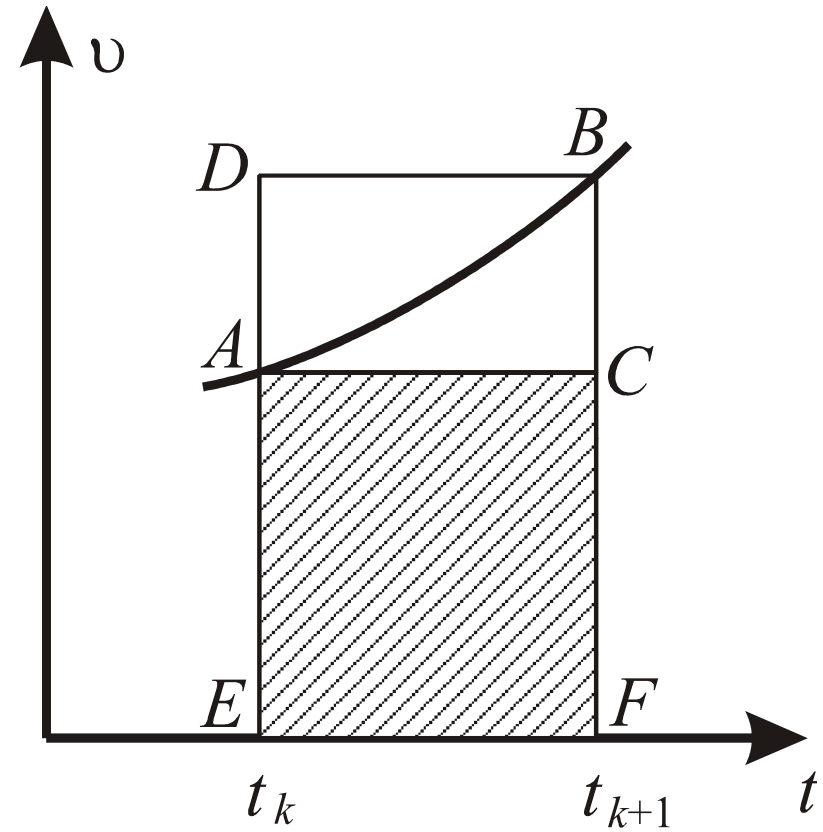
- движение разбивается на большое число (N) малых временных интервалов Δt ;
- принимается, что на каждом интервале тело движется с постоянной скоростью;
- пройденный путь (координата) вычисляется по формуле:

$$x_{i+1} = x_i + v_i \Delta t$$

Графическая интерпретация схемы Эйлера



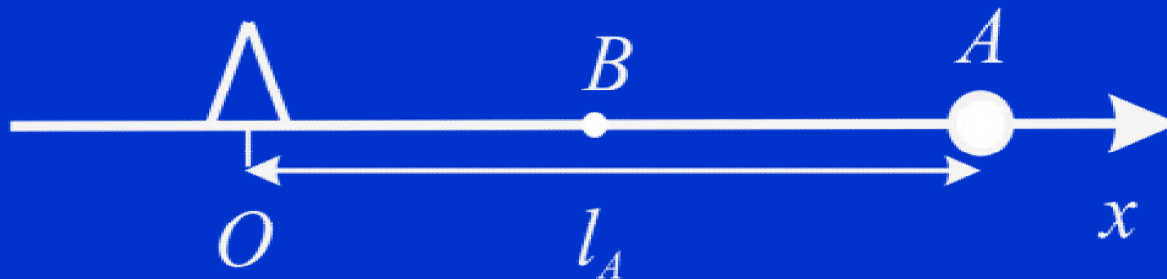
Погрешность метода



$$\Delta x \leq a_{\max} \cdot \Delta t \cdot t$$

Задача с муравьем

Задачи московских физических олимпиад.
Ред. С.С. Кротов. - М.: Наука 1988. №1.21



На отрезке AB скорость муравья равна C/l ,
где C – постоянная величина, $0,001 \text{ (м}^2/\text{с)}$.

Найти время движения до точки B .

$l_A = 1 \text{ м}$, $l_B = 0,5 \text{ м}$.

Заполнение электронной таблицы

Столбцы:

А – время, В – скорость, С – расстояние до муравейника.

Начальные значения:

времени – А2 = 0, расстояния – С2 = 1.

Интервал времени Δt – D2 = 0,1 (с),

значение коэффициента С – E2 = 0,001 (м²/с).

Запись формул

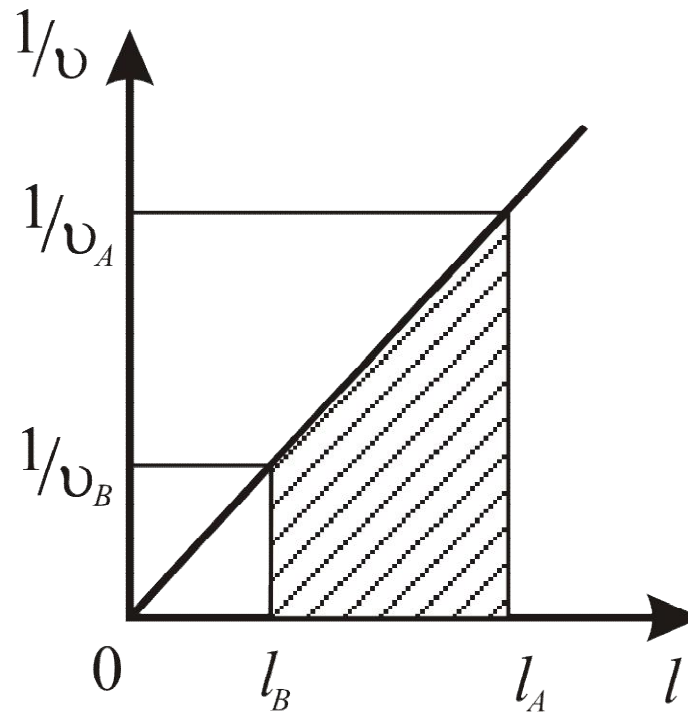
Ячейка	Формула электронной таблицы	Математическая формула
A3	=A2+D\$2	$t_{n+1} = t_n + \Delta t$
B3	=E\$2/C3	$v_{n+1} = C / l_{n+1}$
C3	=C2-B2*D\$2	$l_{n+1} = l_n - v_n \cdot \Delta t$

Строка 3752, время движения - 375 (с).

Вопрос: с чем это сравнить?

$$t = (l_A^2 - l_B^2) / 2C$$

Геометрическое решение

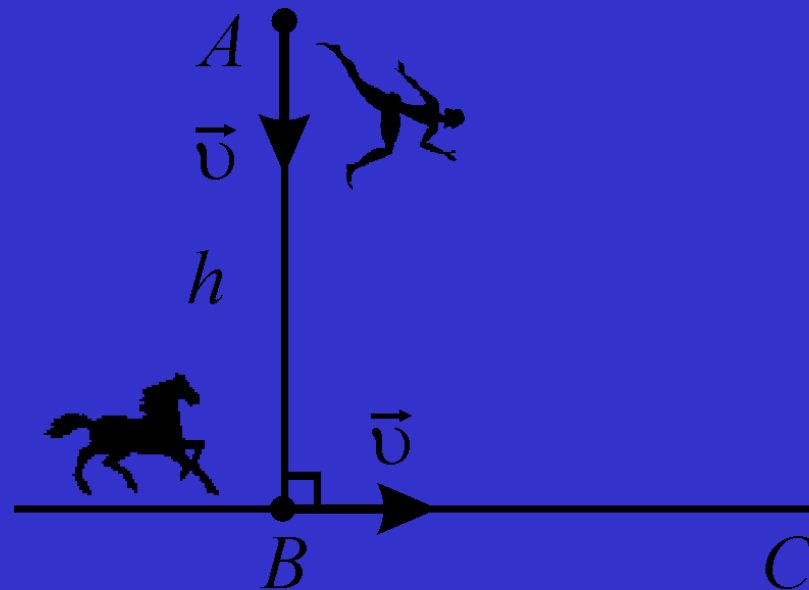


$$S = \left(\frac{l_A - l_B}{2} \right) \left(\frac{1}{v_A} + \frac{1}{v_B} \right) = \left(\frac{l_A - l_B}{2} \right) \left(\frac{l_A}{C} + \frac{l_B}{C} \right) = \frac{l_A^2 - l_B^2}{2C}$$

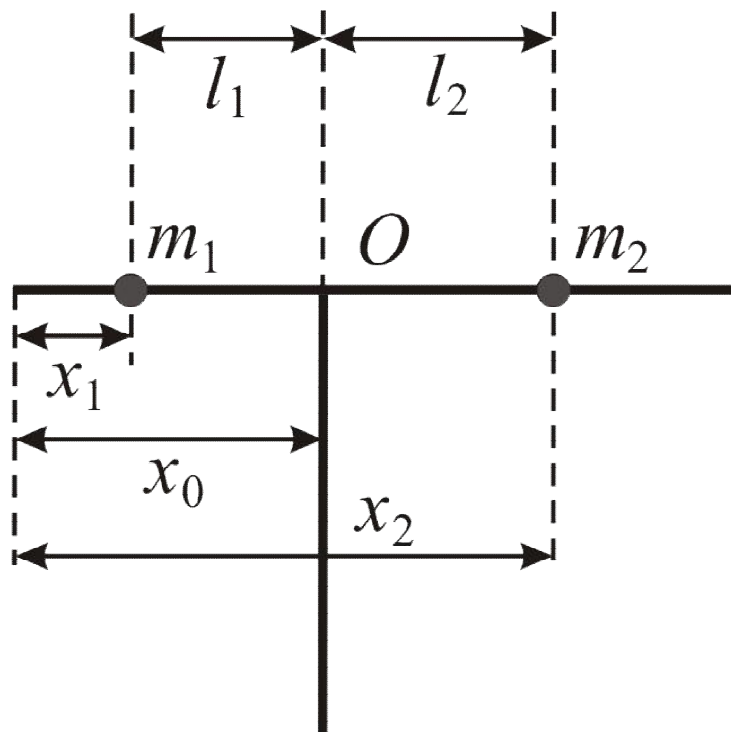
Время движения - 375 (с).

Задача преследования

По прямой дороге BC бежит конь с постоянной скоростью u . Ахиллес стоит в точке A . В тот момент, когда конь достиг точки B , Ахиллес начинает его преследовать. Скорость Ахиллеса постоянна, равна по модулю скорости коня и направлена все время на коня. Расстояние $h = 100$ м. Найти расстояние между конем и Ахиллесом через время $t \gg h / u$.

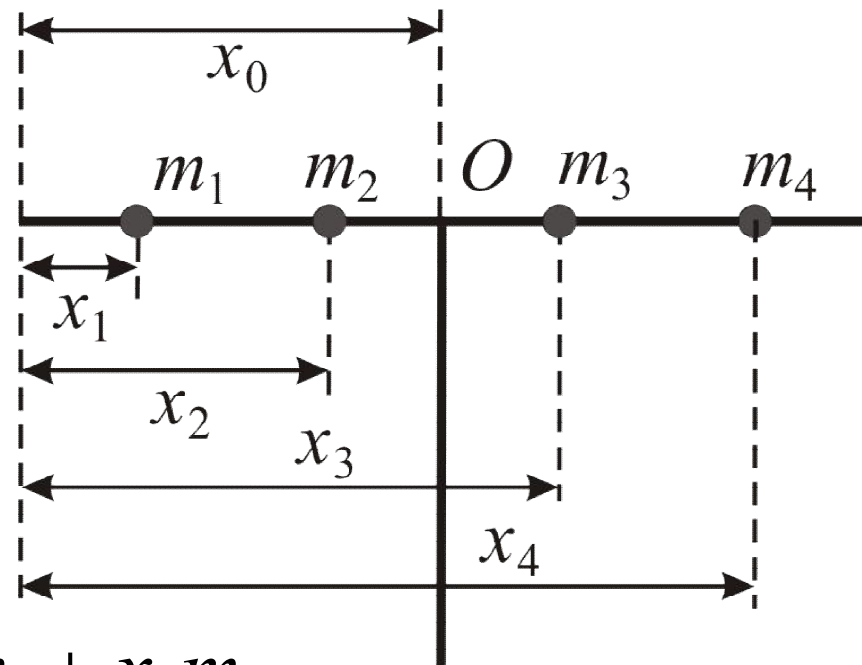


Правило рычага



$$m_1 l_1 = m_2 l_2$$

$$x_0 = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2}$$

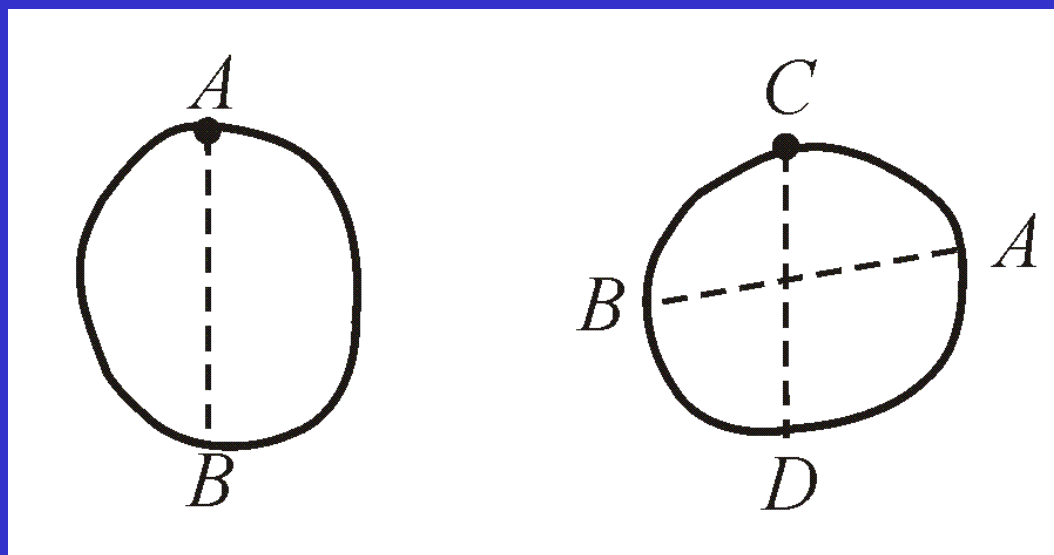


$$x_0 = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_N m_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i m_i}{\sum_{i=1}^N m_i}$$

Центр масс

Экспериментальные исследовательские работы с одаренными школьниками VII-го класса. // Физика в школе. 2012. №6. с. 49-54.

Экспериментальное нахождение центра тяжести



Формулы

Для полукруга радиуса $R = 20$ см

$$A_3 = A_2 + 1$$

$$B_2 = (20^2 - (A_2 * 0,1)^2)^{0,5}$$

$$C_2 = 2 * B_2 * A_2 * 0,1^2$$

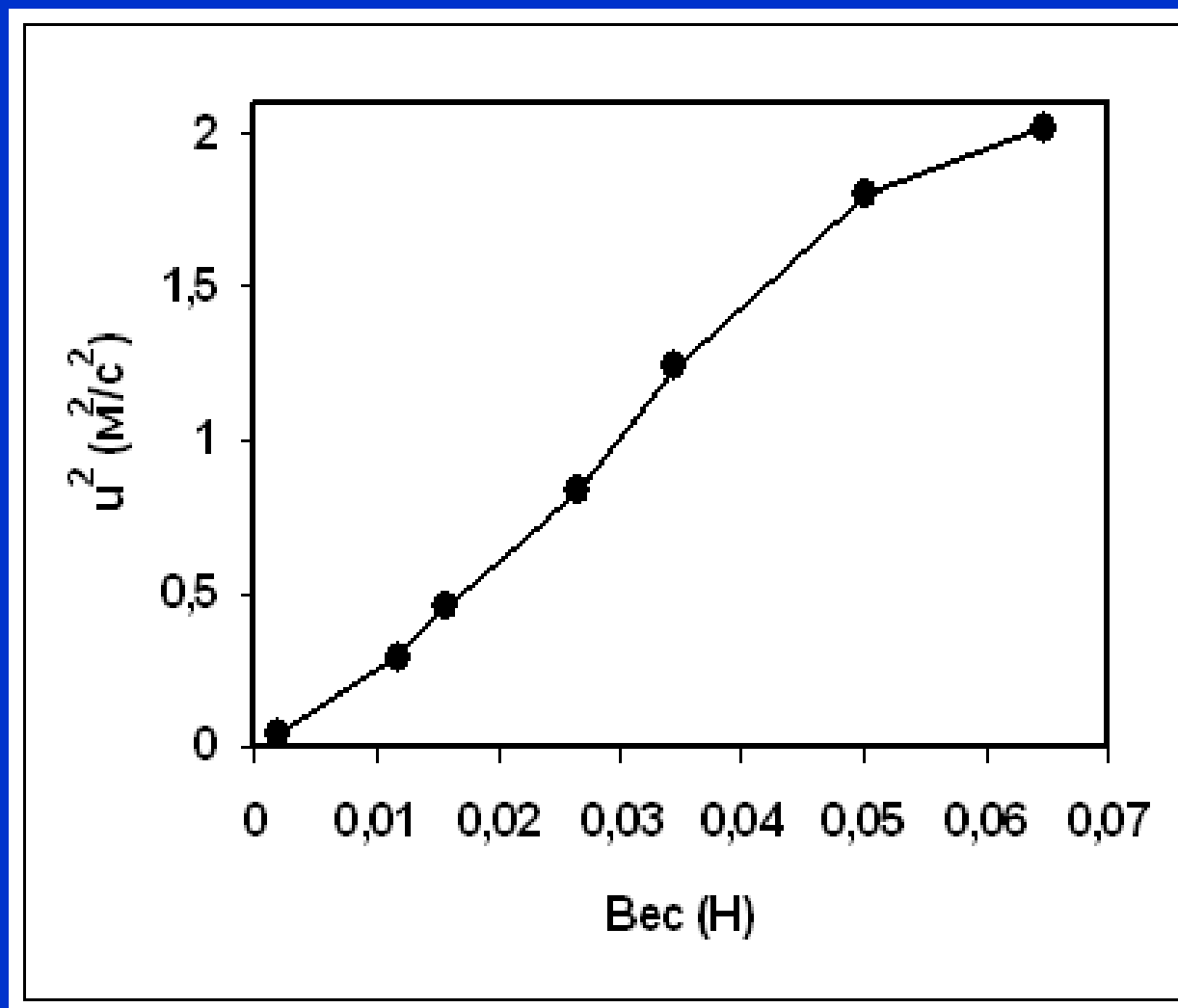
Сумма 200 слагаемых дает 5332

$$x = 8,49 \text{ см}$$

Теоретическое значение $4R/3\pi$

$$x = 8,49 \text{ см}$$

Падение воздушного шарика



Зависимость квадрата скорости от веса

Полет мяча

Всесоюзные олимпиады по физике,
1970 г.

«Мяч подброшен вертикально вверх.
Что больше: время подъема или
время падения?»

Направления исследовательских работ, расчеты возможны в *MS Excel*

- Кинематика (для 7-го класса)
 - неравномерное движение;
 - задачи на преследование.
- Небесная механика
 - расчеты параболических и гиперболических орбит;
 - частные случаи задачи трех тел: (Солнце — Земля — астероид).

Направления исследовательских работ с проведением экспериментов

- **Колебания**
 - негармонические колебания (при больших углах);
 - маятник Капицы;
 - сложные виды маятников;
 - связанные маятники, распространение колебаний.
- **Движение в вязкой среде**
 - вертикальное падение тел;
 - баллистические траектории;
 - затухающие колебания маятника

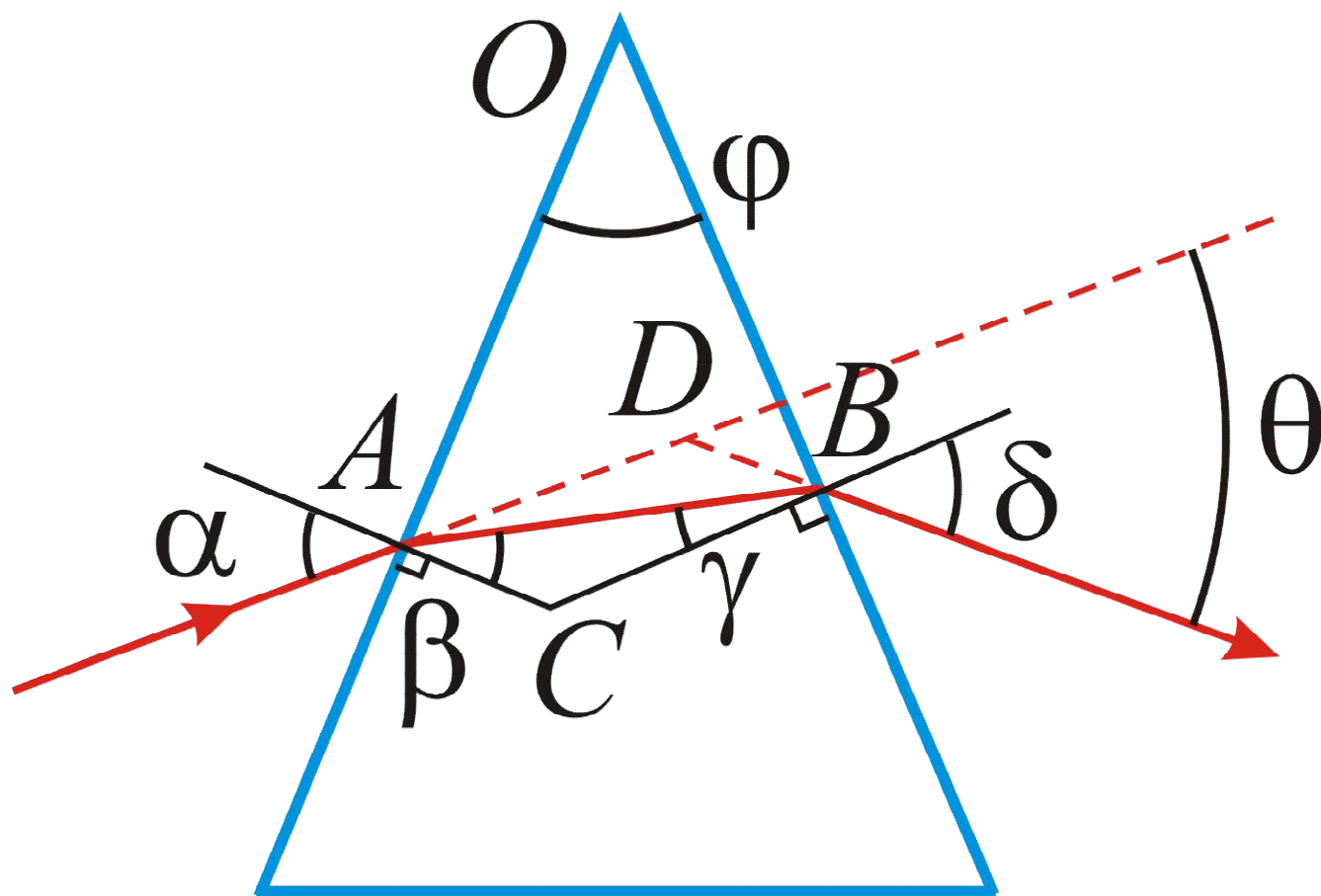
Направления исследовательских работ с проведением экспериментов

- **Физика твердого тела**
 - нахождение центра масс (7 класс);
 - скатывание тел по наклонной плоскости (шар, цилиндр);
 - маятник Максвелла;
 - крутильные колебания;
 - трифилярный подвес: вычисление моментов инерции.

Направления исследовательских работ с проведением экспериментов (расчеты на Basic, C)

- Статистические закономерности в газе
 - распределение Максвелла – Больцмана;
 - явления диффузии, теплопроводности;
 - Броуновское движение...
- Оптика
 - механизм образования радуги;
 - дифракционные картинки, голограммы;

Преломление в призме



$$\varphi = \beta + \gamma$$

$$\theta = \alpha + \delta - \beta - \gamma$$

Преломление в призме

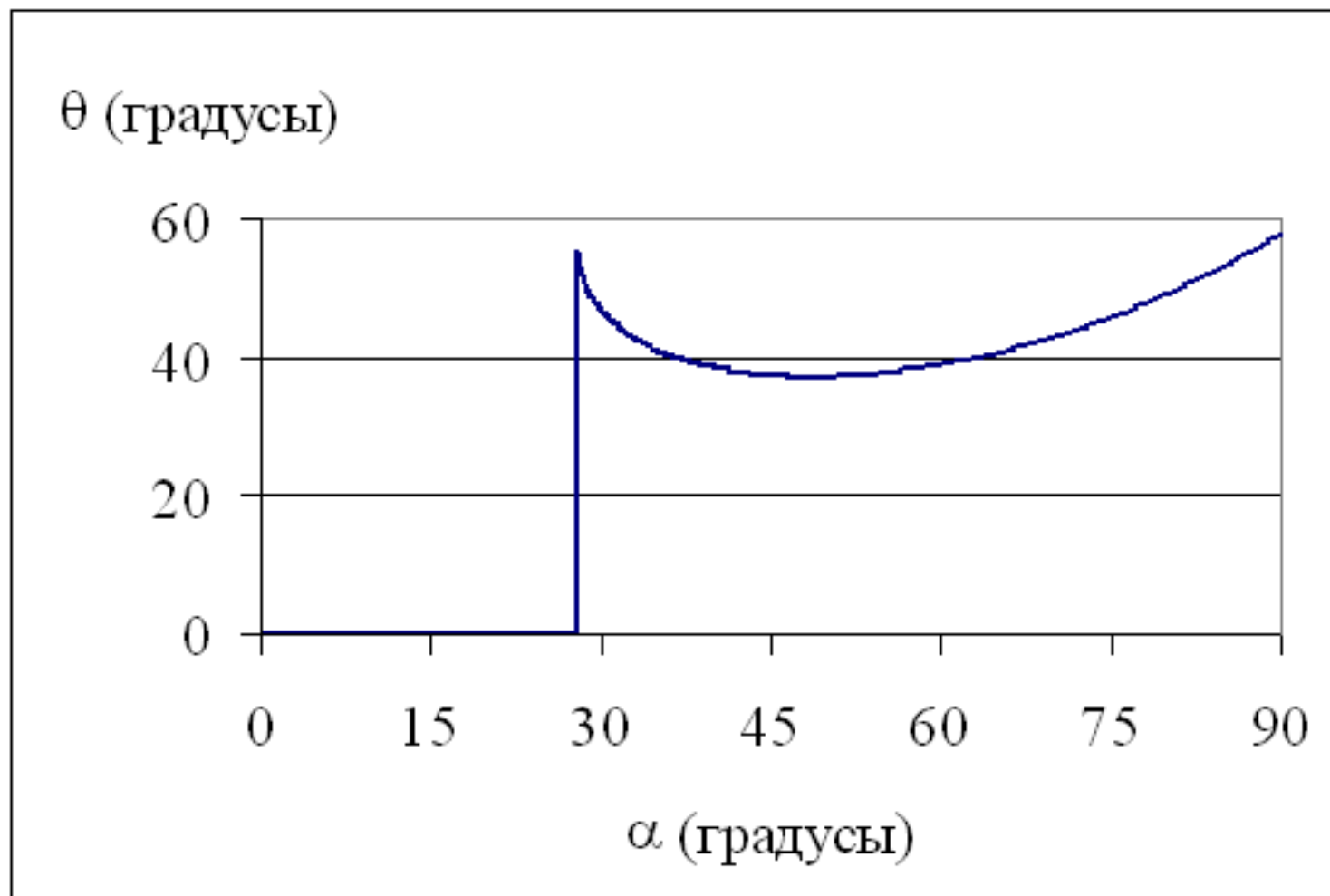
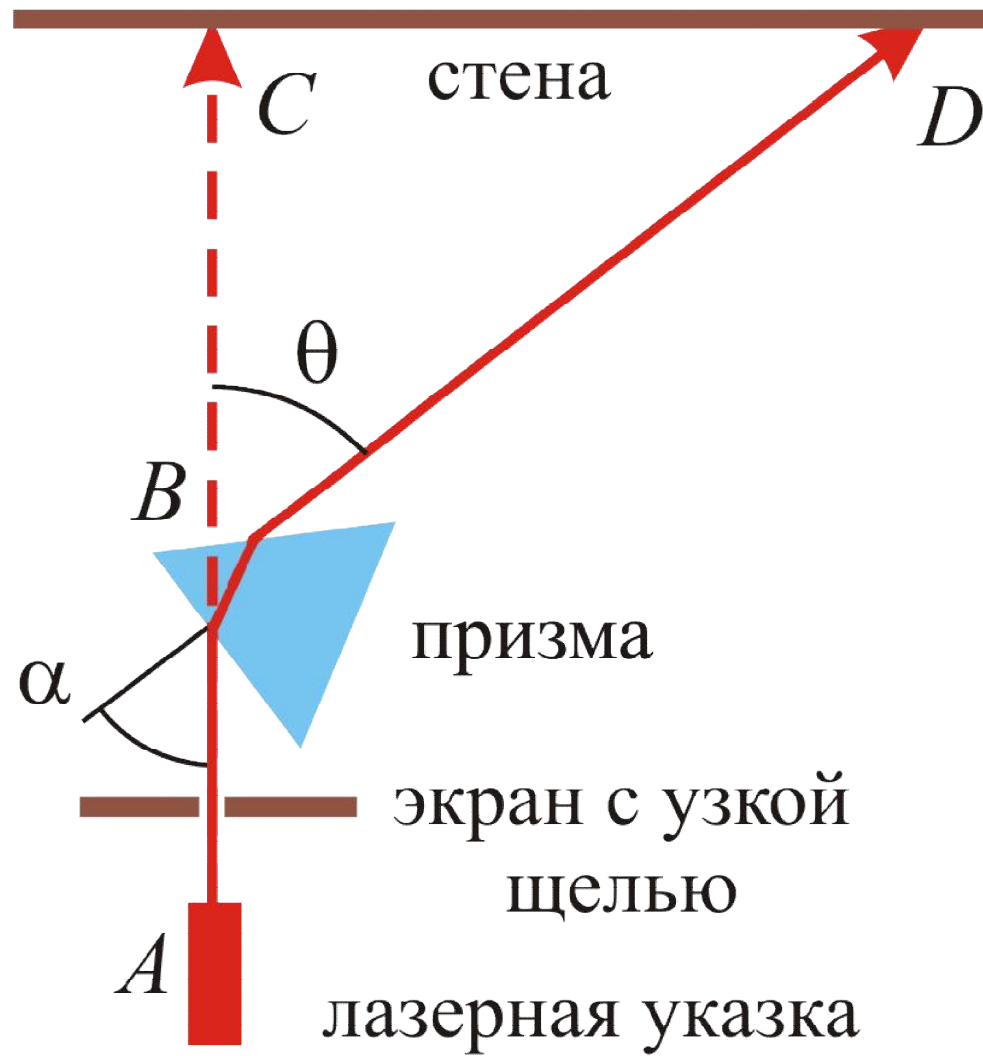
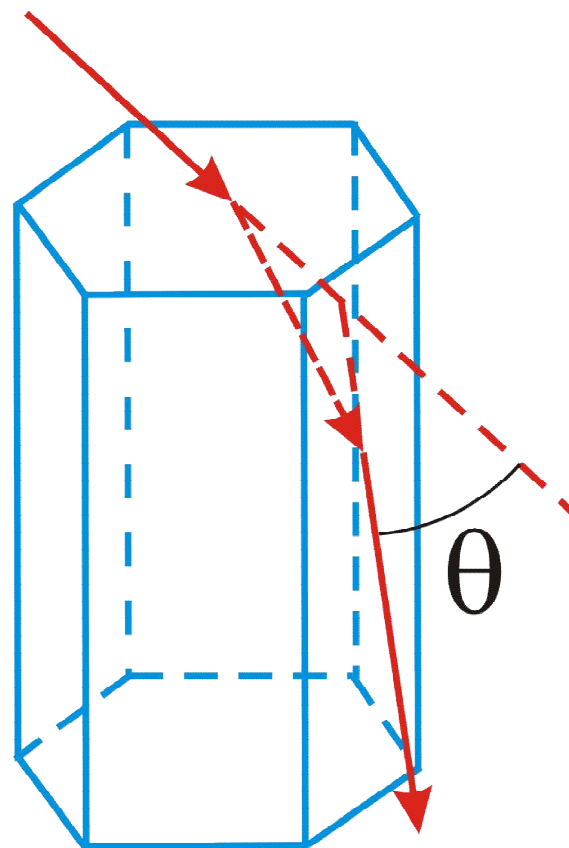
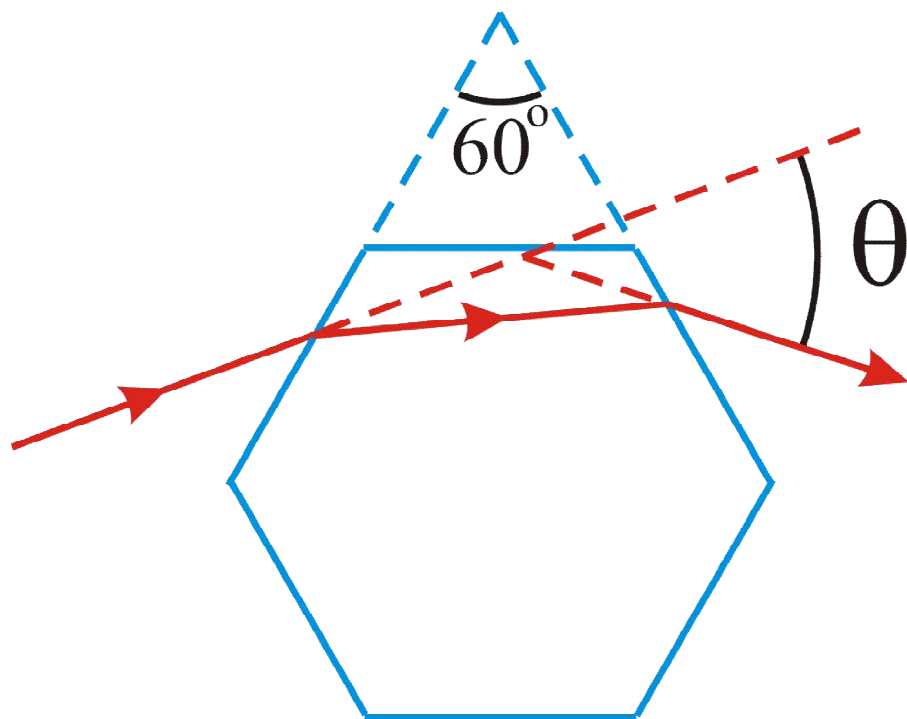


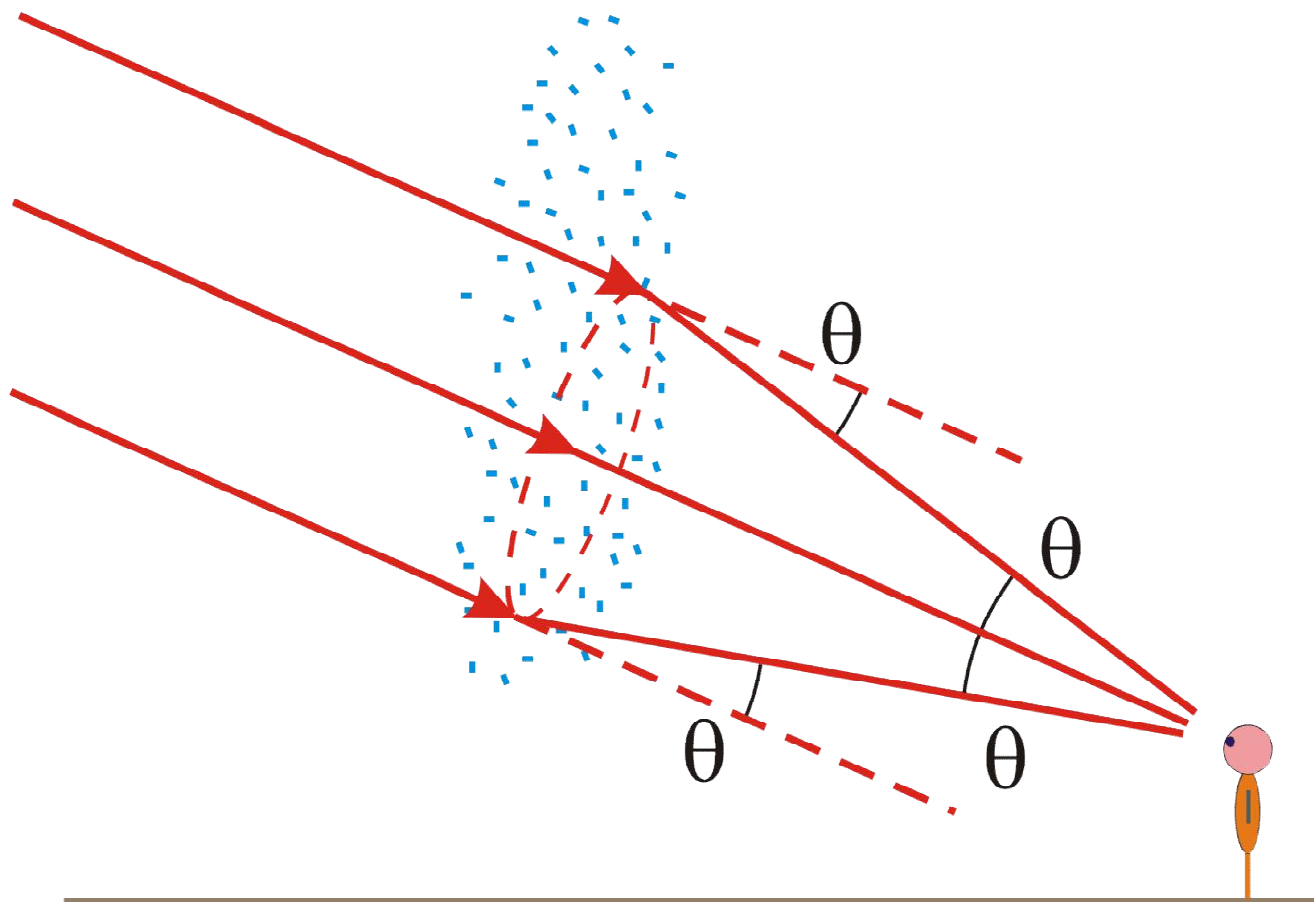
Схема эксперимента



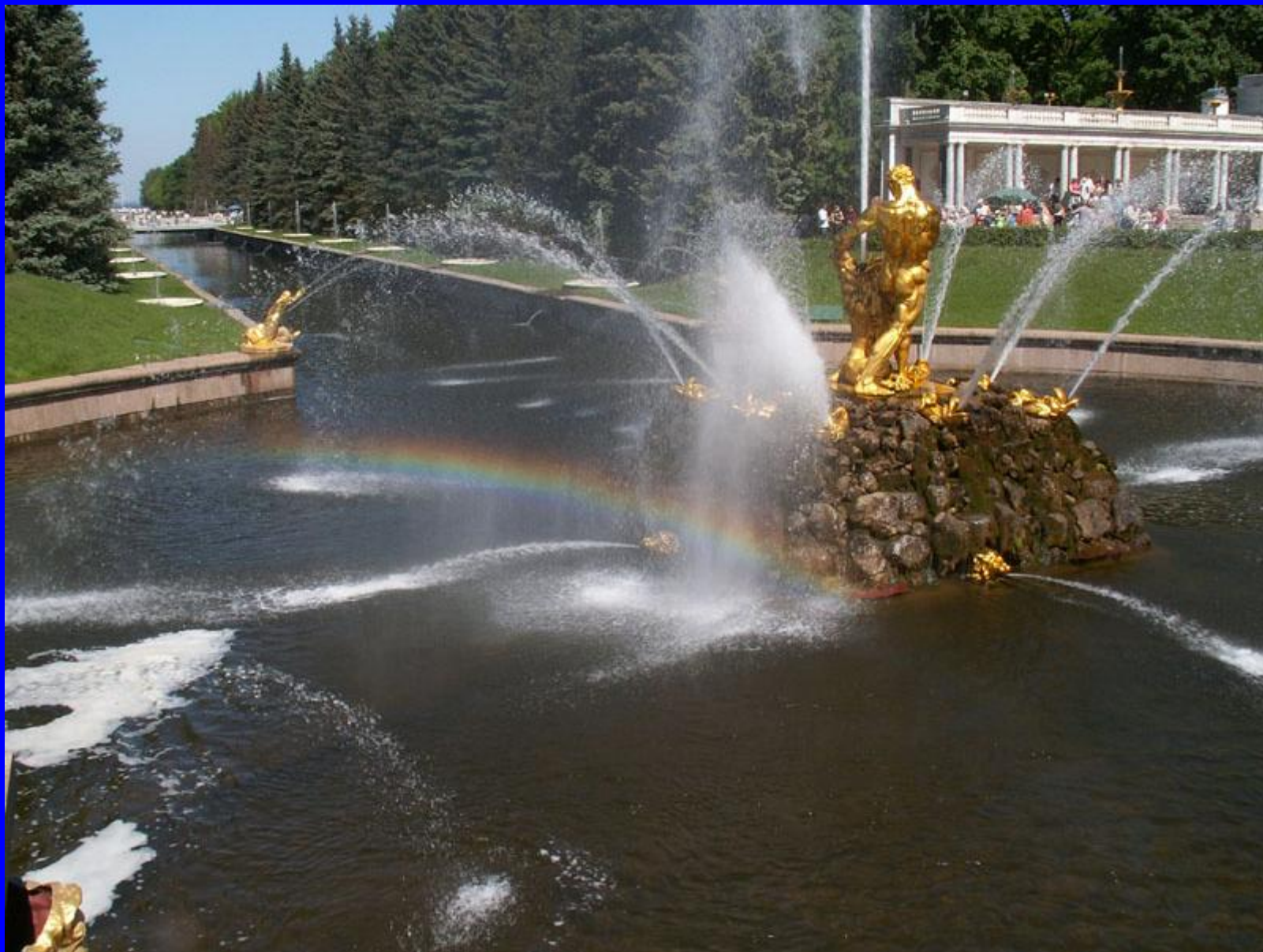
Наблюдение гало



Наблюдение гало



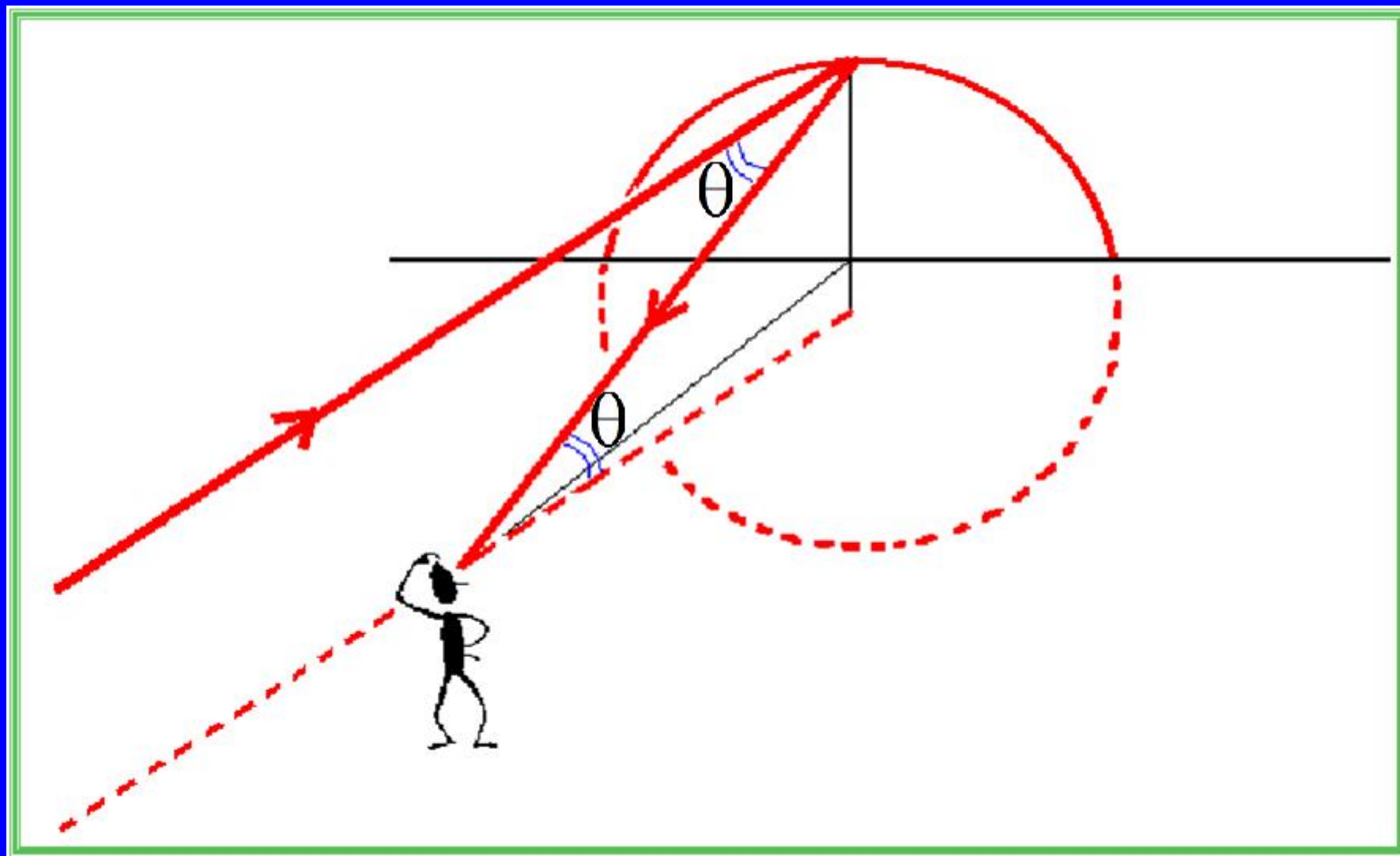
Физика радуги



Физика радуги

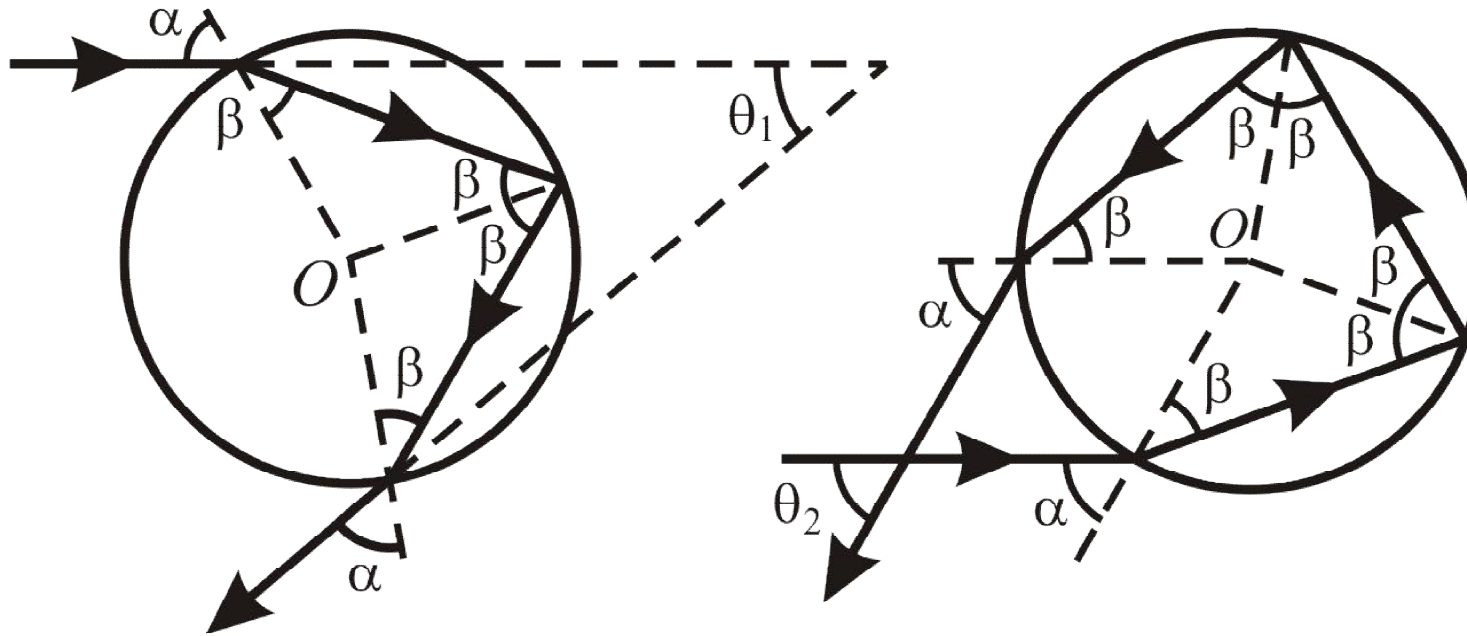


Физика радуги



Физика радуги

Многоуровневый подход к исследованию явления радуги. // Школа будущего. 2012. №6. с. 28 – 33.

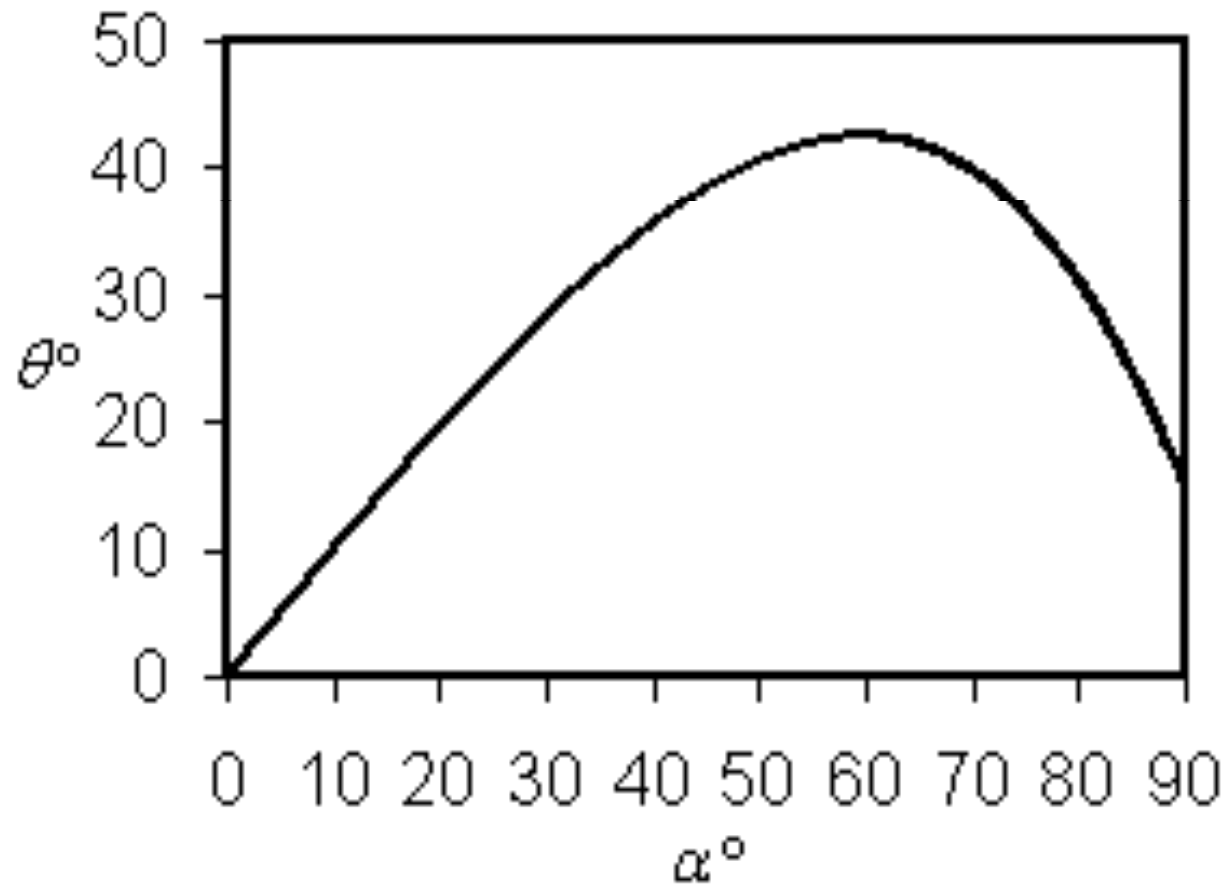


$$\theta_2 = 180^\circ - 6\beta + 2\alpha$$

$$\theta_1 = 4\beta - 2\alpha = 4\arcsin(\sin\alpha / n) - 2\alpha$$

Физика радуги

Зависимость угла отклонения от угла падения
при $n = 1,33$



$$\theta = 42,5^\circ$$

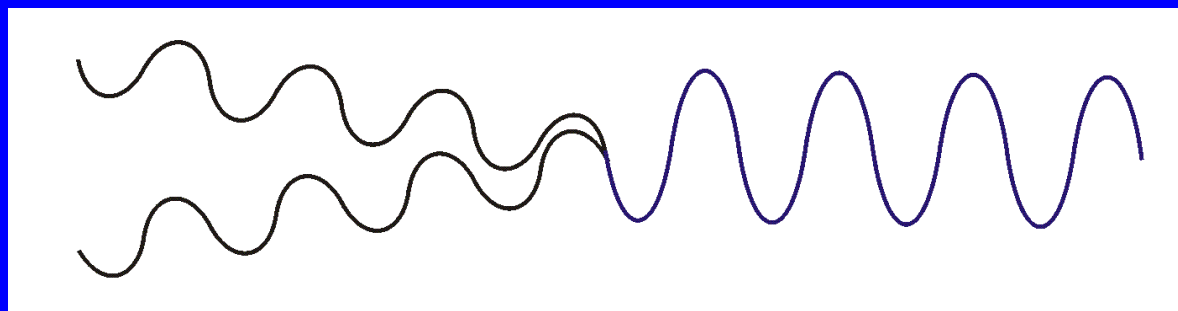
Дифракция и интерференция

Физика - Первое сентября 2013, №5

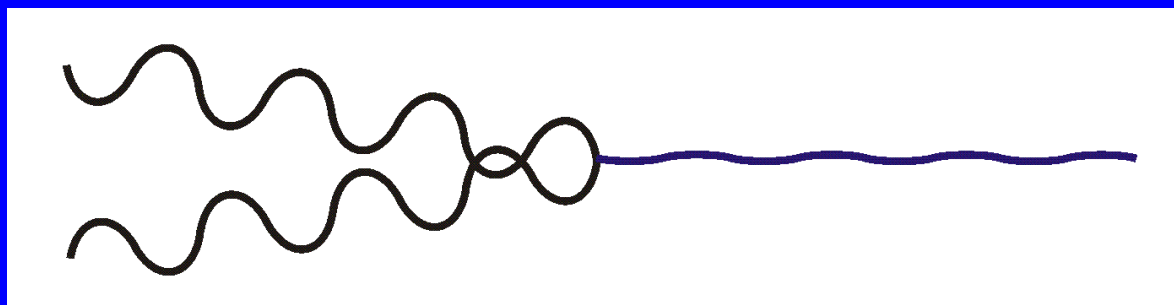
1. Волновая природа света
2. Принцип Гюйгенса-Френеля
3. Сложение волн, интерференция

Интерференция

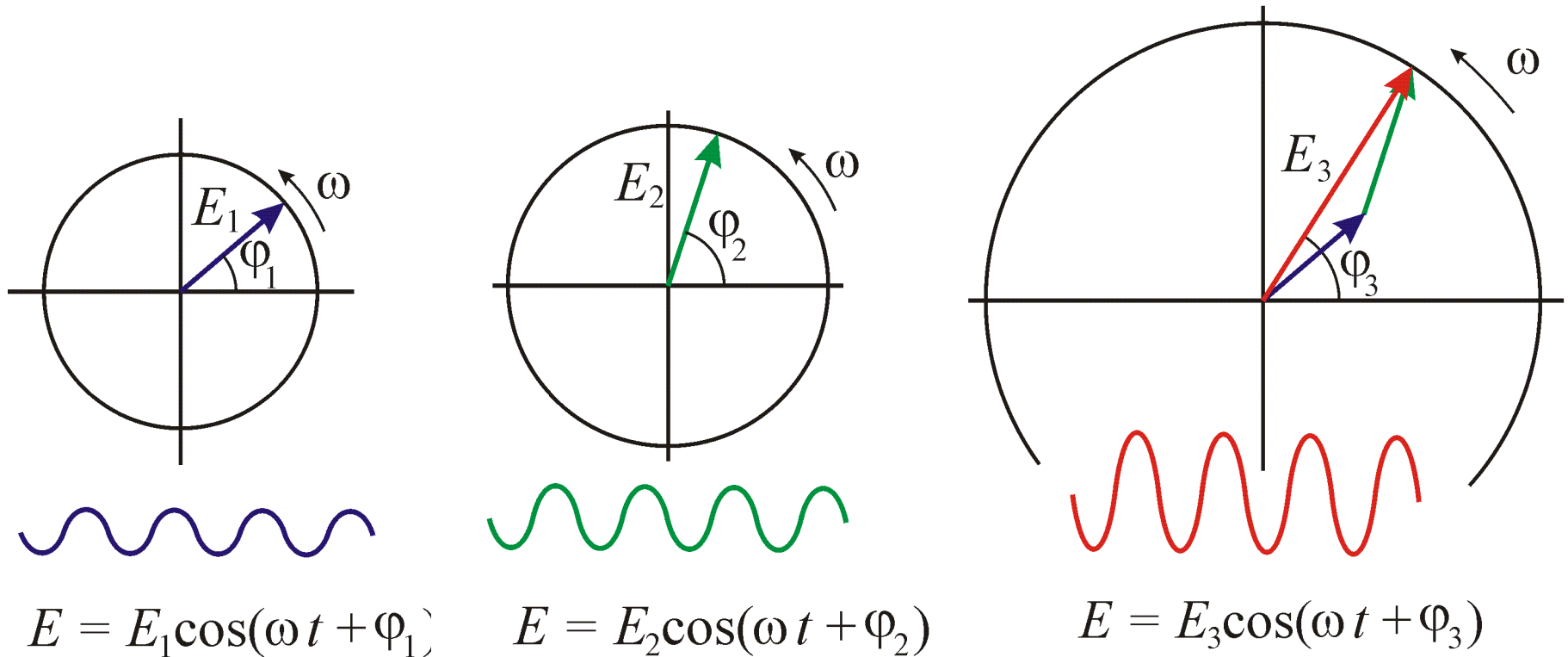
Если волны пришли «в фазе», они усиливаются.



Если волны пришли «в противофазе», они ослабевают

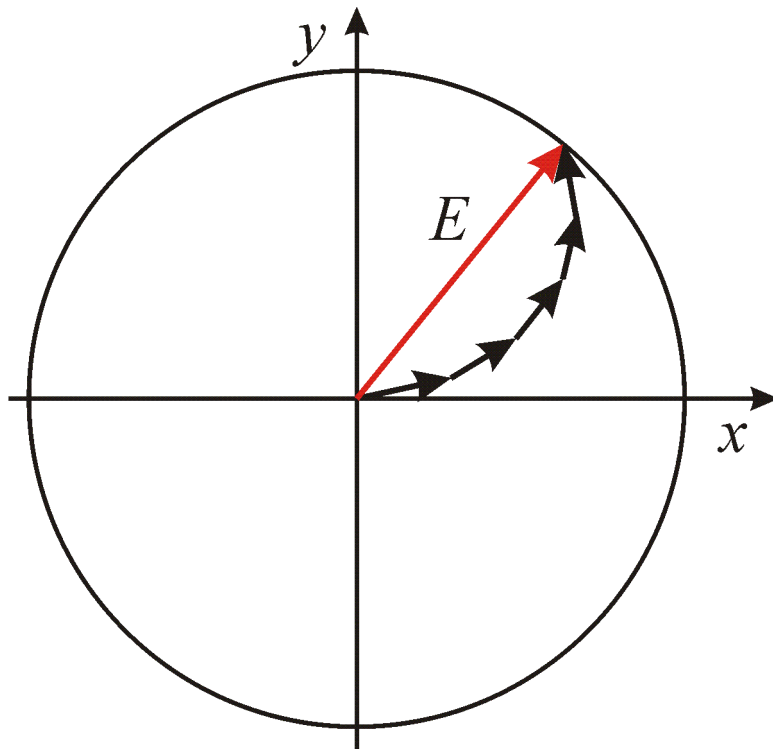


Интерференция



Сложение двух колебаний с помощью
векторной диаграммы

Дифракция



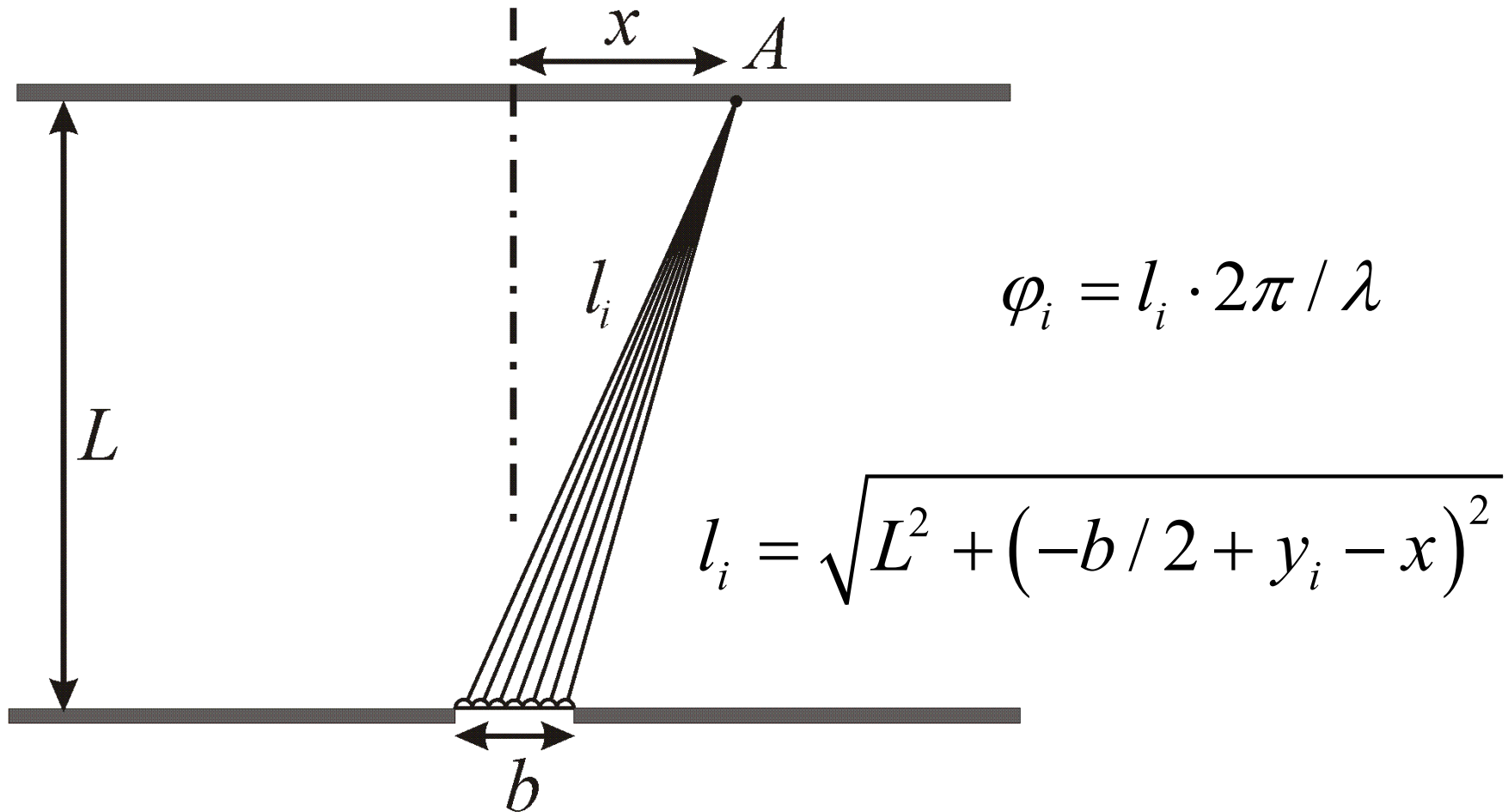
$$E_x = E_0 \sum_{i=1}^N \cos \varphi_i$$

$$E_y = E_0 \sum_{i=1}^N \sin \varphi_i$$

$$I \sim E^2 = E_x^2 + E_y^2$$

Сложение двух колебаний с помощью
векторной диаграммы

Дифракция на щели

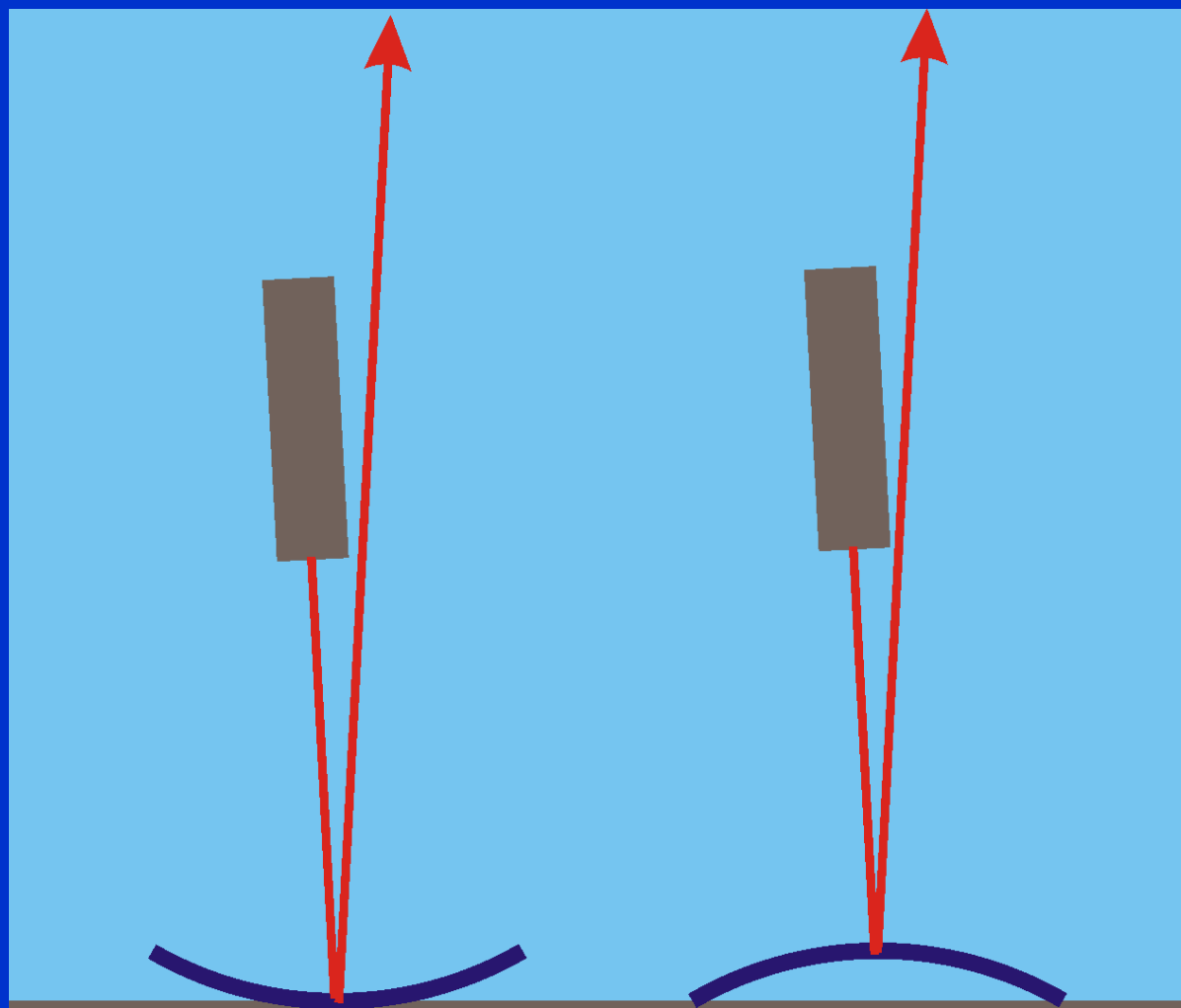


Составление формул

Дифракция на щели

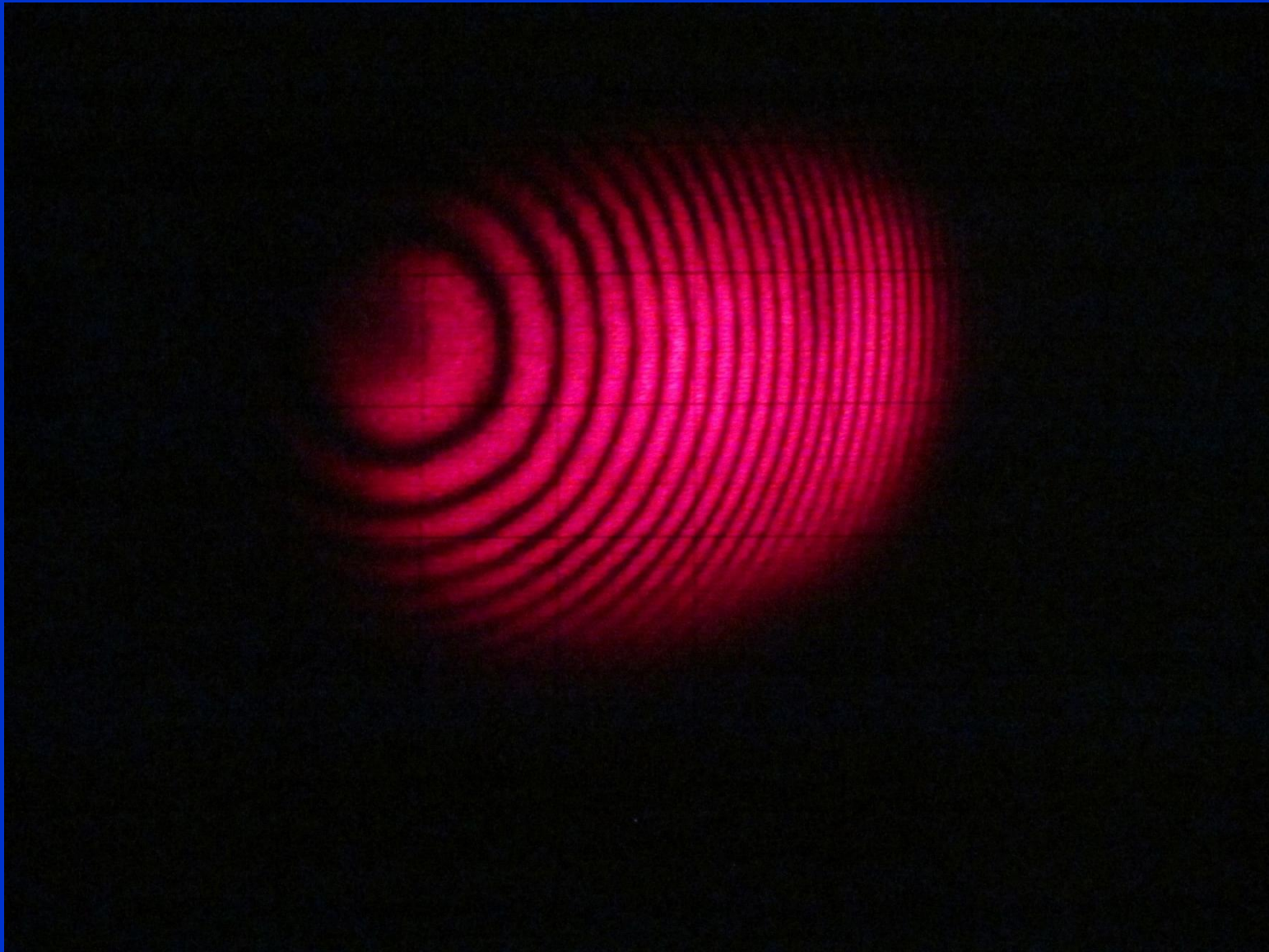
	C4		=	=B4+\$D\$2	
	A	B	C	D	E
1	b (мм)	L (мм)	lambda (мм)	delta x (мм)	
2	0,01	500	0,00065	0,5	
3					
4	x (мм)	0	0,5	1	1,5
5	Интенсивн	1	0,99922157	0,9968892	0,9930117
6	0,000005	0,000241	2,46513415	9,763238	21,894531
7	Интенсивность (отн. ед.) x (мм)				
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18	0,000125	0,00023	2,46396272	9,7609066	21,891039

Кольца равного наклона

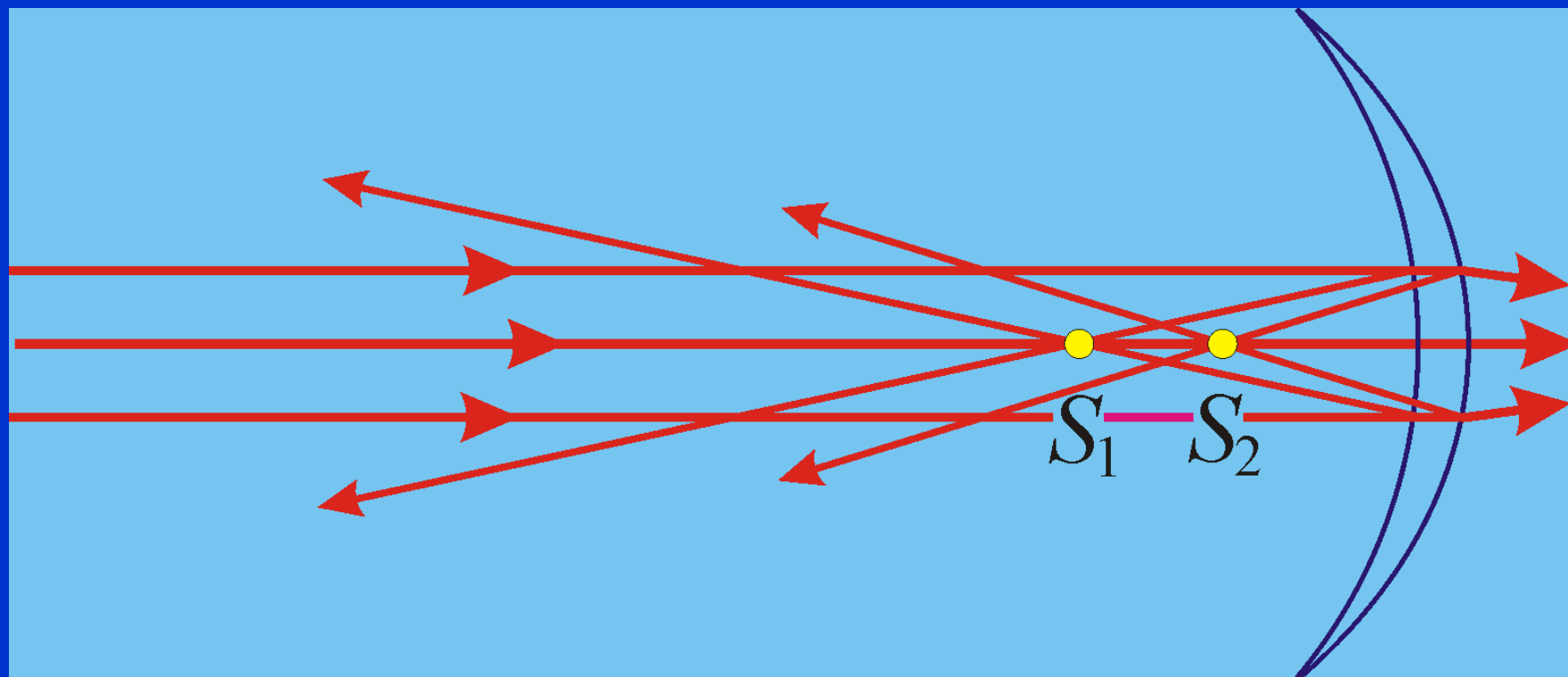


Физика в школе – 2016, №6, с. 31-36

Наблюдаемая картинка



Когерентные источники



Расстояние между источниками

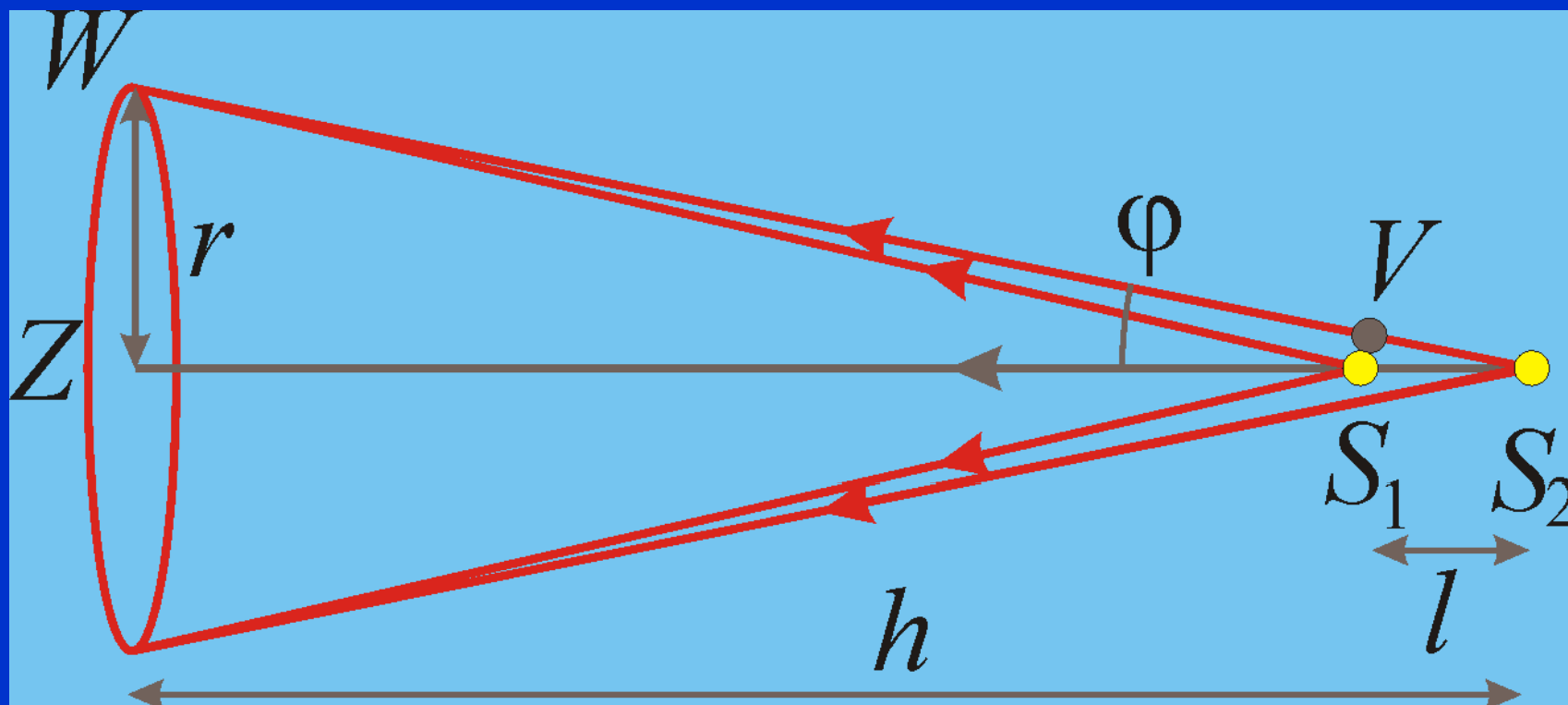
$$|S_1 S_2| = \left| \frac{R_1}{2} \frac{n(R_1 - R_2)}{n(R_1 - R_2) + R_2} \right|$$

Если разница радиусов кривизны мала

$$|S_1 S_2| = \frac{n}{2(n-1)} R^2 |D_0|$$

D_0 – оптическая сила линзы

Наблюдение интерференции

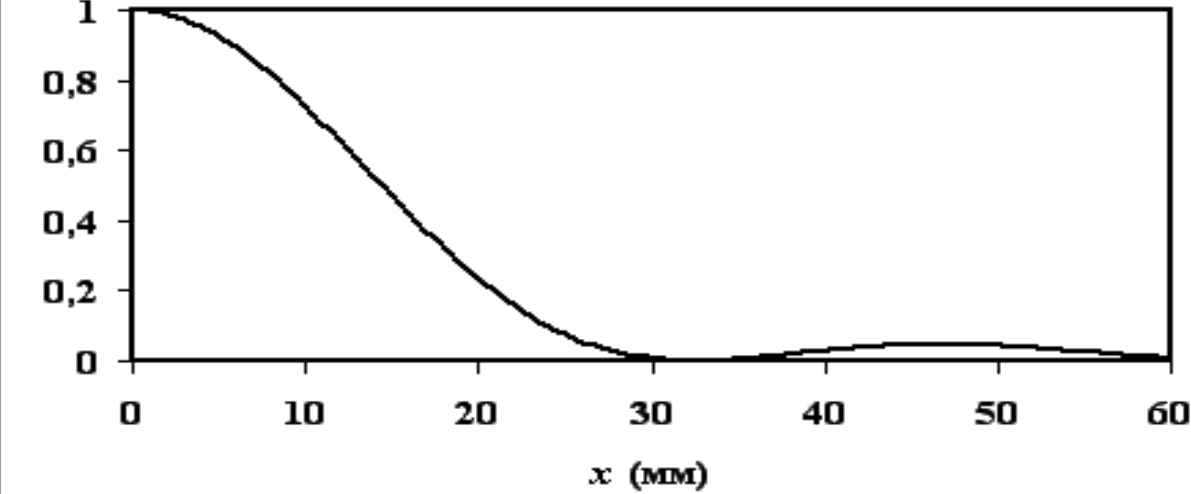


$$\Delta l = \|WS_2\| - \|WS_1\| = \|VS_2\| = l \cos \varphi = l(1 - \varphi^2 / 2)$$

$$r = h\varphi = h\sqrt{\frac{2m_1\lambda}{l}}$$

$$l = \frac{2\lambda h^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

Дифракция на щели

C4			=	=B4+\$D\$2	
	A	B	C	D	E
1	b (мм)	L (мм)	lambda (мм)	delta x (мм)	
2	0,01	500	0,00065	0,5	
3					
4	x (мм)	0	0,5	1	1,5
5	Интенсивность	1	0,99922157	0,9968892	0,9930117
6	0,000005	0,000241	2,46513415	9,763238	21,894531
7	Интенсивность (отн. ед.)  x (мм)				
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18	0,000125	0,00023	2,46396272	9,7609066	21,891039

Заключение

- Простейшие численные методы с использованием электронных таблиц (*MS Excel* или *OpenOffice*) успешно усваиваются учениками 7-11 классов.
- Использование численных методов позволяет развить у школьников умение решать задачи по физике повышенной сложности.
- Использование численных методов позволяет проводить со школьниками исследовательские работы углубленного уровня.