

**Развитие исследовательских
способностей одаренных
школьников
при обучении физике**

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

2016

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)

Курс повышения квалификации

**Развитие исследовательских
способностей одаренных школьников
72 часа**

Всего публикаций по теме курса – 96

Монографии:

изд. «Школа будущего»

LAP Lambert Academic Press (Germany)

Образовательные ресурсы

Видеозаписи лекций с физическими демонстрациями

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

<http://elementy.ru>

- Образовательный сайт МИОО

<http://phys.olymr.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 груп

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:

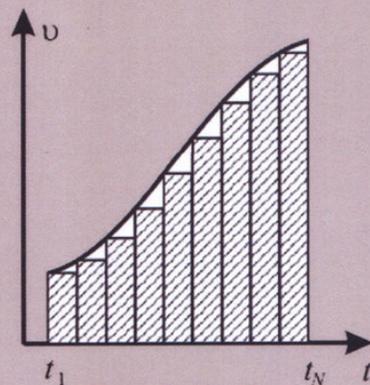
<http://phys.msu.ru/rus/entrants/courses/vfms/>

Материал доклада изложен в монографиях 2012 - 2013



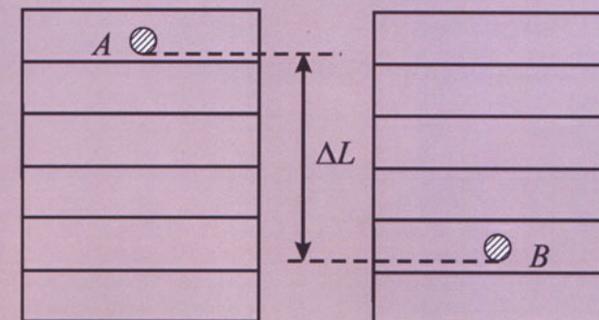
Рыжиков С. Б.

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



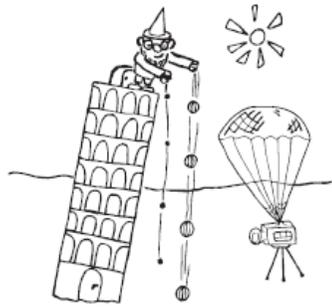
Рыжиков С. Б.

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:

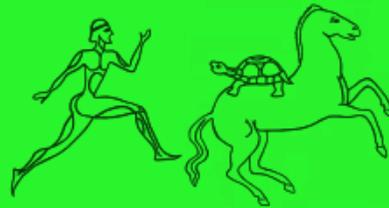


численное моделирование и
лабораторный эксперимент

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких
занимательных задач механики

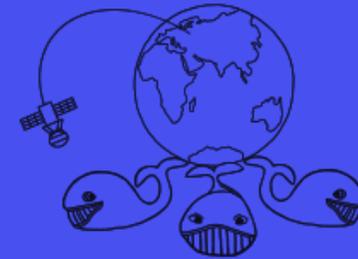


МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел платяных и компьютерных технологий

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких
занимательных задач механики

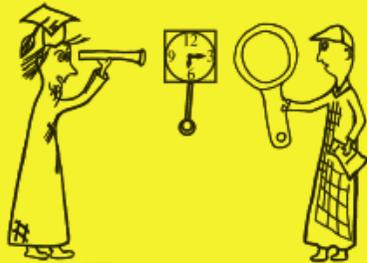


МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел платяных и компьютерных технологий

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких
занимательных задач механики



Москва, 2009

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел платяных и компьютерных технологий

Рыжиков С.Б.

Беседы и компьютерные расчеты,
касающиеся нескольких
занимательных задач механики



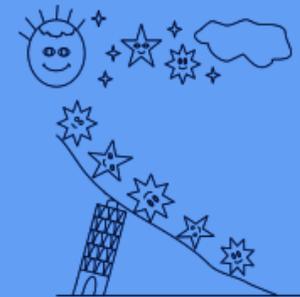
Москва, 2009

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ДВОРЕЦ
ДЕТСКОГО (ЮНОШЕСКОГО) ТВОРЧЕСТВА

Отдел платяных 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

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

- любознательность
- поисковая активность
- исследовательское поведение
- исследовательская деятельность
- исследовательские способности
- исследовательское обучение
- **исследовательская работа**
- детская одаренность
- одаренные дети

Уровни исследовательских работ

Работы, когда учащиеся получают субъективно новую информацию в результате простого наблюдения (закипание воды в кастрюле);

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

- 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
- численные расчеты не должны заменять умение решать задачи аналитически
 - вычислительные эксперименты не должны заменять натуральных

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.

Принципы подбора задач

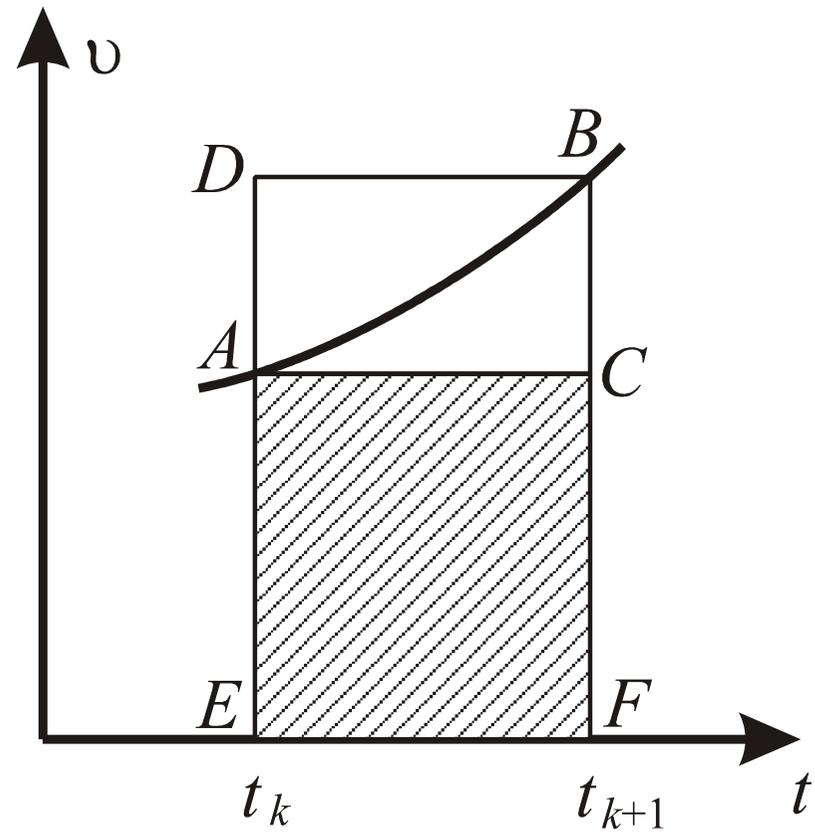
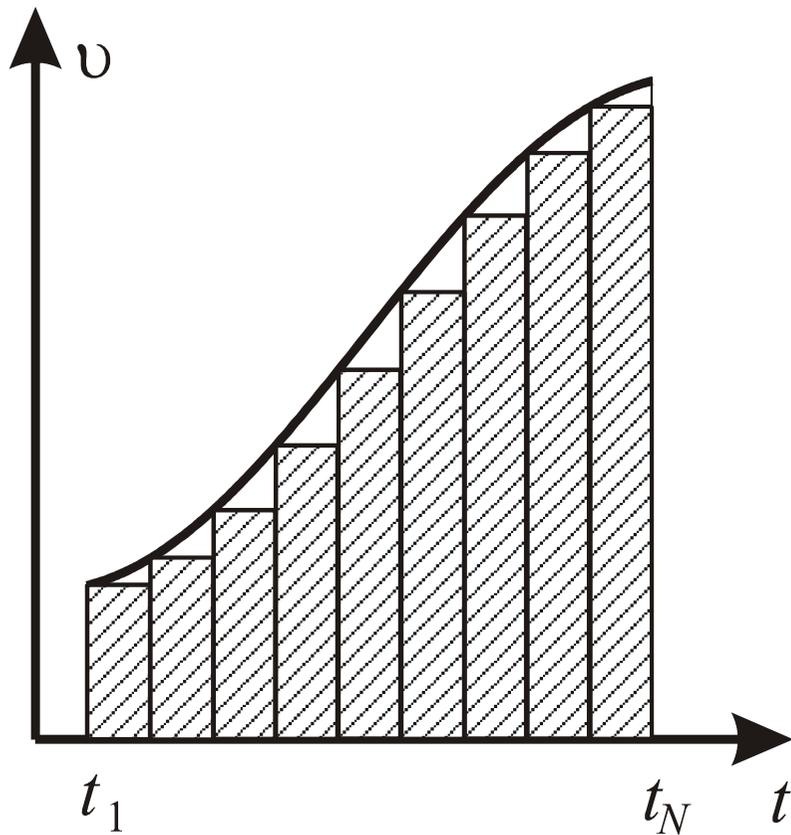
- давать задачи, которые на школьном уровне нельзя (или очень трудно) решить аналитически
- расчеты можно проверить:
 - аналитически (напр., найти формулу в вузовском задачнике);
 - сопоставить с известными данными;
 - экспериментально.

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

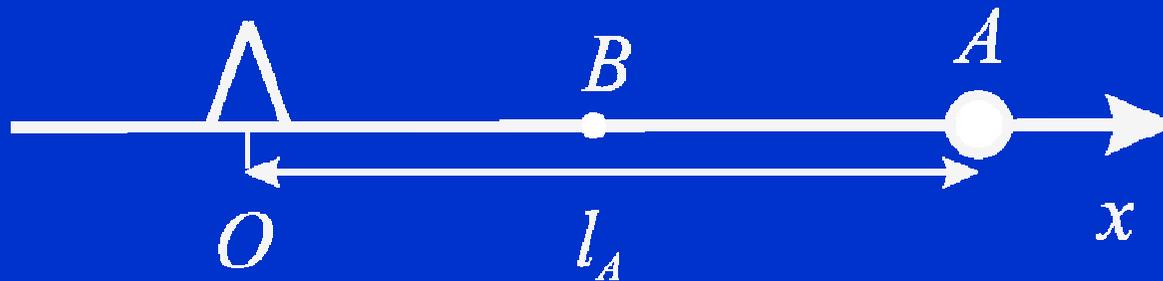


Погрешность метода

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

Задача с муравьем

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



На отрезке AB скорость муравья равна Cl ,
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:

A – время, B – скорость, C – расстояние до муравейника.

Начальные значения:

времени – A2 = 0, расстояния – C2 = 1.

Интервал времени Δt – D2 = 0,1 (с),

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

Запись формул

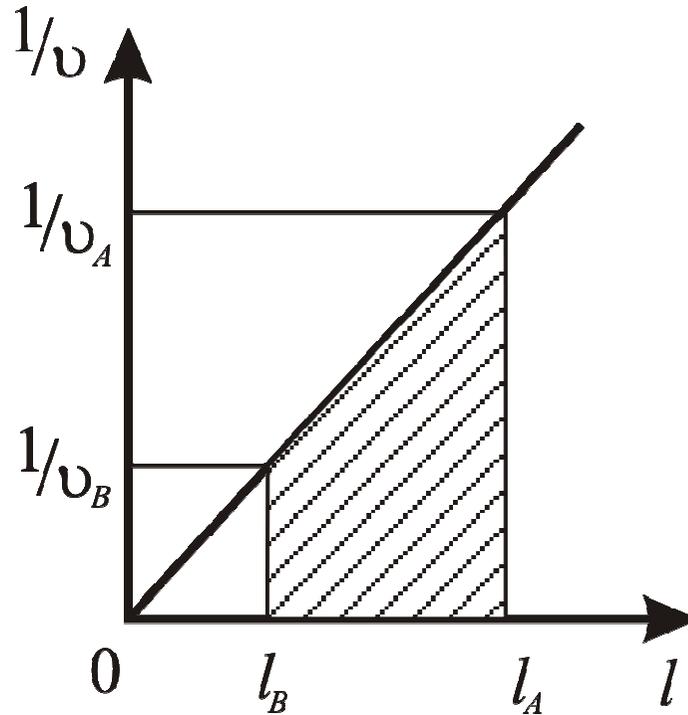
Ячейка	Формула электронной таблицы	Математическая формула
A3	=A2+D\$2	$t_{n+1} = t_n + \Delta t$
B3	=E\$2/C3	$v_{n+1} = C/l_{n+1}$
C3	=C2-B2*D\$2	$l_{n+1} = l_n - v_n \cdot \Delta t$

Строка 3752, время движения - 375 (с).

Вопрос: с чем это сравнить?

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

Геометрическое решение

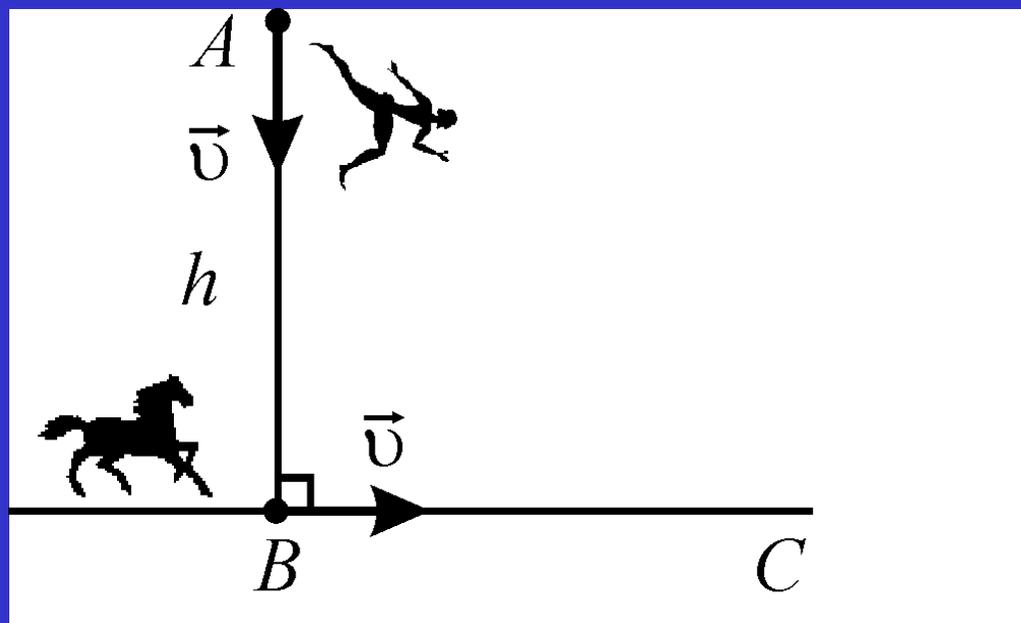


$$S = \left(\frac{l_A - l_B}{2} \right) \left(\frac{1}{v_A} + \frac{1}{v_B} \right) = \left(\frac{l_A - l_B}{2} \right) \left(\frac{l_A}{C} + \frac{l_B}{C} \right) = \frac{l_A^2 - l_B^2}{2C}$$

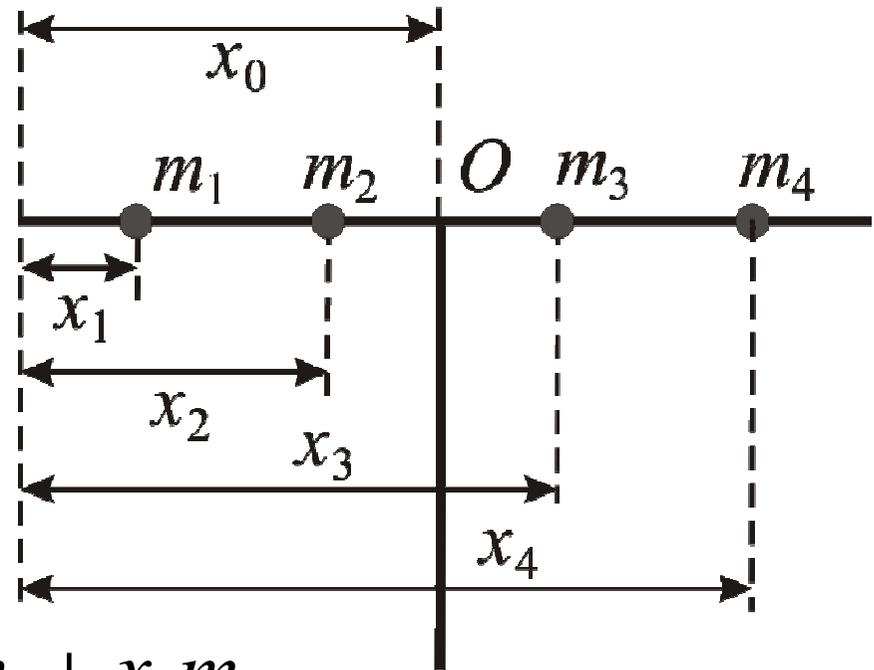
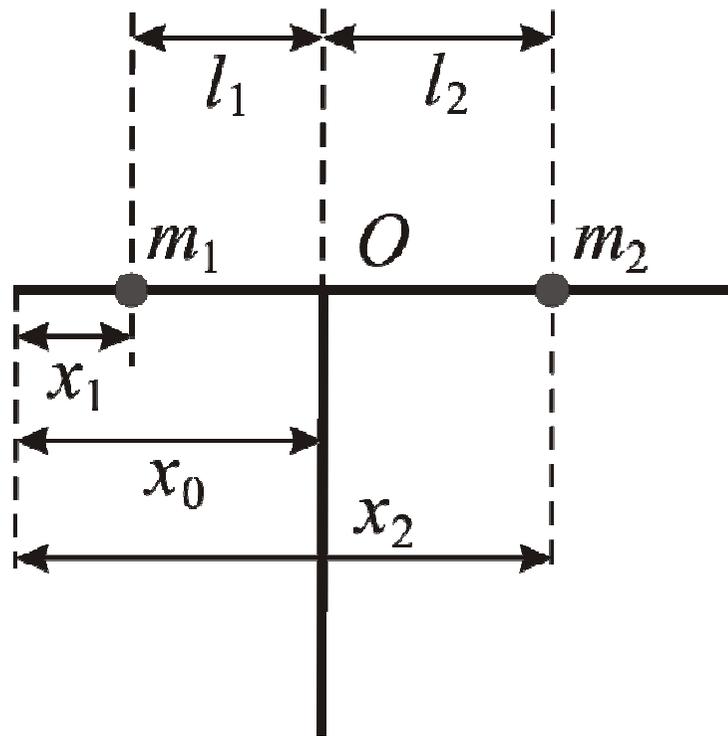
Время движения - 375 (с).

Задача преследования

По прямой дороге BC бежит конь с постоянной скоростью v . 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 $t \gg h/v$.



Правило рычага



$$m_1 l_1 = m_2 l_2$$

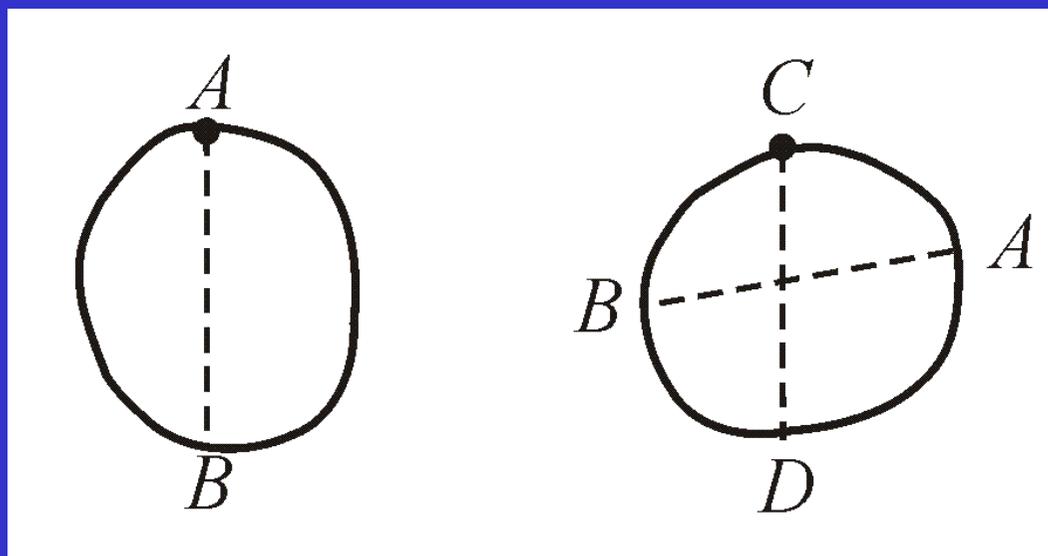
$$x_0 = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2}$$

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

Центр масс

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

Экспериментальное нахождение центра тяжести



Формулы

$$A_3 = A_2 + 1$$

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

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

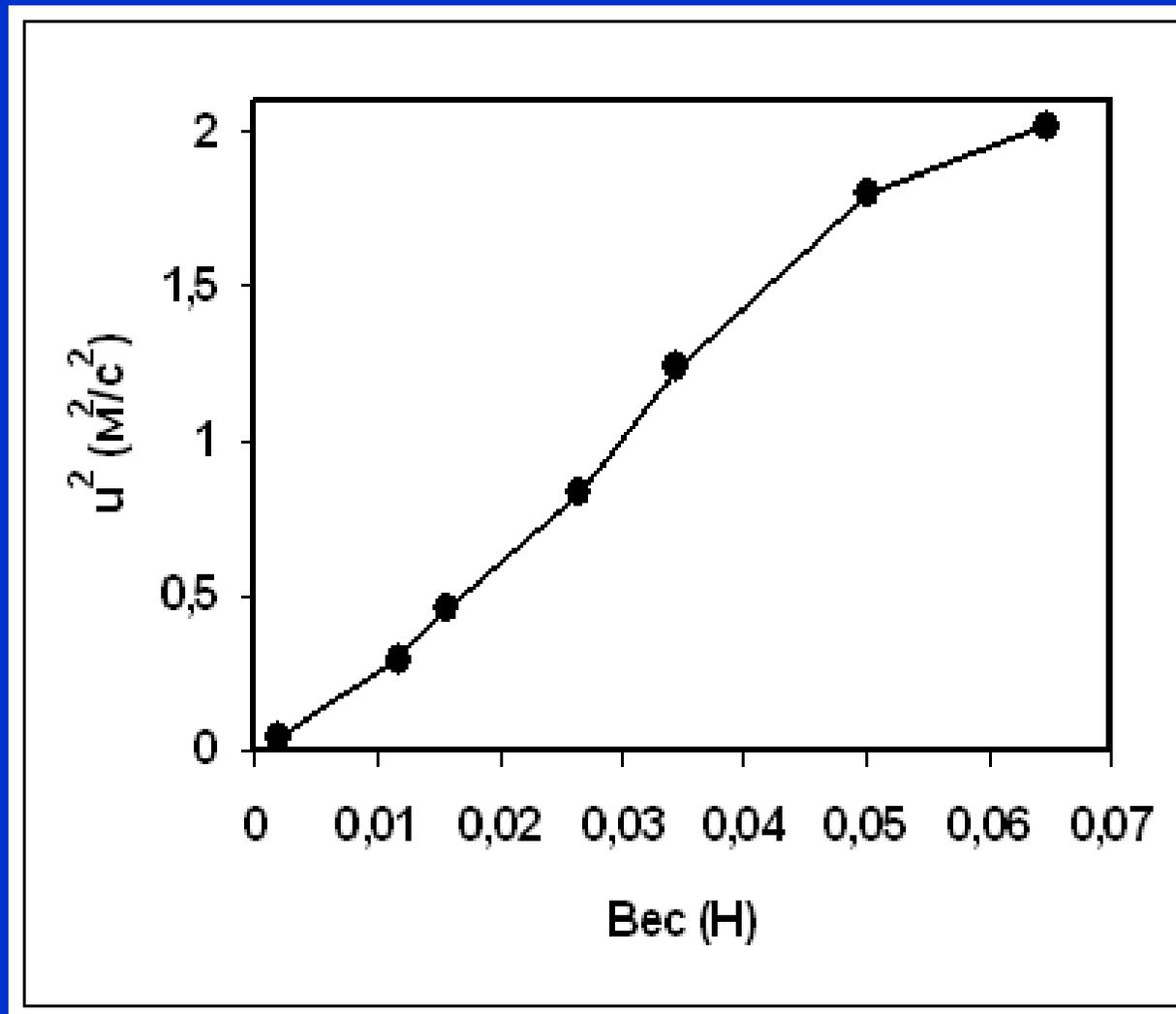
Сумма 200 слагаемых дает 5332

$$x = 8,49 \text{ см}$$

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

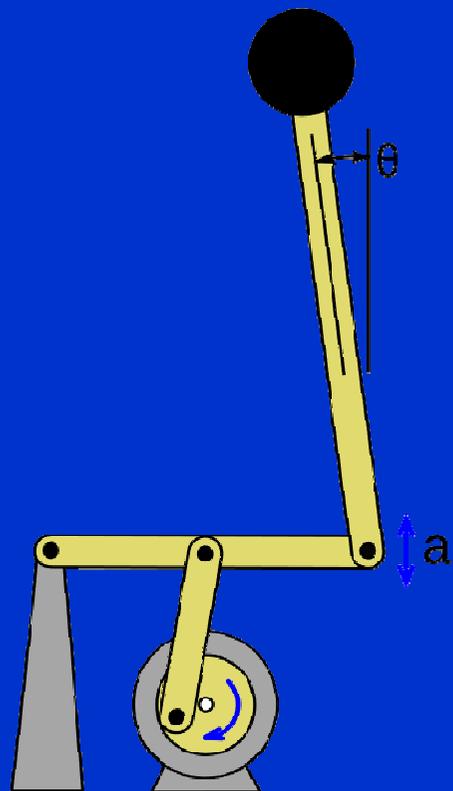
Направления исследовательских работ с проведением экспериментов

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

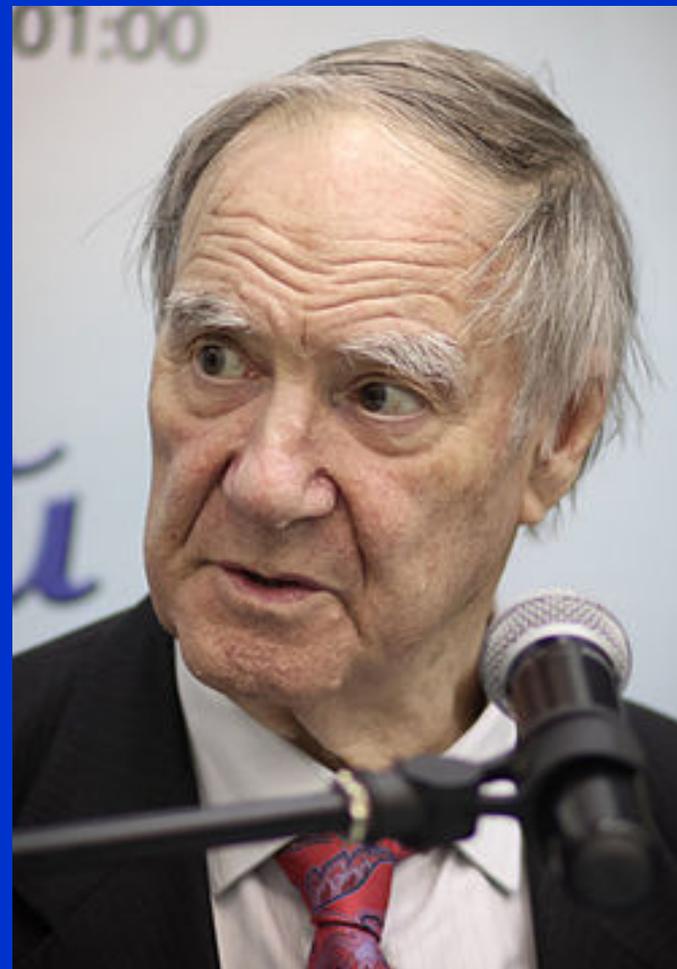
Направления исследовательских работ с проведением экспериментов (расчеты на Basic, C)

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

Маятник Капицы

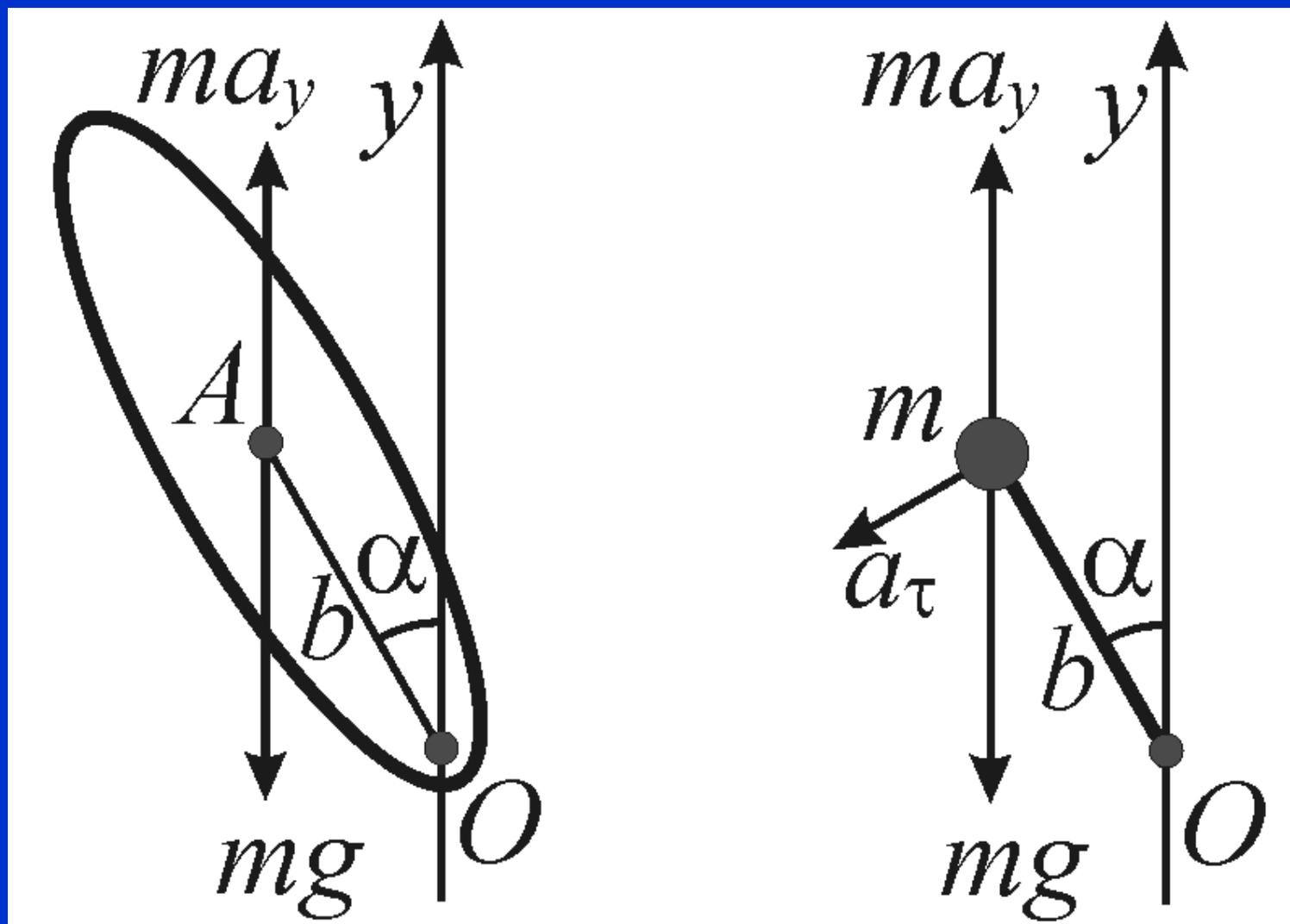


Маятник Капицы – маятник, ось которого вибрирует с постоянной частотой



Капица
Сергей Петрович
1928 - 2012

Моделирование маятника Капицы



Численное моделирование - схема Эйлера

Движение разбивается на равные промежутки
времени Δt

На каждом интервале

$$\omega_j = \omega_{j-1} + \varepsilon_{j-1} \Delta t$$

$$\alpha_j = \alpha_{j-1} + \omega_{j-1} \Delta t$$

II закон Ньютона в НСО:

$$(mg - ma_y)b \sin \alpha = I\varepsilon$$

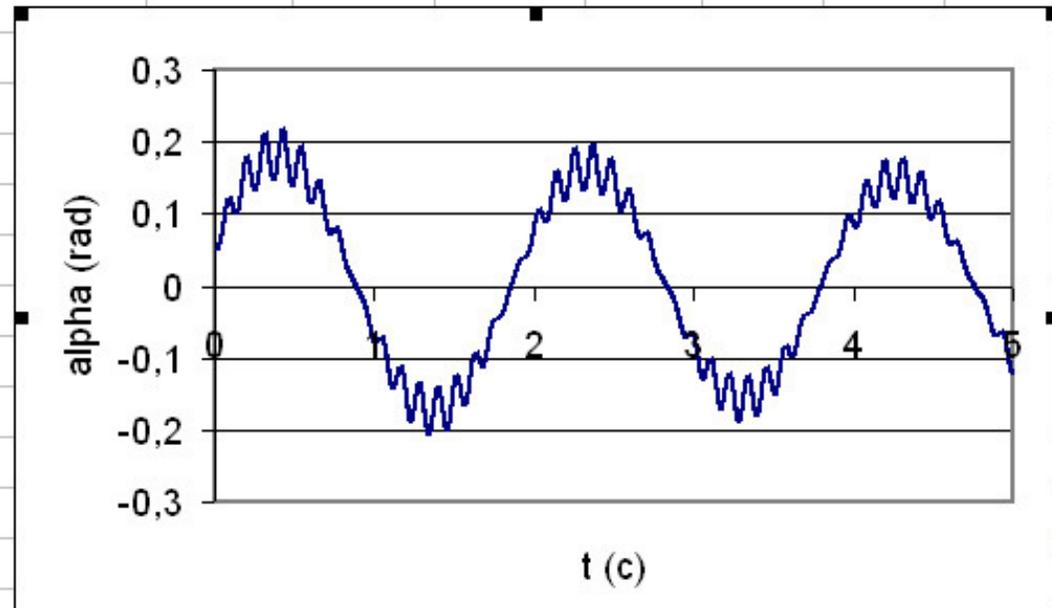
$$a_y = a_0 \sin(\Omega t + \varphi) = -x_0 \Omega^2 \sin(\Omega t + \varphi)$$

$$(mg - ma_y) \sin \alpha = Kma_\tau = Kmb\varepsilon \quad K = \frac{I}{mb^2}$$

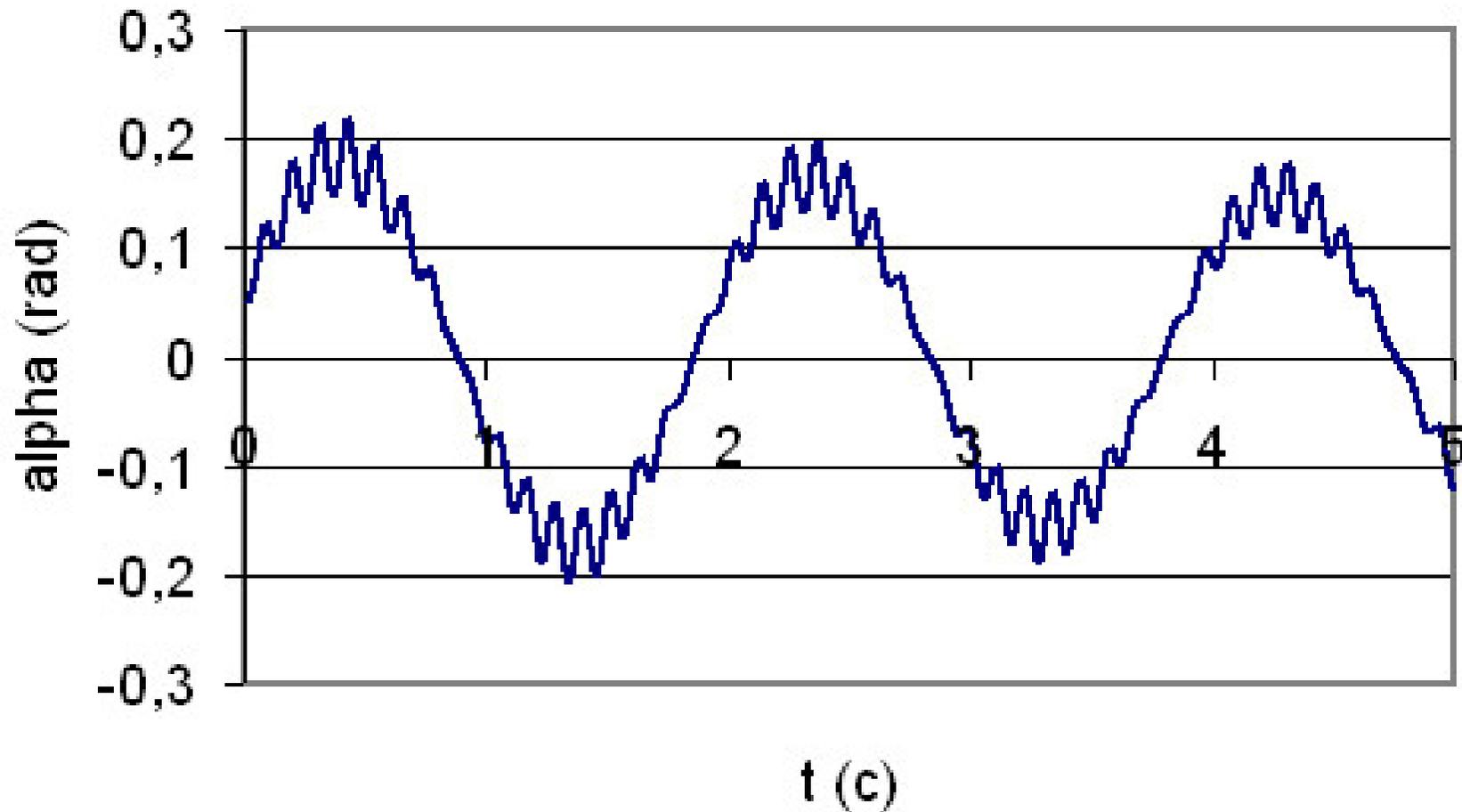
$$\varepsilon = \frac{(g + x_0 \Omega^2 \sin(\Omega t + \varphi)) \sin \alpha - \beta \omega}{Kb} \quad \beta = \frac{\eta b}{m}$$

Электронная таблица

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	t	alpha	alpha1	w	e	a0	w0	b	dt	K	x0	beta	phi
2	0	0,05	0,05	0	2,45	121	55	0,2	0,001	1	0,04	0,01	0
3	0	0,05	0,05	0,002	4,11								
4	0	0,05	0,05	0,007	5,77								
5	0	0,05	0,05	0,012	7,42								
6	0	0,05	0,05	0,02	9,05								
7	0,01	0,05	0,05	0,029	10,7								
8	0,01	0,05	0,05	0,039	12,3								
9	0,01	0,05	0,05	0,052	13,8								
10	0,01	0,05	0,05	0,066	15,4								
11	0,01	0,05	0,05	0,081	16,9								
12	0,01	0,05	0,05	0,098	18,4								
13	0,01	0,05	0,05	0,116	19,8								
14	0,01	0,05	0,051	0,136	21,2								
15	0,01	0,05	0,054	0,157	22,6								



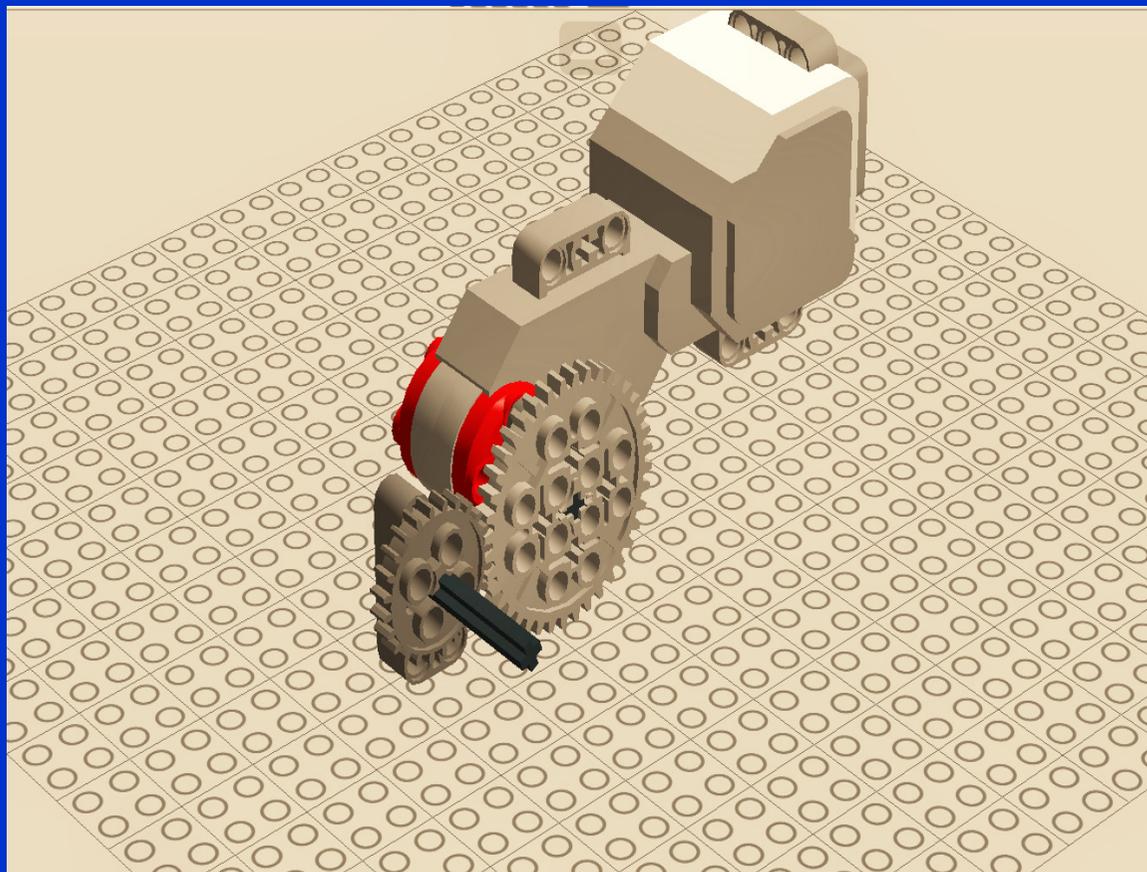
Результаты расчетов



$$\Delta t = 0,001 \text{ с}, b = 0,2 \text{ м}$$

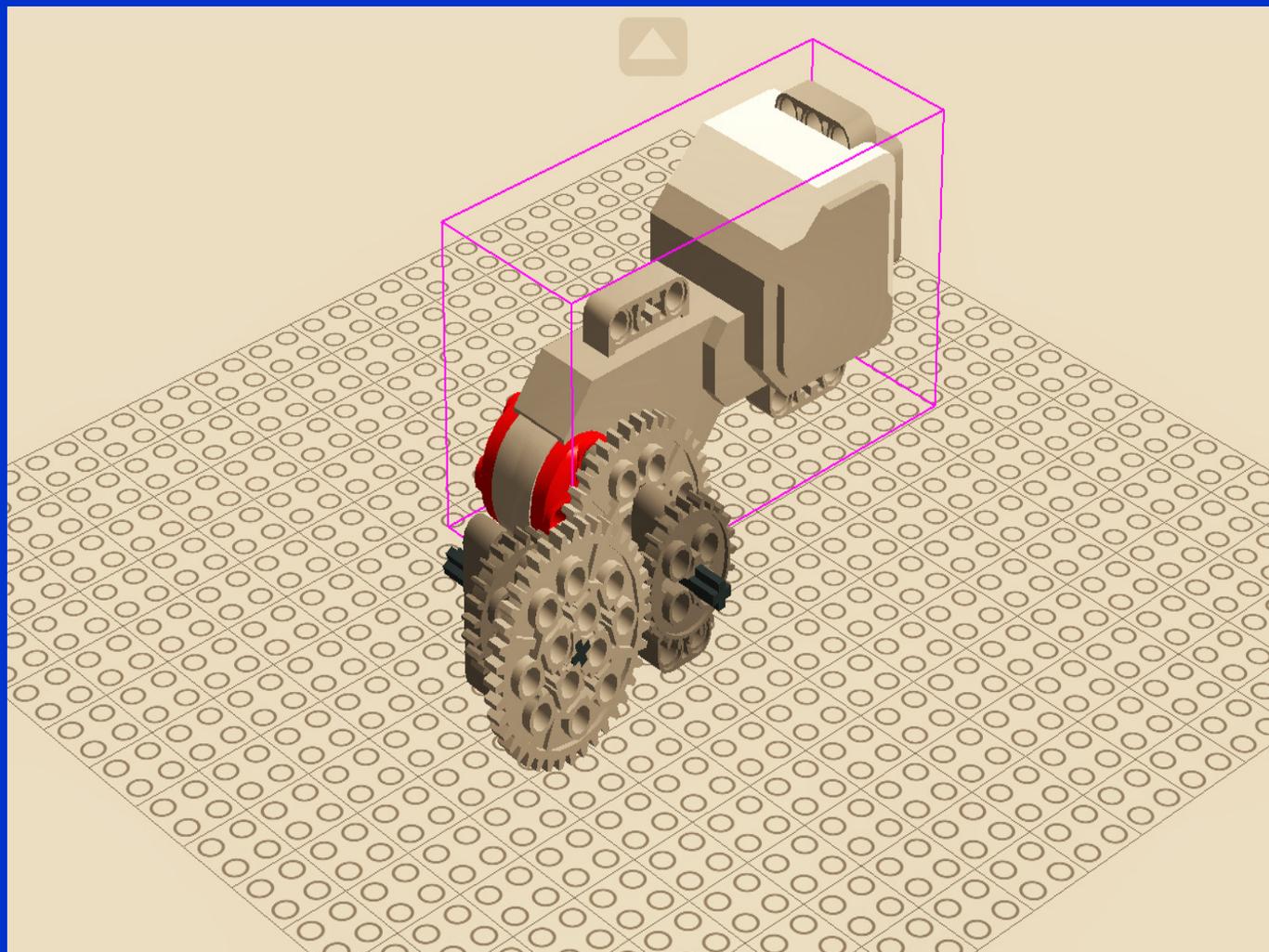
$$\Omega = 9 \text{ Гц (55 рад/с)}, x_0 = 0,04 \text{ м}$$

Вариант первый

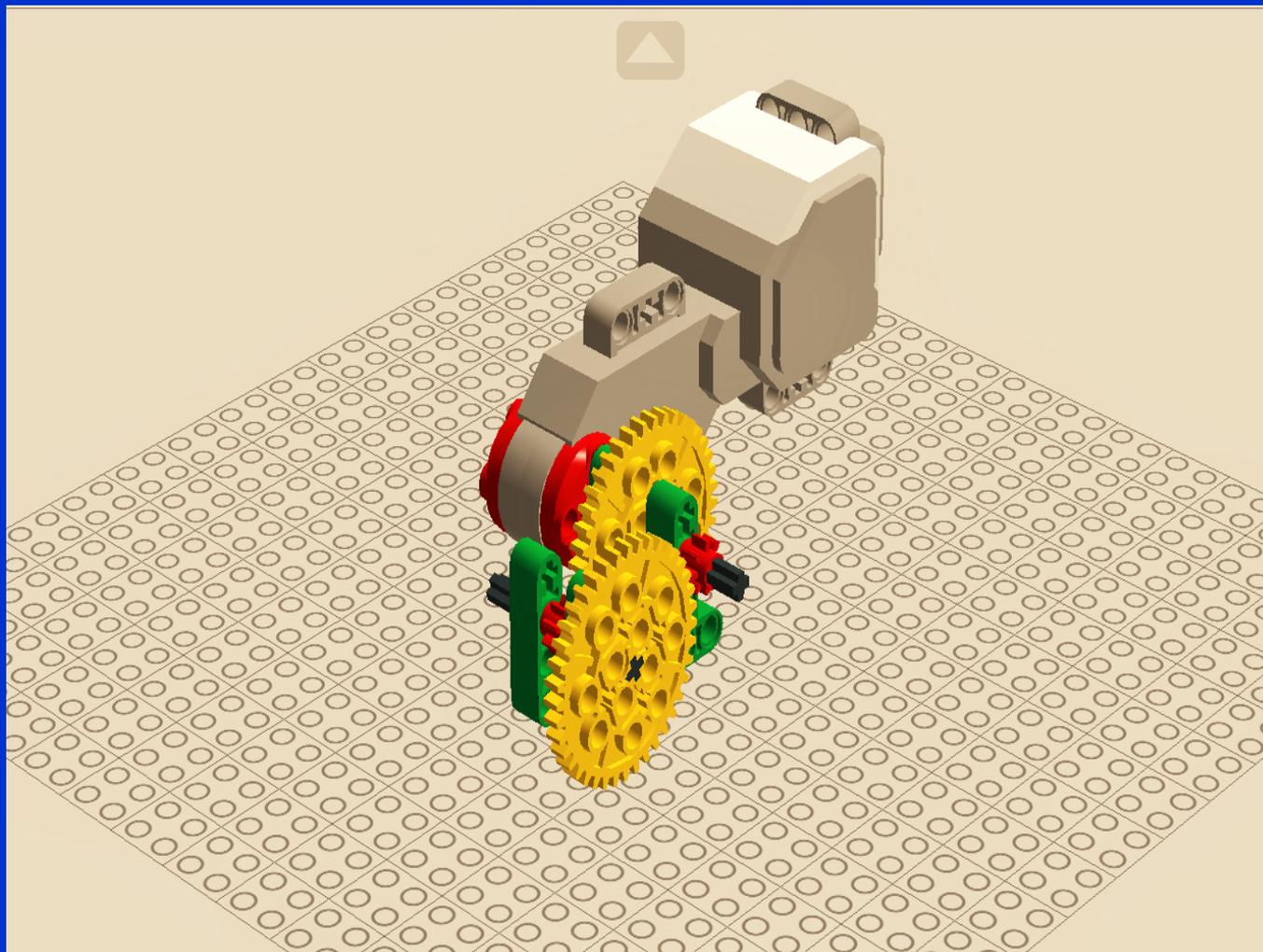


Маятник Капицы был сделан из конструктора LEGO Mindstorms ev3.

Вариант второй



Вариант третий



Частоту колебаний измеряли цифровым аппаратом

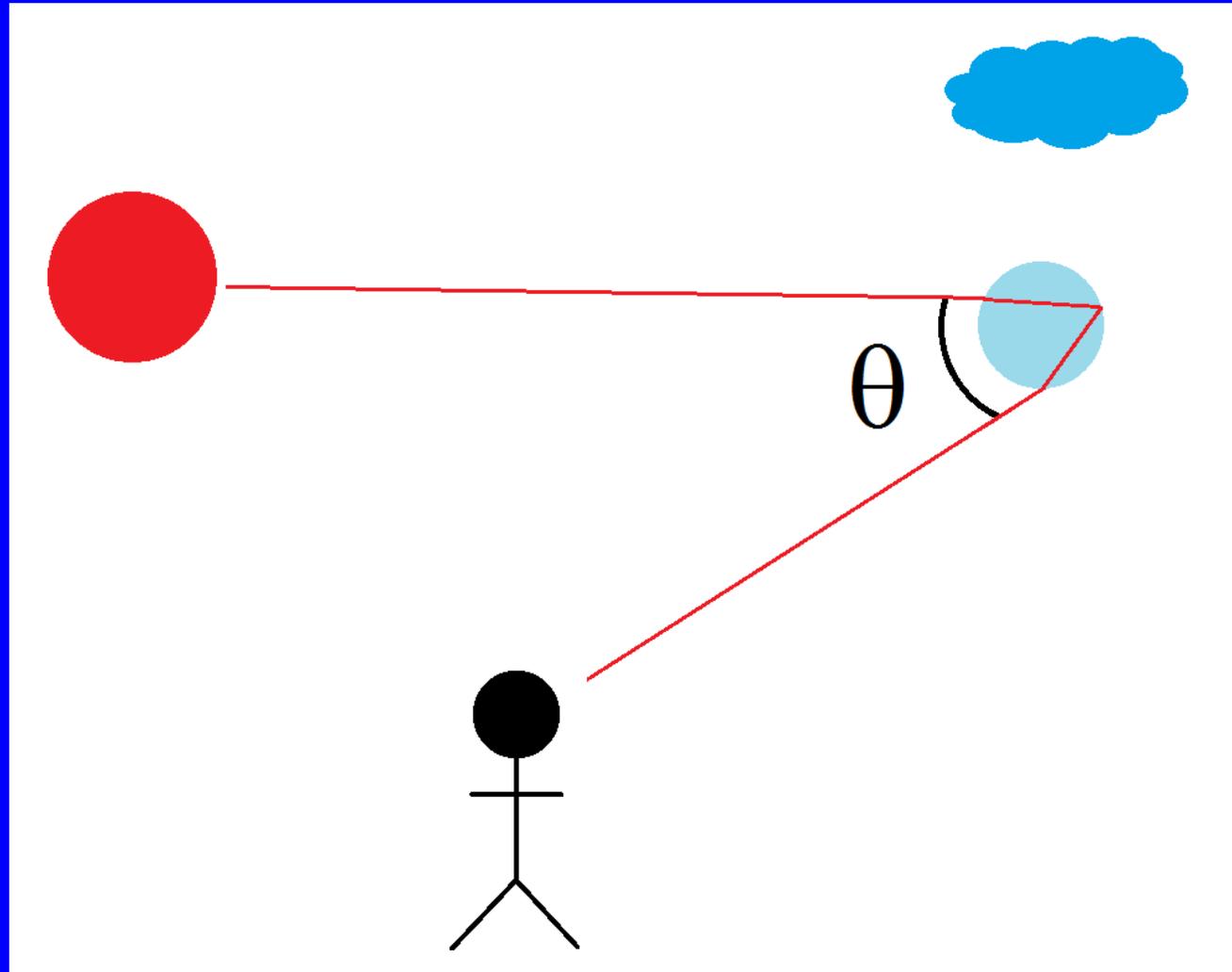
Физика радуги



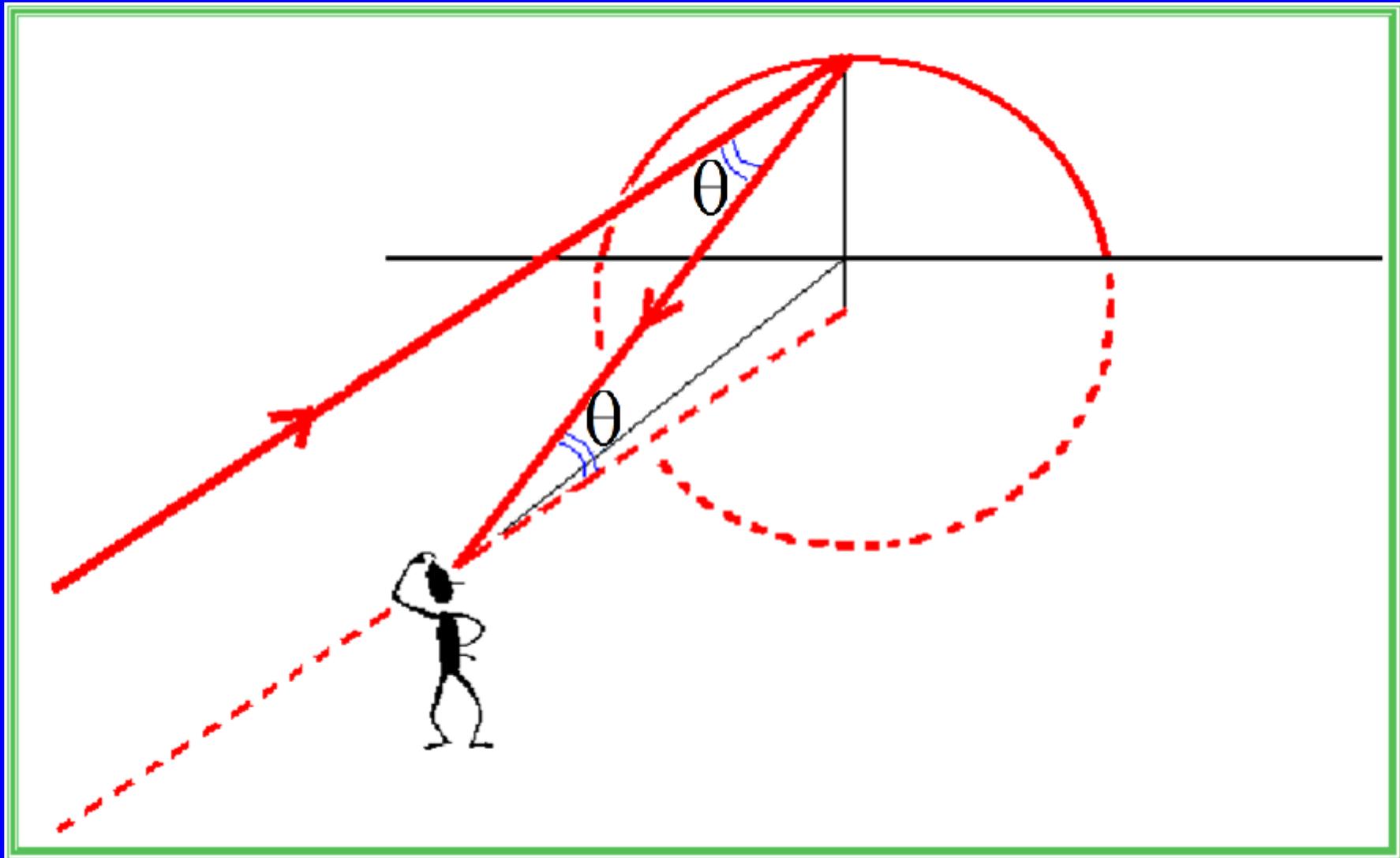
Физика радуги



Физика радуги

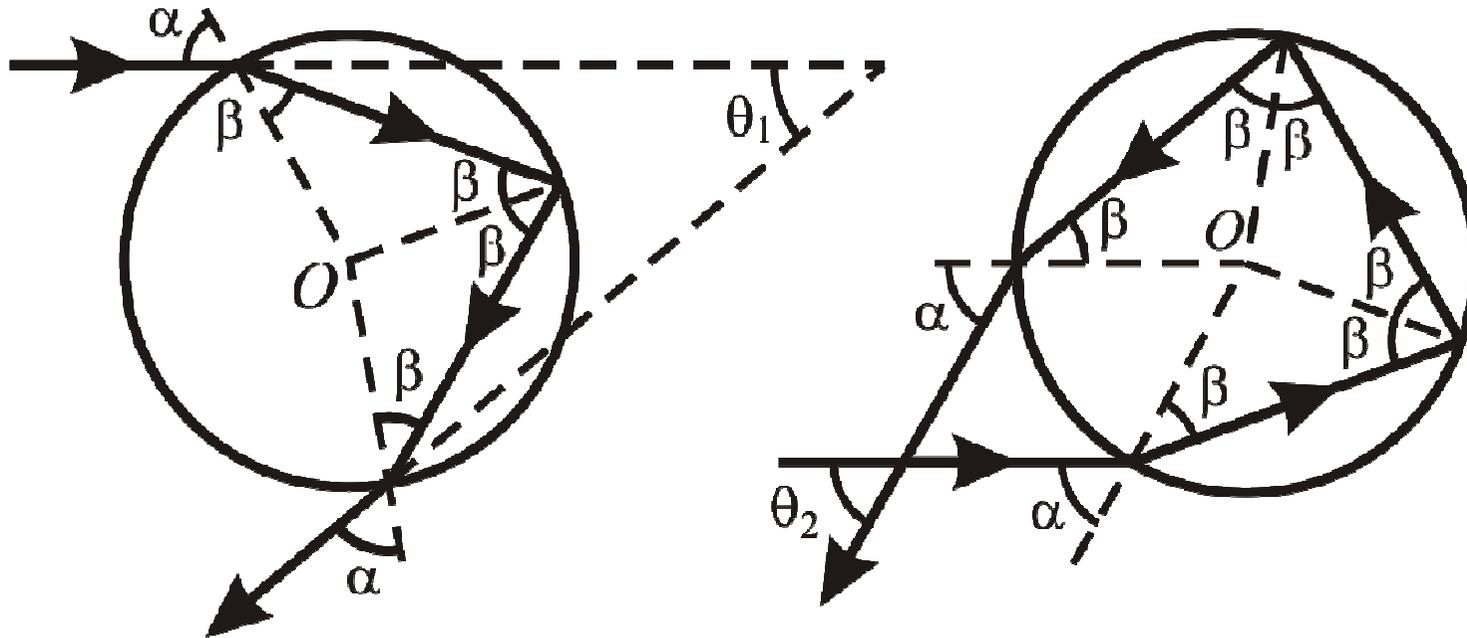


Физика радуги



Физика радуги

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

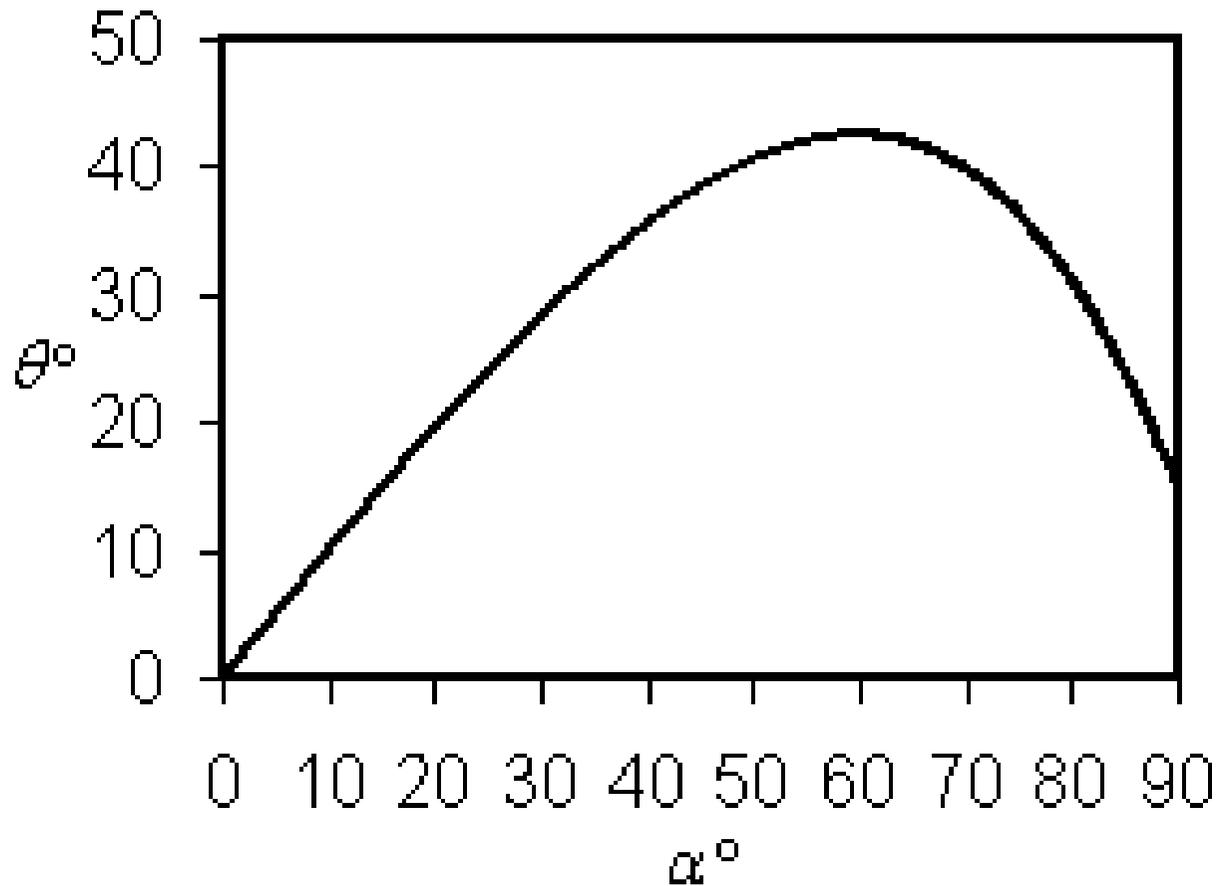


$$\theta_2 = 180^\circ - 6\beta + 2\alpha$$

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

Физика радуги

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



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

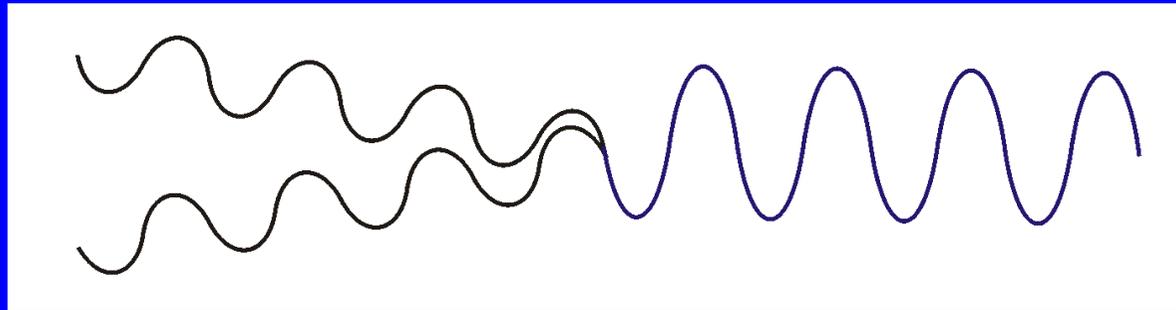
Дифракция и интерференция

Физика - Первое сентября 2013, №5

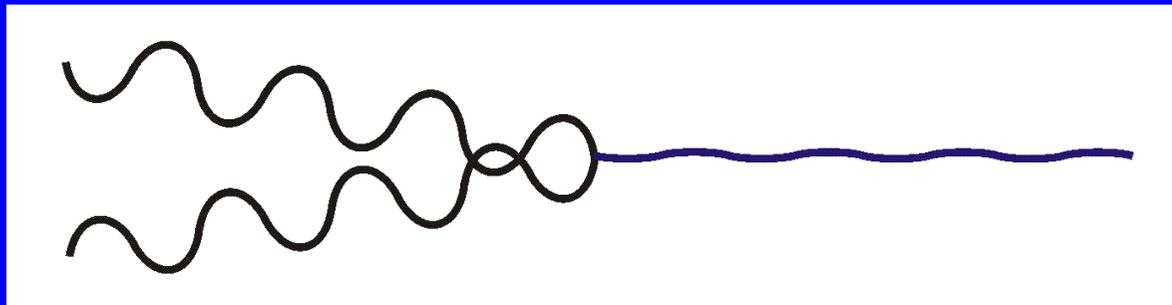
1. Волновая природа света
2. Принцип Гюйгенса-Френеля
3. Сложение волн, интерференция

Интерференция

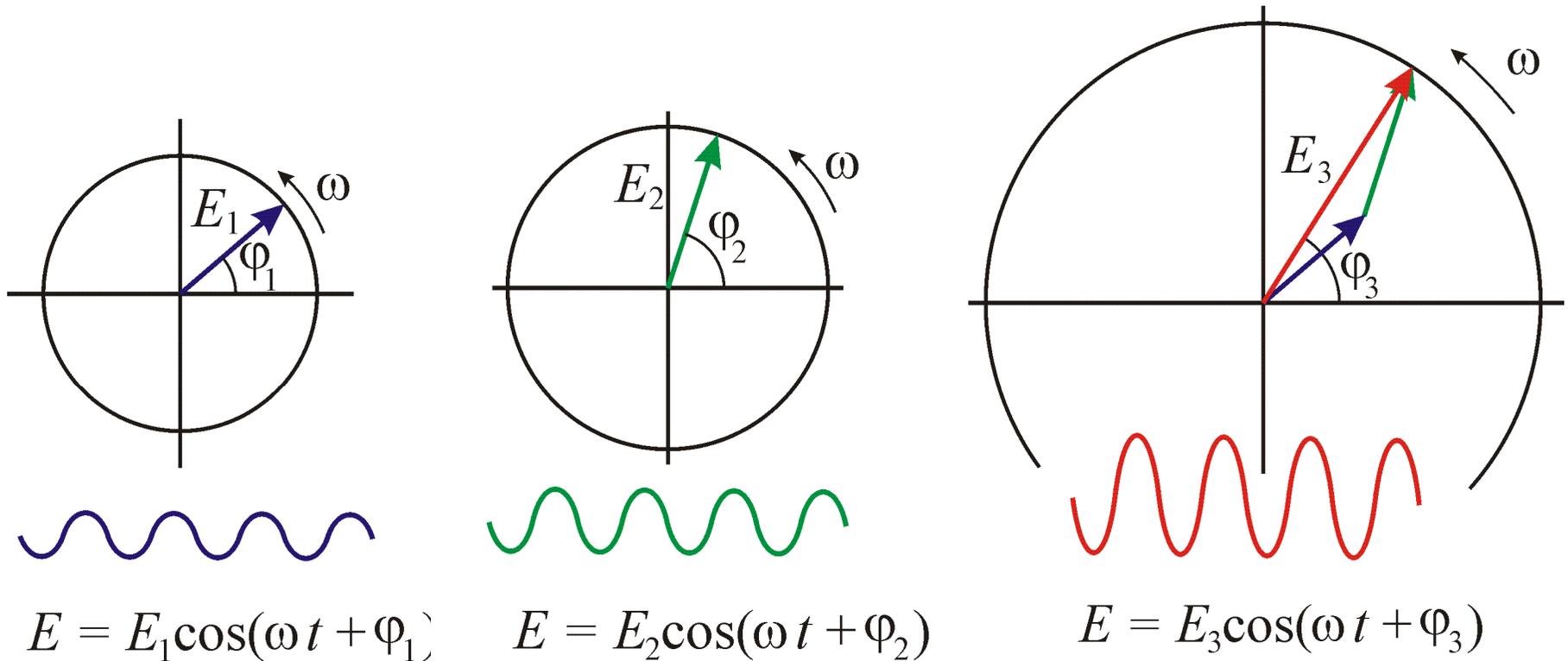
Если волны пришли «в фазе», они усиливаются.



Если волны пришли «в противофазе», они ослабевают

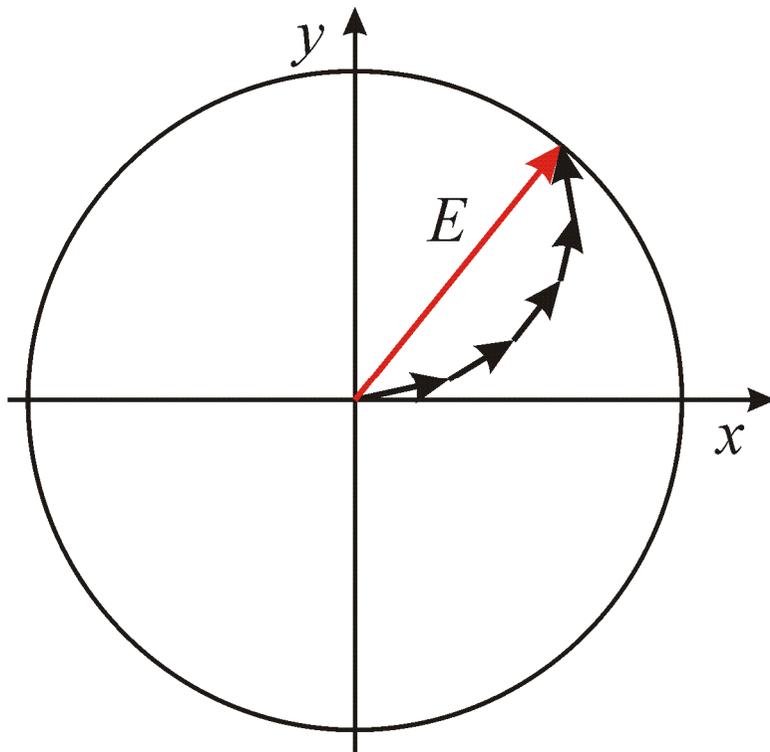


Интерференция



Сложение двух колебаний с помощью
векторной диаграммы

Дифракция



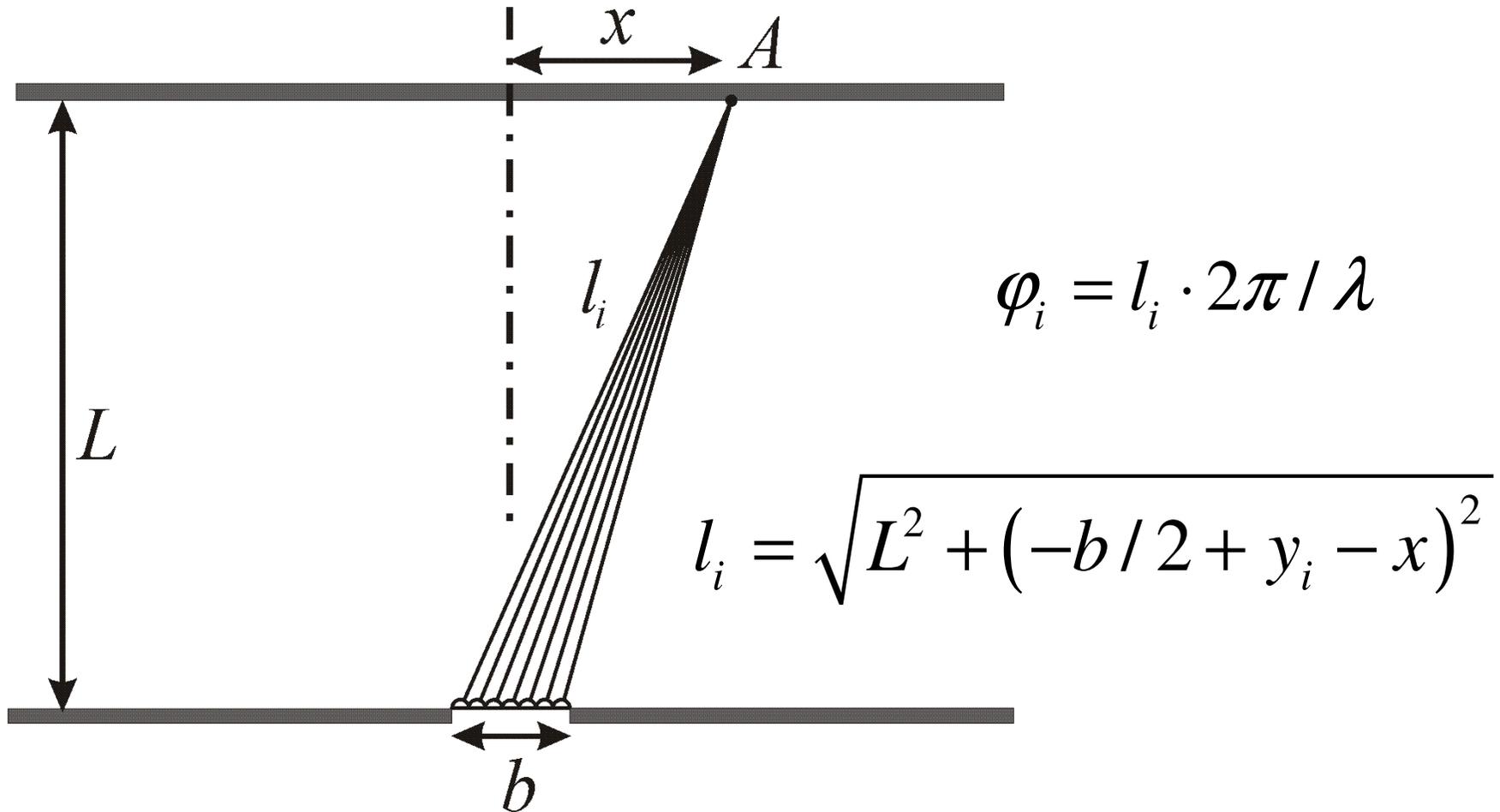
$$E_x = E_0 \sum_{i=1}^N \cos \varphi_i$$

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

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

Сложение двух колебаний с помощью
векторной диаграммы

Дифракция на щели



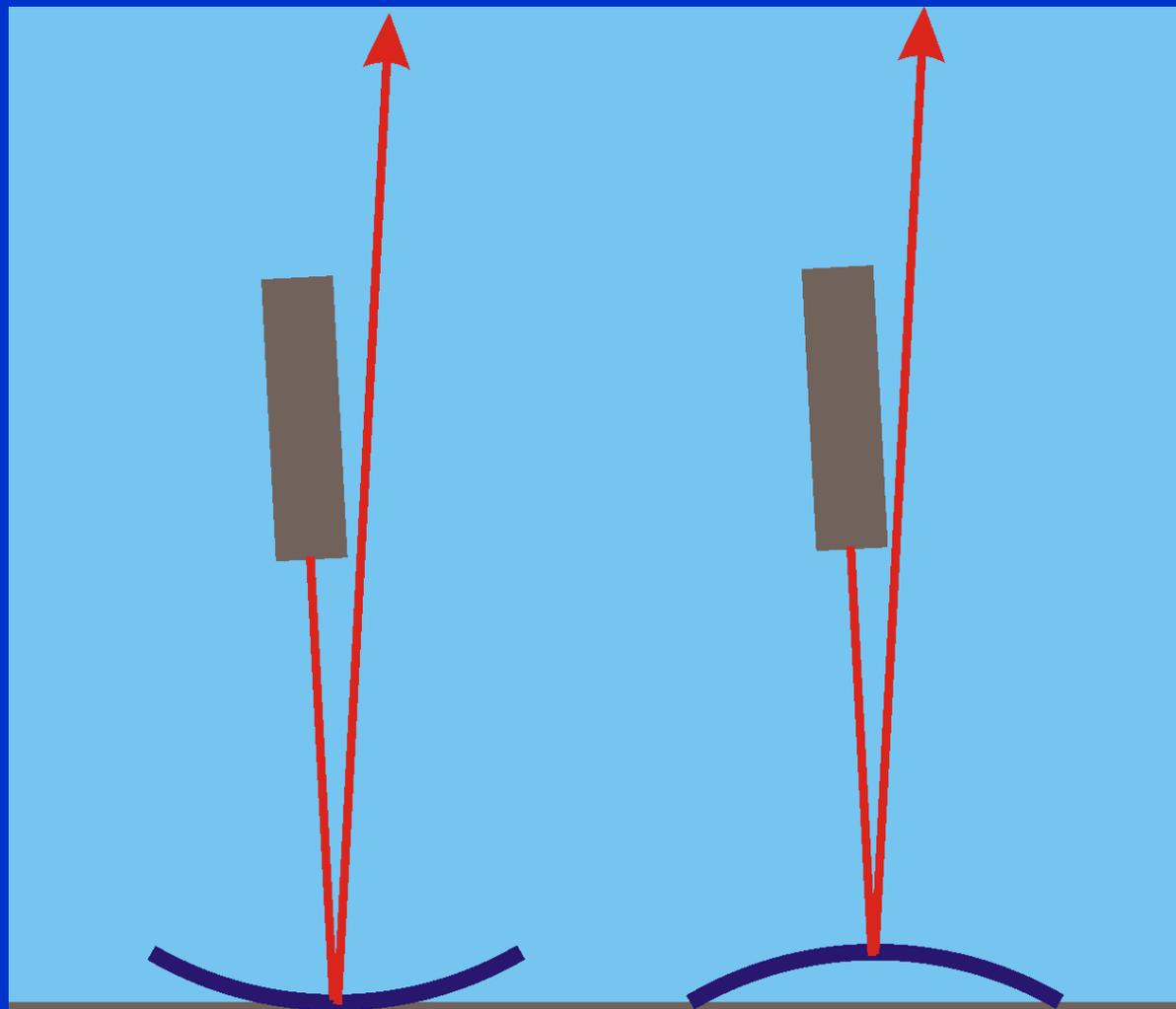
Составление формул

Дифракция на щели

C4 = =B4+\$D\$2

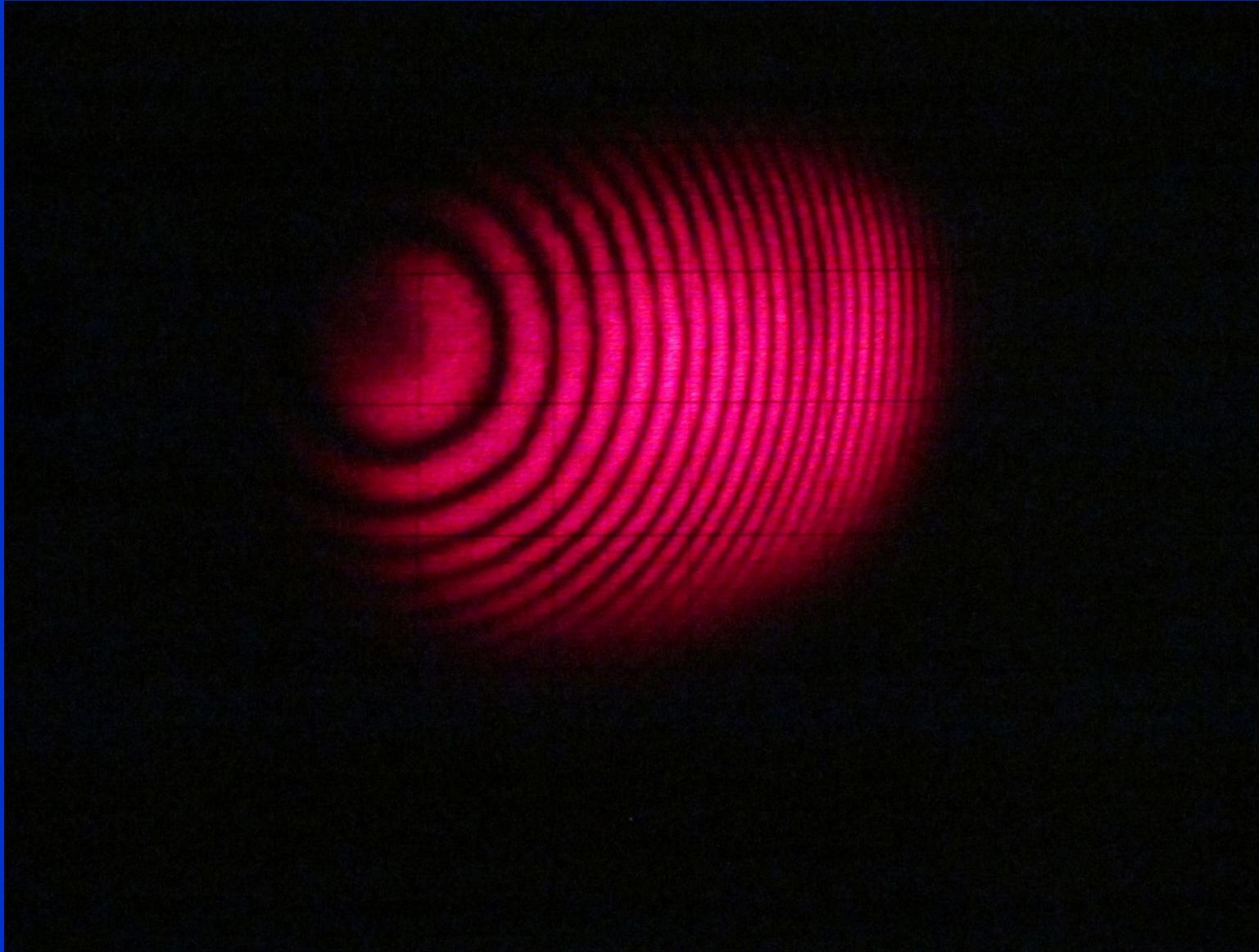
	A	B	C	D	E
1	b (мм)	L (мм)	lambda (мм)	delta x (мм)	
2	0,01	500	0,00065	0,5	
3					
4	x (мм)	0	0,5	1	1,5
5	Интенсивн	1	0,99922157	0,9968892	0,9930117
6	0,000005	0,000241	2,46513415	9,763238	21,894531
7	Интенсивность (отн. ед.)				
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17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

Кольца равного наклона

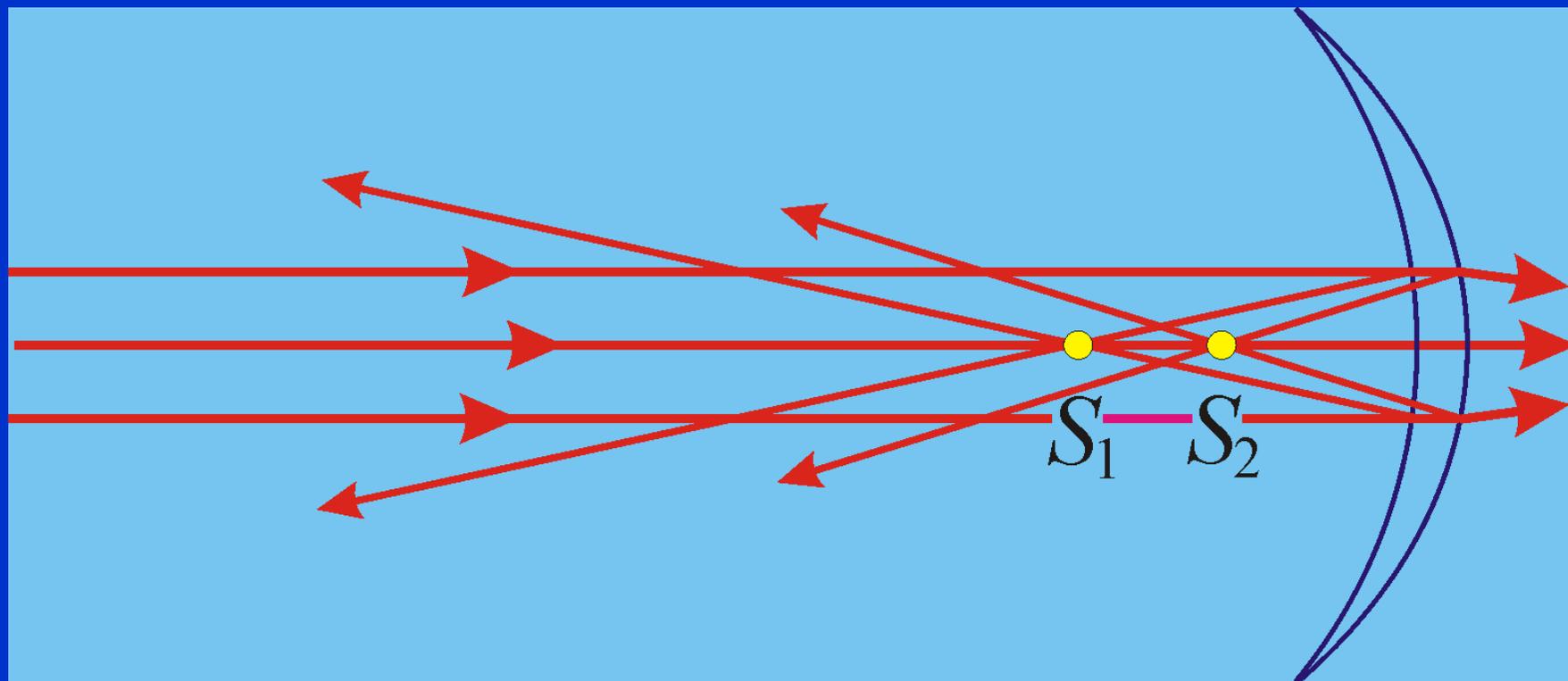


Физика в школе – 2016 (в печати)

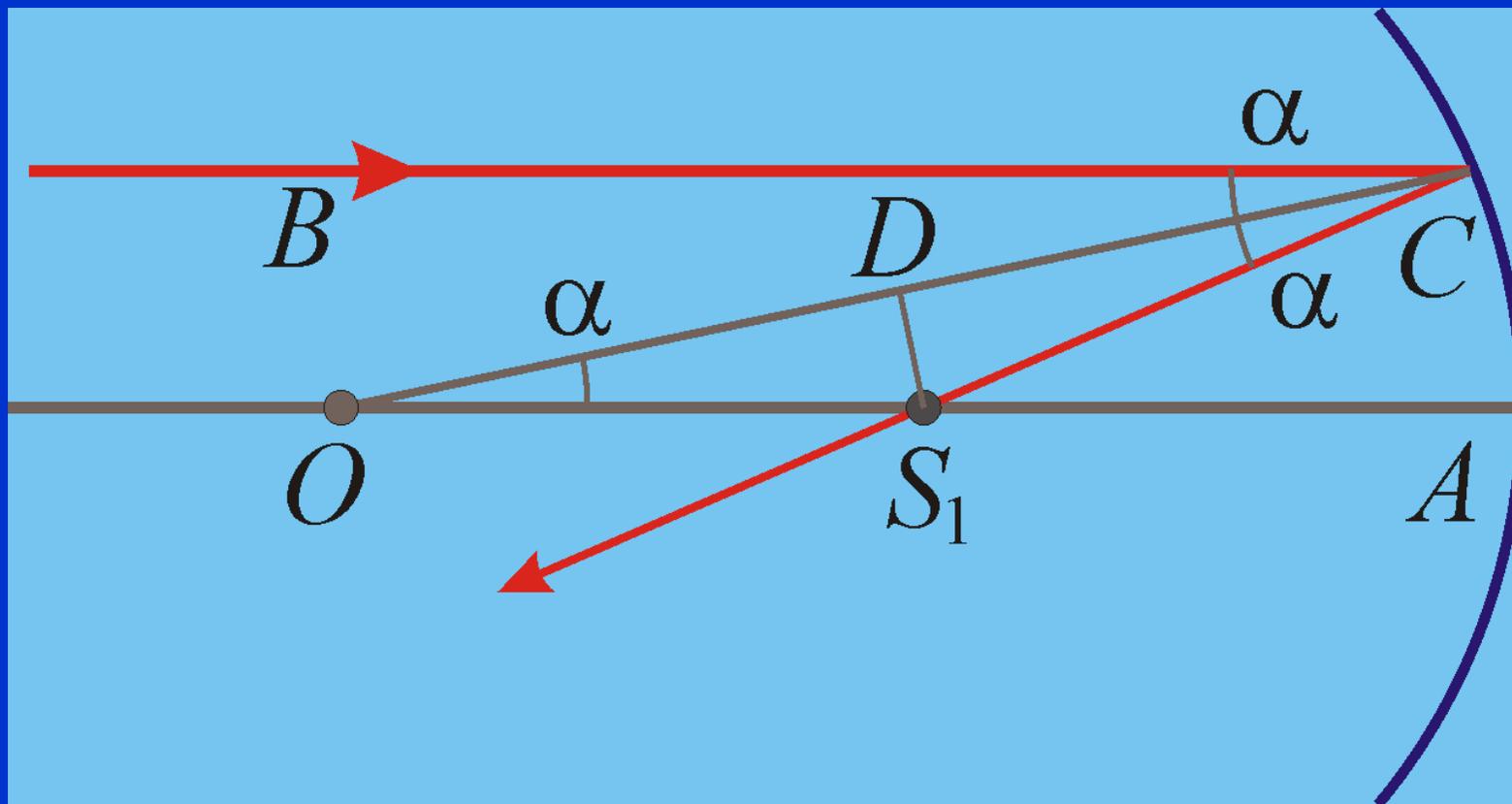
Наблюдаемая картинка



Когерентные источники

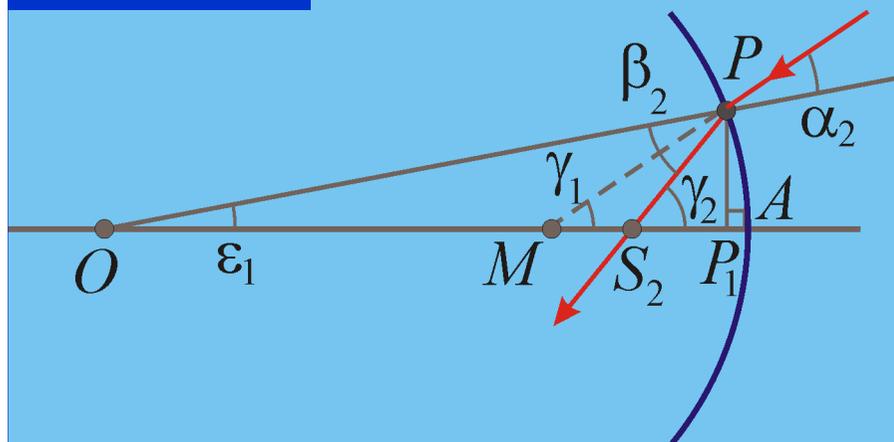
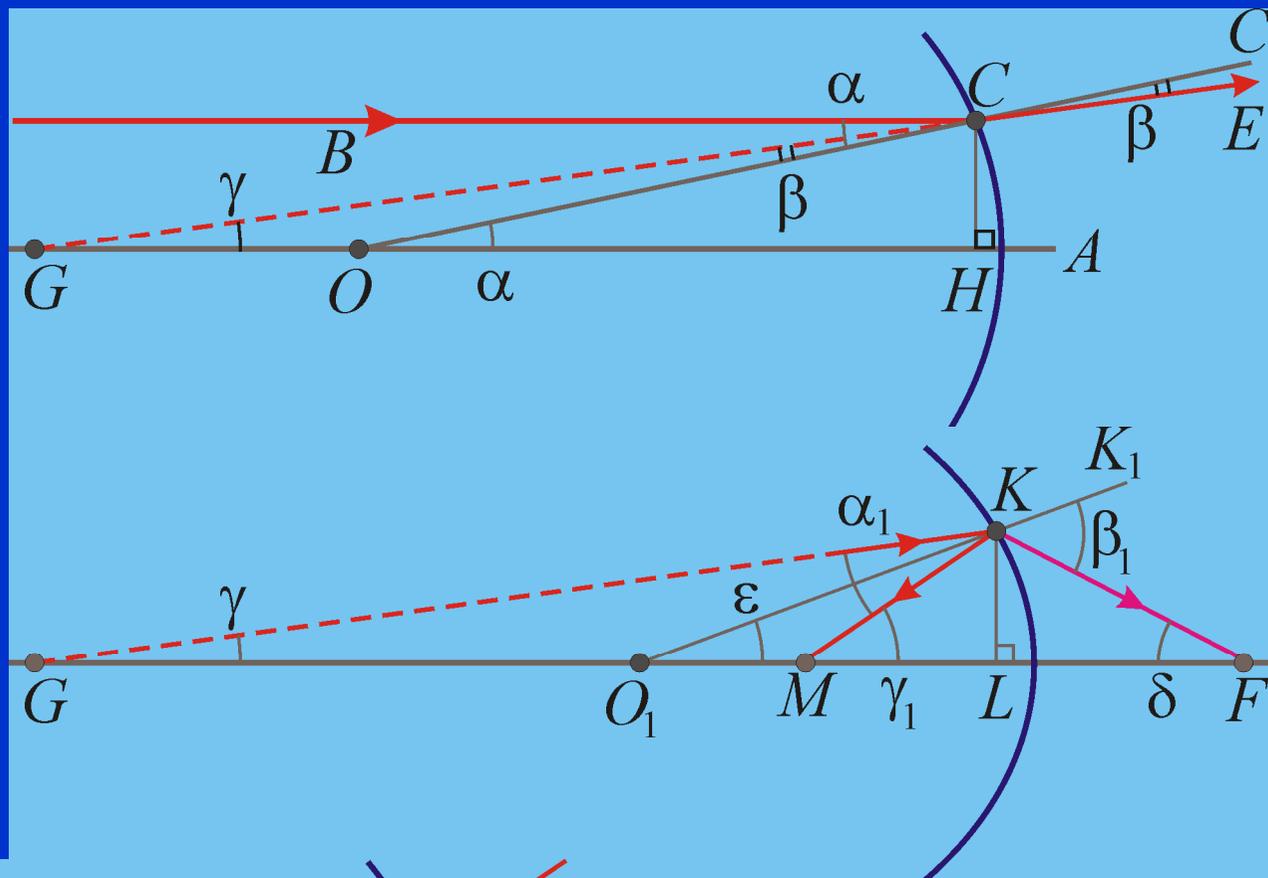


Положение первого источника



$$AS_1 = R_1/2$$

Положение второго источника



$$|S_2 A| = \frac{R_1 R_2}{2nR_1 - 2nR_2 + 2R_2}$$

Расстояние между источниками

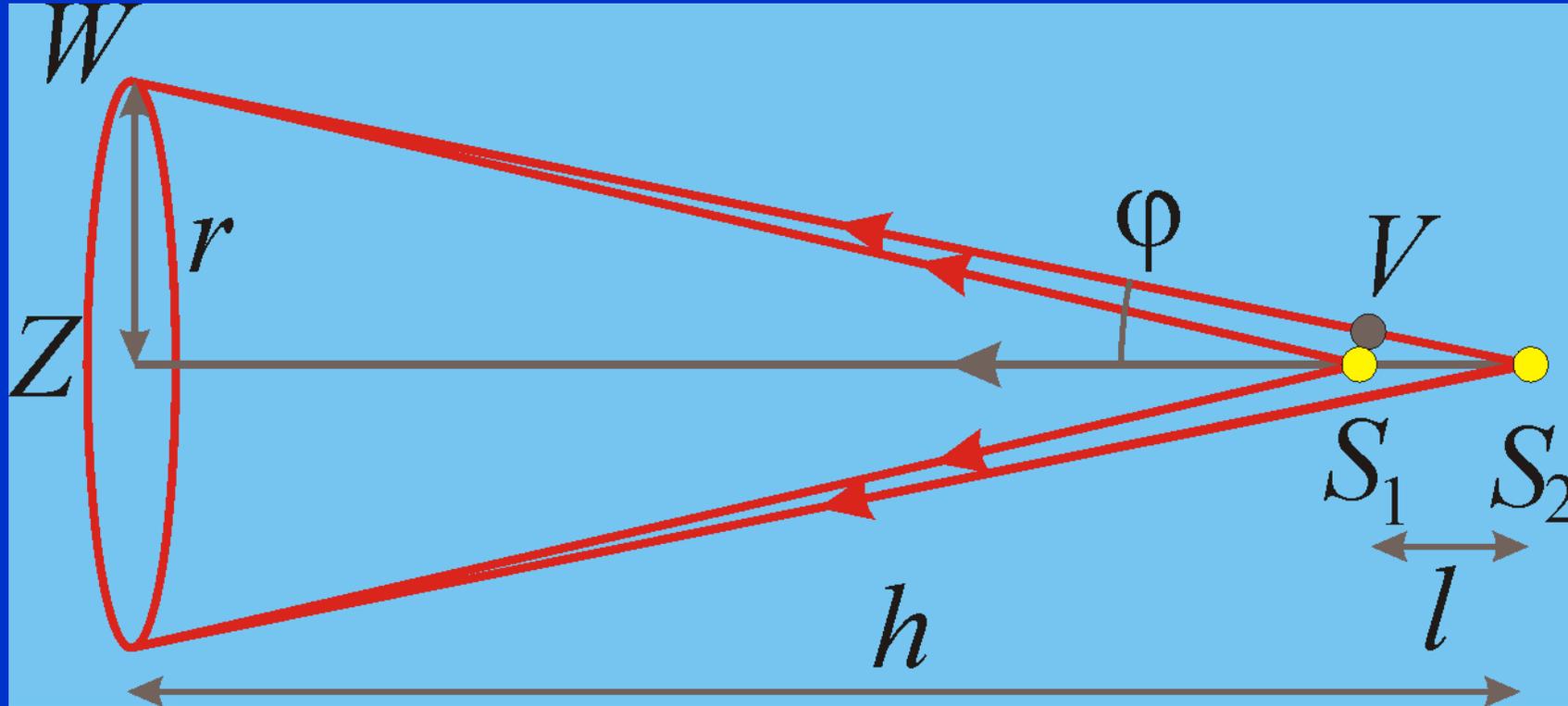
$$|S_1 S_2| = \left| \frac{R_1}{2} \frac{n(R_1 - R_2)}{n(R_1 - R_2) + R_2} \right|$$

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



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

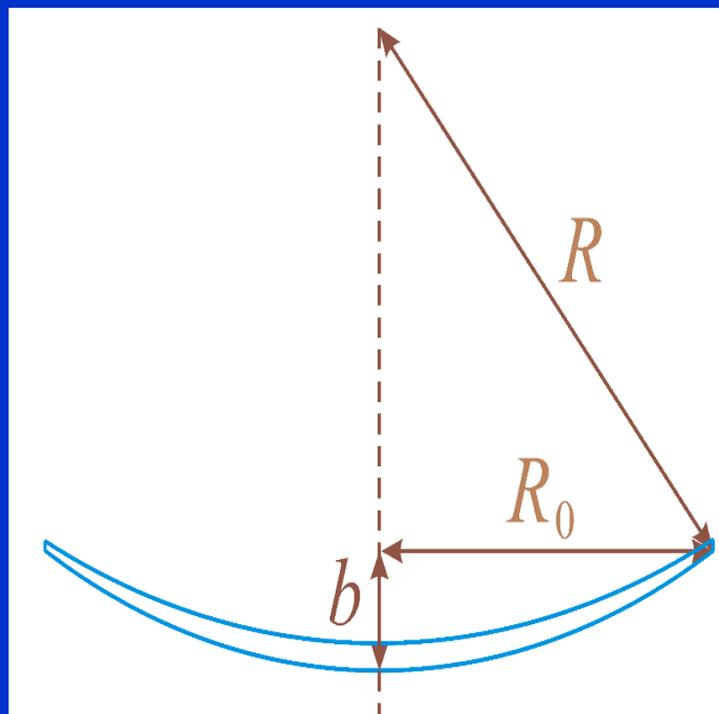
$$r = h\varphi = h\sqrt{\frac{2m_1\lambda}{l}}$$

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

Расчет параметров

ЛИНЗ

$$R = \frac{R_0^2 + b^2}{2b}$$



D , дптр	R_0 , мм	b , мм	R , мм	l , мм
-0,5	35± 0,02	6,8±0,2	94±2	6,5±0,5
0,25		5,0±0,2	127±2	6,0±0,5
0,5		6,0±0,2	106±2	8,5±0,5

Параметры указок

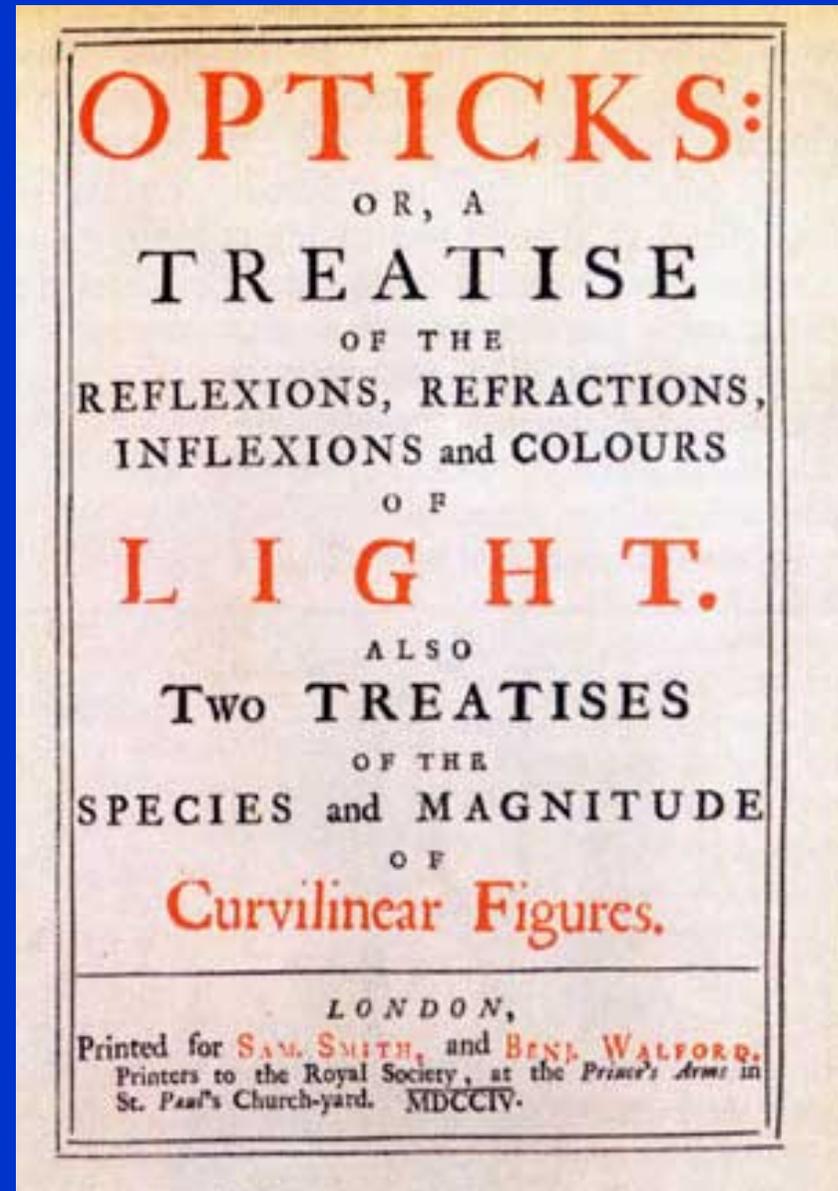
Цвет	Расстояние до экрана (h), см	Расстояние от центра до первых макс. (x), см	φ , град.	Длина волны, нм
Красный	309±1	106±0,5	19,0±0,2	650±5
Зелёный		83±0,5	15,2±0,2	520±5
Фиолетовый		62±0,5	11,4±0,2	395±5

Эксперимент

линза		указка	изображение			l , мм	
D , дптр		λ , нм	h , мм	$r1$, мм	$r2$, мм	эксп	расч
-0,5		650±5	1345±5	18±2	28±2	5±1	6,5± 0,5
			2305±5	35±2	48±2	7±1	
0,25			3025±5	45±2	60±2	8±1	6,0± 0,5
0,5			2390±5	32±2	41±2	11±1	8,5± 0,5
		520±5	25±2	35±2	10±1		

«**Наблюдение 1.** Когда солнце светило в мою затемненную комнату сквозь отверстие в одну треть дюйма шириною, я заставлял вошедший пучок света падать перпендикулярно на **стеклянное зеркало**, вогнуто отшлифованное с одной стороны и выпукло – с другой по сфере с радиусом в пять футов и одиннадцать дюймов и покрытое ртутью с выпуклой стороны. В центре сферы, по которой было отшлифованное зеркало, т.е. **на расстоянии около пять футов и одиннадцать дюймов от зеркала**, я держал белый непрозрачный картон или бумагу таким образом, что пучок света мог проходить через маленькое отверстие в середине картона к зеркалу и оттуда отражался обратно к тому же отверстию. Я наблюдал тогда на картоне **четыре или пять концентрических радуг или цветных колец, подобных дождевой радуге**, окружавших отверстие...»

И. НЬЮТОН.
Оптика или Трактат
об отражениях,
преломлениях,
изгибаниях и цветах
света. – М. – Л.:
Госиздат, 1927.
(с. 227 – книга 2,
часть IV)



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.



Рыжиков Сергей Борисович phys-school@rambler.ru

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

www.olmamedia.ru/authors/13728/