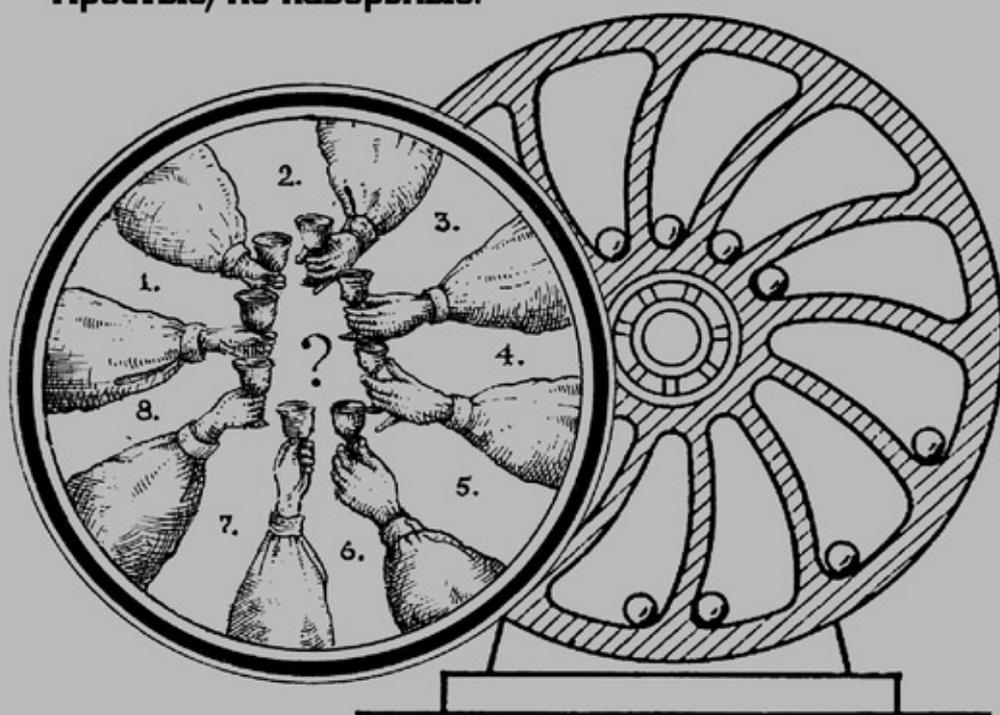


**Я.И. ПЕРЕЛЬМАН**

**ЗНАЕТЕ  
ЛИ ВЫ  
ФИЗИКУ?**

**Веселые задачи.  
Простые, но каверзные.**



# Яков Исидорович Перельман Знаете ли вы физику?

<http://litres.ru/>

[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=4986523](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=4986523)

*Знаете ли вы физику? Физическая викторина для юношества: АСТ, Астрель, Хранитель; Москва;  
2007*

*ISBN 978-5-17-044187-7*

## **Аннотация**

Одно из лучших классических пособий по физике. Увлекательные физические викторины, скрывающие неожиданные результаты, научат логически рассуждать и нестандартно мыслить.

# Содержание

Из предисловия автора ко второму изданию	10
Вопросы	12
I. Механика	12
1	12
2	12
3	12
4	12
5	12
6	12
7	12
8	12
9	13
10	13
11	13
12	13
13	13
14	14
15	14
16	14
17	14
18	14
19	14
20	14
21	15
22	15
23	15
24	15
25	15
26	16
27	17
28	17
29	17
30	17
31	18
32	19
33	19
34	19
35	20
36	20
37	20
38	20
39	20
40	20
41	21
42	21
43	21

44	21
45	22
46	22
47	22
48	23
49	23
50	24
51	24
52	25
53	25
54	26
55	26
56	27
57	27
58	27
59	28
II. Свойства жидкостей	29
60	29
61	29
62	29
63	30
64	30
65	30
66	30
67	31
68	31
69	31
70	31
71	31
73	32
74	32
75	32
76	32
77	33
78—79	33
80	34
81	34
82	35
III. Свойства газов	36
83	36
84	36
85	36
86	37
87	37
88	37
89	37
90	38
91	38
92	38

93	38
94	38
95	38
96	38
97	39
98	39
99	39
100	39
101	40
102	40
103	40
104	40
105	41
106	41
107	41
108	41
109	42
110	42
111	43
112	43
113	43
114	43
115	43
IV. Тепловые явления	44
116	44
117	44
118	44
119	44
120	44
121	44
122	44
123	44
124	45
125	45
126	45
127	45
128	45
129	45
130	45
131	45
132	46
133	46
134	46
135	46
136	46
137	46
138	46
139	46
140	46

141	46
142	47
143	47
144	47
145	47
146	47
147	47
148	47
149	47
150	47
151	48
152	48
153	48
154	48
155	48
156	48
157	49
158	49
159	49
160	49
161	49
162	49
163	49
164	49
165	50
V. Звук и свет	51
166	51
167	51
168	51
169	51
170	51
171	51
172	51
173	51
174	52
175	52
176	52
177	52
178	52
179	53
180	54
181	54
182	54
183	54
184	54
185	54
186	54
187	55
188	55

189	55
190	55
191	55
193	55
194	55
195	55
196	56
197	56
198	57
199	57
200	57
201	57
VI. Разные вопросы	58
202	58
203	58
204	58
205	58
206	58
207	58
208	59
209	59
210	59
211	59
212	59
213	59
214	60
215	60
216	60
217	60
218	61
219	61
220	61
221	62
222	62
223	62
224	62
225	62
226	63
227	63
228	63
229	63
230	63
231	63
232	63
233	63
234	64
235	64
236	64
237	64

238	64
239	64
240	64
241	64
242	64
243	65
244	65
245	65
246	65
247	65
Ответы	66
I. Механика	66
1. Меры крупнее метра	66
2. Литр и кубический дециметр	66
3. Мельчайшая мера длины	66
4. Наибольшая мера длины	67
5. Легкие металлы. Металлы легче воды	68
6. Вещество наибольшей плотности	69
7. На необитаемом острове	70
8. Вес паутиной нити	71
9. Модель Эйфелевой башни	71
10. Тысяча атмосфер под пальцем	72
11. Сто тысяч атмосфер силою насекомого	72
12. Гребец на реке	74
13. Флаги азростата	74
14. Круги на воде	74
15. Бутылки и пароходы	75
16. Закон инерции и живые существа	75
17. Движение и внутренние силы	75
18. Трение как сила	76
19. Трение и движение животных	76
20. Натяжение веревки	77
21. Магдебургские полушария	78
22. Безмен	78
23. Приседание на весах	79
24. На воздушном шаре	79
25. Муха в банке	79
26. Маятник Максвелла	79
27. Плотничный уровень в вагоне	81
28. Отклонение пламени свечи	83
29. Согнутый стержень	83
30. Два безмена	84
31. Рычаг	84
32. На платформе	85
33. Провисающая веревка	85
34. Увязший автомобиль	86
35. Трение и смазка	87
36. По воздуху и по льду	87
37. Падение тела	88

38. Затыжной прыжок с парашютом	88
39. Куда бросить бутылку?	90
40. Из вагона	90
41. Три снаряда	90
42. Путь брошенного тела	90
43. Наибольшая скорость артиллерийского снаряда	91
44. Прыжки в воду	91
45. На краю стола	92
46. На наклонной плоскости	94
47. Два шара	94
Конец ознакомительного фрагмента.	97

# Яков Исидорович Перельман

## Знаете ли вы физику? Физическая викторина для юношества

### Из предисловия автора ко второму изданию

Настоящая книга, почти не выходящая из рамок элементарной физики, предназначена для читателя, прошедшего физику в полной средней школе и убежденного поэтому, что начала этой науки ему хорошо известны и переизвестны.

Долголетний опыт научил меня, однако, тому, что подлинное знание элементарной физики явление довольно редкое. Внимание большинства интересующихся физикой преждевременно обращается к новейшим ее успехам; в ту же сторону, к последним страницам физической науки, направляют интерес читателей и наши популярно-научные журналы. О пополнении пробелов первоначальной подготовки заботятся мало; считается, что здесь все благополучно. Возвращаться к элементарной физике не принято, и она живет в памяти многих такую, какою была воспринята некогда умом школьника-подростка.

В итоге физику плохо знают не только те, кто не проходил ее систематически, но зачастую и те, кто обучался ей в школе. Элементы физической науки, фундамент естествознания и техники оказываются заложенными довольно шатко. Сила рутины здесь так велика, что некоторые физические предрассудки и заблуждения случалось обнаруживать даже у специалистов-физиков, не исключая и весьма крупных.

Насколько я мог убедиться, сходное положение вещей наблюдается и за рубежом. По-видимому, корень дела кроется в обширности самого предмета элементарной физики, которым трудно вполне овладеть в несколько лет. К чести нашей читательской массы надо признать, что она добросовестно стремится изжить этот недостаток и гораздо серьезнее заботится о пополнении пробелов своего образования, чем читатель за рубежом. Не только среди учащихся, но еще больше среди рабочей молодежи идет интенсивная самообразовательная работа, неизменно растущая и приносящая заметные плоды. В этом убеждают меня многочисленные письма читателей и в особенности С беседы с читательским активом библиотек ряда крупных заводов, ленинградских и московских. У нас охотно читаются такие книги, которые в глазах среднего зарубежного читателя являются слишком трудными.

Возвращаясь к настоящей книге, отмечу, что она представляет собою как бы пространную физическую викторину, которая должна помочь вдумчивому читателю установить, насколько в действительности овладел он основами физики. Однако это никак не вопросник для экзамена: большая часть вопросов принадлежит к таким, какие едва ли когда-нибудь предлагались на экзаменах. Напротив, книга рассматривает материал, обычно проскальзывающий мимо сетей традиционной экзаменационной проверки, хотя вопросы нашей викторины тесно связаны с элементарным курсом физики. При кажущейся простоте они кроют в себе зачастую неожиданность для читателя. Иные вопросы представляются до того простыми, что у каждого готов на них ответ, который оказывается, однако, ошибочным.

Конечная цель книги С убедить читателя, что область элементарной физики гораздо богаче содержанием, чем думают многие, а попутно С обратить внимание на ошибочность ряда ходячих физических представлений. То и другое должно побудить читателей критически пересмотреть и тщательно проверить багаж своих физических знаний.

Для подлинного проникновения духом физической науки, как и для дальнейшего прогресса самой физики, чрезвычайно важно отрешиться от ложного убеждения, будто науке

в области элементарных явлений нечего уже больше делать, будто все здесь исследовано до конца и не может быть интереса останавливаться на рассмотрении подобных азбучных положений. Если вы хотите дать нечто действительно большое в науке, С говорил своим ученикам знаменитый французский физик Ле-Шателье, С если хотите создать нечто фундаментальное, беритесь за детальное обследование самых, казалось бы, до конца обследованных вопросов. Эти-то на первый взгляд простые и не таящие в себе ничего нового объекты и являются тем источником, откуда вы при умении сможете почерпнуть наиболее ценные и порой совершенно неожиданные данные.

Подбирая материал для этой книги, я избегал повторения того, что рассмотрено мною в ряде других моих сочинений. Читатель, который даст себе труд просмотреть мои Занимательную физику и Физические головоломки, Занимательную механику! Занимательную астрономию! Межпланетные путешествия и Физику на каждом шагу, найдет там немало страниц, отвечающих целям настоящей книги.

Для второго издания книга подверглась значительной переработке. Возможностью внести в текст много исправлений и улучшений я в значительной степени обязан благожелательному вниманию ряда сведущих читателей и критиков. Выражая им за оказанную помощь глубокую признательность, позволяю себе надеяться, что они и в дальнейшем не откажутся содействовать своими указаниями очищению текста моей книги от промахов и недомолвок.

## Вопросы

### I. Механика

**1**

Какие у нас узаконены метрические меры крупнее метра?

**2**

Что больше: литр или кубический дециметр?

**3**

Назовите самую маленькую единицу длины.

**4**

Назовите самую большую единицу длины.

**5**

Существуют ли металлы легче воды? Назовите самый легкий металл.

**6**

Как велика плотность самого плотного вещества в мире?

**7**

Вот один из вопросов знаменитой Эдисоновой викторины<sup>1</sup>:

Если бы вас высадили на один из тропических островов Тихого океана без всяких орудий, как сдвинули бы вы там с места трехтонный груз С скалу, имеющую 100 футов в горизонтальном протяжении и 15 футов в вертикальном?!!

**8**

Сколько примерно должна была бы весить паутиная нить длиной от Земли до Луны? Можно ли такой груз удержать в руках? А увезти на телеге?

Нить паутины имеет в диаметре 200-ю долю миллиметра; удельный вес ее вещества около 1.

---

<sup>1</sup> За два года до смерти американский изобретатель пожелал поощрить стипендией наиболее сметливого юношу Соединенных Штатов. С разных концов республики направлены были к нему одареннейшие школьники, по одному из каждого штата, и Эдисон, во главе особой, учрежденной им комиссии, подверг молодых людей испытанию, предложив ответить письменно на 57 вопросов из физики, химии, математики и общего характера. Победителем в состязании оказался 16-летний Вильбер Хастон из Детройта. Правда, выдающимся изобретателем этот юноша так и не стал.

## 9

Железная Эйфелева башня высотой 300 м (1000 футов) весит 9000 т. Сколько должна весить точная железная модель этой башни высотой 30 см (один фут)? (Рис. 1.)

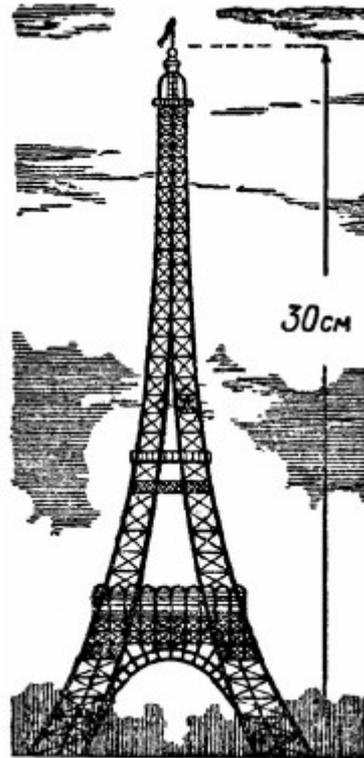


Рис. 1. Сколько весит такая модель башни Эйфеля?

## 10

Можете ли вы одним пальцем произвести давление в 1000 ат?

## 11

Может ли насекомое производить давление в 100 000 ат?

## 12

По реке плывет весельная лодка и рядом с ней – щепка.

Что легче для гребца: перегнать щепку на 10 м или на столько же отстать от нее?

## 13

Аэростат несется ветром в северном направлении. В какую сторону протягиваются при этом флаги на его гондоле?

## 14

Камень, брошенный в стоячую воду, порождает волны, разбегающиеся кругами. Какой формы получаются волны от камня, брошенного в текущую воду реки? (Рис. 2.)



Рис. 2. Какой формы в текущей воде волны, разбегающиеся от брошенного тела?

## 15

1. Два парохода идут по реке в одну сторону с различными скоростями. В тот момент, когда они поравнялись, с каждого парохода брошена была в воду бутылка. Спустя четверть часа пароходы повернули обратно и с прежними скоростями направились к покинутым бутылкам.

Который из пароходов дойдет до бутылки раньше С быстрый или медленный?

2. Ту же задачу решить при условии, что пароходы шли первоначально навстречу один другому.

## 16

Подчиняются ли живые существа закону инерции?

## 17

Может ли тело придти в движение под действием одних только внутренних сил?

## 18

Почему трение всегда называют *силой*, несмотря на то, что трение само по себе не может породить движения (оно всегда направлено *против* движения)?

## 19

Какую роль играет трение в процессе движения живых существ?

## 20

Следующая задача взята из учебника механики А.В. Цингера:

Чтобы разорвать веревку, человек тянет ее руками за концы в разные стороны, причем каждая рука тянет с силою 10 кг. Не разорвав таким образом веревки, человек привязывает один ее конец к гвоздю, вбитому в стену, а за другой тянет обеими руками с силою в 20 кг.

Сильнее ли натягивается веревка во втором случае?

## 21

В знаменитых своих опытах с магдебургскими полушариями Отто Герике впрягал с каждой стороны по 8 лошадей.

Не лучше ли было прикрепить одно полушарие к стене, а к другому припрячь 16 лошадей? Получилась ли бы в этом случае более сильная тяга?

## 22

Взрослый может вытянуть на безмене 10 кг, ребенок С 3 кг. Сколько покажет указатель безмена, если оба станут растягивать безмен одновременно в противоположные стороны?

## 23

Стоя на платформе уравновешенных десятичных весов, человек присел. Куда качнулась платформа в момент приседания С вниз или вверх?

## 24

С воздушного шара, неподвижно держащегося в воздухе, свободно свешивается лестница (рис. 3). По ней начал взбираться человек.

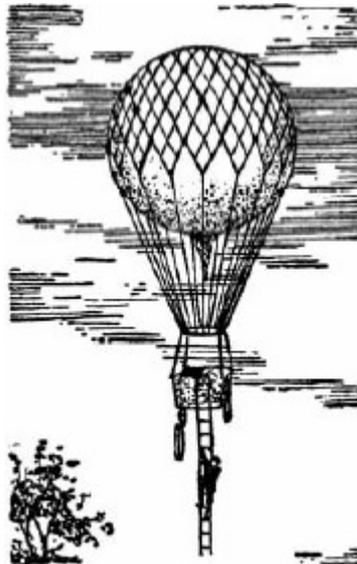


Рис. 3. Куда подвинется аэростат?

Куда при этом подвинется шар: вверх или вниз?

## 25

На внутренней стенке закрытой банки, уравновешенной на чувствительных весах, сидит муха (рис. 4).

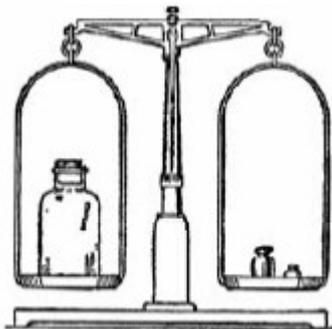


Рис. 4. Задача о мухе, летающей внутри банки

Что произойдет с весами, если, покинув свое место, муха станет летать внутри банки?

## 26

В последнее время большую популярность на Западе, особенно в Америке, приобрела занимательная игрушка, называемая там йо-йо. Это С катушка, которая спускается на разматывающейся ленте и сама затем поднимается. Игрушка С не новость: ею развлекались еще солдаты наполеоновских армий и даже, по розысканиям сведущих людей, герои Гомера.

С точки зрения механики, йо-йо не что иное, как видоизменение общеизвестного маятника Максвелла (рис. 5): небольшой маховичок падает, разматывая навитые на его ось нити, и приобретает постепенно столь значительную энергию вращения, что, развернув нити до конца, продолжает вращаться, вновь наматывая их и, следовательно, поднимаясь вверх. При подъеме, вследствие превращения кинетической энергии в потенциальную, маховик замедляет вращение, наконец останавливается и опять начинает падение с вращением. Опускание и подъем маховичка повторяются много раз, пока первоначальный запас энергии не рассеется в виде теплоты, возникающей при трении.

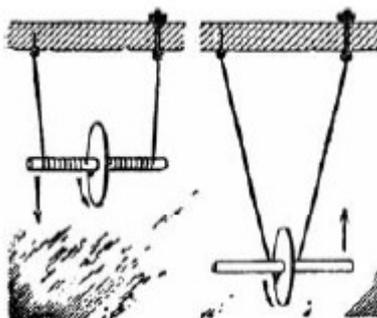


Рис. 5. Маятник Максвелла

Прибор Максвелла описан здесь для того, чтобы предложить следующий вопрос:

Нити маятника Максвелла прикреплены к пружинному безмену (рис. 6). Что должно происходить с указателем безмена в то время, когда маховичок исполняет свой танец вверх и вниз? Останется ли указатель в покое? Если будет двигаться, то в какую сторону?



Рис. 6. Что показывает пружинный безмен?

## 27

Можно ли в движущемся поезде пользоваться плотничьим уровнем (с пузырьком) для определения наклона пути?

## 28

1. Перенося в комнате с места на место горящую свечу, мы замечаем, что пламя в начале движения отклоняется назад. Куда отклонится оно, если переносить свечу в закрытом фонаре?

2. Куда отклонится пламя свечи в фонаре, если равномерно кружить фонарь около себя вытянутой рукой?

## 29

Однородный стержень уравновешен, подпертый в середине (рис. 7). Какая часть стержня перетянет, если правую его половину согнуть вдвое (рис. 8)?



Рис. 7. Стержень уравновешен



Рис. 8. Сохранится ли равновесие?

## 30

Который из двух изображенных здесь (рис. 9) пружинных безменов, поддерживающих стержень  $CD$  в наклонном положении, показывает большую нагрузку?

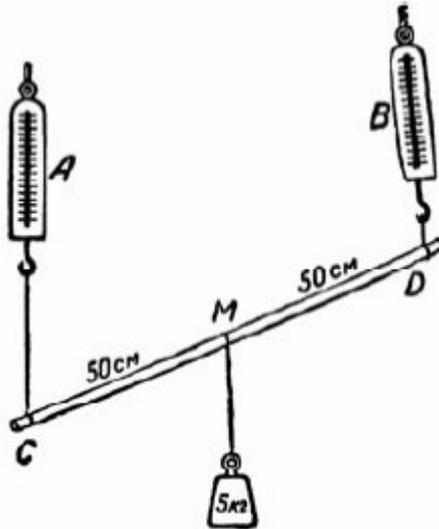


Рис. 9. Который из безменов сильнее нагружен?

### 31

Невесомый рычаг  $ABC$  изогнут, как показано на рис. 10. Точка его опоры в  $B$ . Желательно поднять груз  $A$  наименьшей силой. В каком направлении нужно ее приложить к концу  $C$  рычага?



Рис. 10. Задача о кривом рычаге

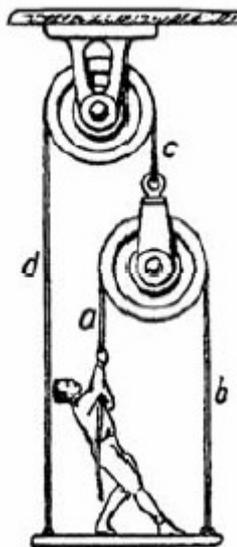


Рис. 11. С какой силой человек должен тянуть, чтобы удержать платформу от падения?

### 32

Человек весом 60 кг стоит на платформе, вес которой 30 кг. Платформа подвешена на веревках, перекинутых через блоки, как показано на рис. 11. С какой силой должен человек тянуть за конец веревки *a*, чтобы удержать платформу от падения?

### 33

С какой силой надо натягивать веревку, чтобы она не провисала (рис. 12)?

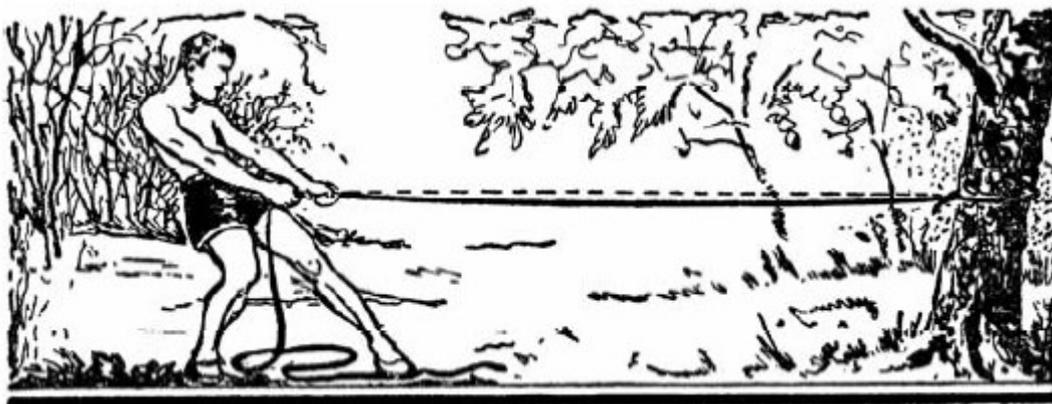


Рис. 12. Можно ли натянуть веревку так, чтобы она не провисала?

### 34

Чтобы вытащить увязший в выбоине автомобиль, прибегают к следующему приему. Привязывают его длинной прочной веревкой крепко к дереву или к пню близ дороги так, чтобы веревка была натянута возможно туже. Затем тянут за веревку под прямым углом к ее направлению. Благодаря этому усилию, автомобиль сдвигается с места.

На чем основан описанный прием?

### 35

Известно, что смазка ослабляет трение. Во сколько, приблизительно, раз?

### 36

Каким способом можно закинуть льдинку дальше: бросив в воздух или пустив скользить по льду (рис. 13)?

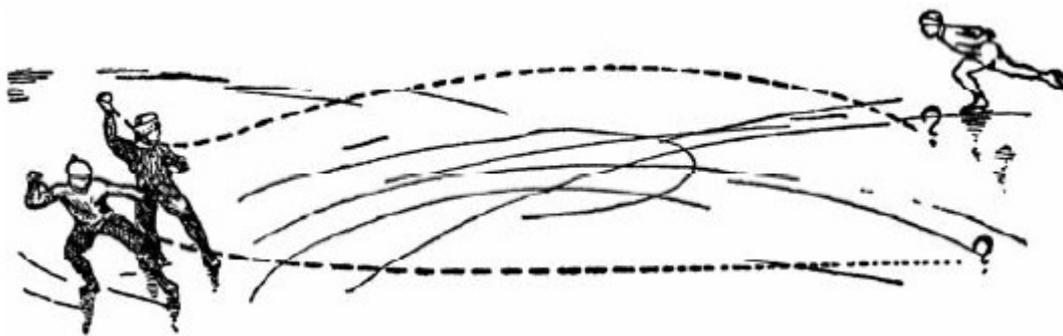


Рис. 13. Задача о брошенной и скользящей льдинках

### 37

Насколько, приблизительно, успеваешь опуститься первоначально неподвижное свободно падающее тело, пока звучит одно тик-так карманных часов?

### 38

Я получил ряд писем с выражением недоумения по поводу затяжного прыжка мастера парашютного спорта Евдокимова, поставившего мировой рекорд 1934 г. Евдокимов падал в течение 142 секунд с нераскрытым парашютом и, лишь пролетев 7900 м, дернул за его кольцо. Это никак не согласуется с законами свободного падения тел. Легко убедиться, что если парашютист свободно падал на пути 7900 м, то должен был употребить не 142 секунды, а только 40. Если же он свободно падал 142 секунды, то должен был пролететь путь не в 7,9 км, а около 100 км. Как разрешается это противоречие?

### 39

В какую сторону надо из движущегося вагона выбросить бутылку, чтобы опасность разбить ее при ударе о землю была наименьшая?

### 40

В каком случае выброшенная из вагона вещь долетит до земли раньше: когда вагон в покое или когда он движется?

## 41

Три снаряда пущены из одной точки с одинаковыми скоростями под различными углами к горизонту: в  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $60^\circ$ . Пути их (в несопротивляющейся среде) показаны на рис. 14.

Правилен ли чертеж?

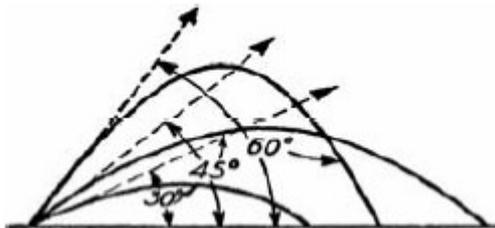


Рис. 14. Правилен ли чертеж?

## 42

Какую кривую описывало бы тело, брошенное под углом к горизонту, при отсутствии сопротивления воздуха?

## 43

Артиллеристы утверждают, что пушечный снаряд приобретает наибольшую скорость не в стволе орудия, а вне его, покинув канал. Возможно ли это?

## 44

В чем главная причина того, что прыжки в воду с большой высоты опасны для здоровья (рис. 15)?



Рис. 15. В чем главная опасность такого прыжка?

### 45

Шар положен на край стола, плоскость которого строго перпендикулярна к отвесу, проходящему через середину стола (рис. 16). Останется ли шар в покое при отсутствии трения?

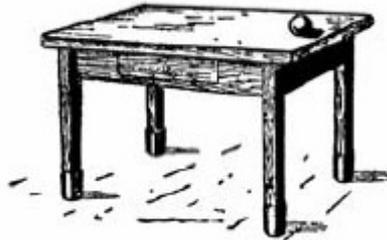


Рис. 16. Останется ли шар в покое?

### 46

Брусок (рис. 17) в положении  $B$  скользит по наклонной плоскости  $MN$ , преодолевая трение. Можно ли быть уверенным, что он будет скользить и в положении  $A$  (если при этом не опрокидывается)?

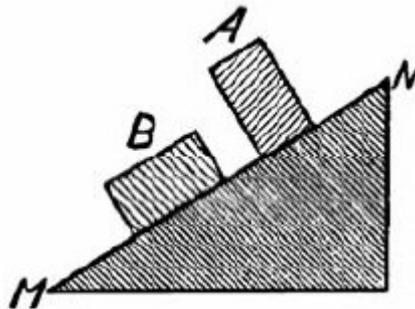


Рис. 17. Задача о скользящем бруске

### 47

1. Из точки  $A$  (рис. 18), находящейся на высоте  $h$  над горизонтальной плоскостью, движутся два шара: один скатывается по наклону  $AC$ , другой падает свободно по отвесной линии  $AB$ .

Который из шаров в конце пути будет обладать большей поступательной скоростью?

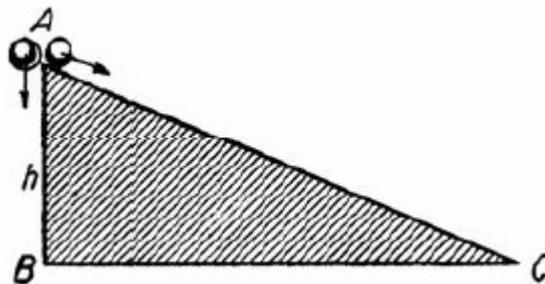


Рис. 18. Задача о двух шарах

2. Из двух одинаковых шаров один катится по наклонной плоскости, другой С по краям двух параллельных треугольных досок (рис. 19). Угол наклона, а также высота, с какой началось движение, в обоих случаях одинаковы.

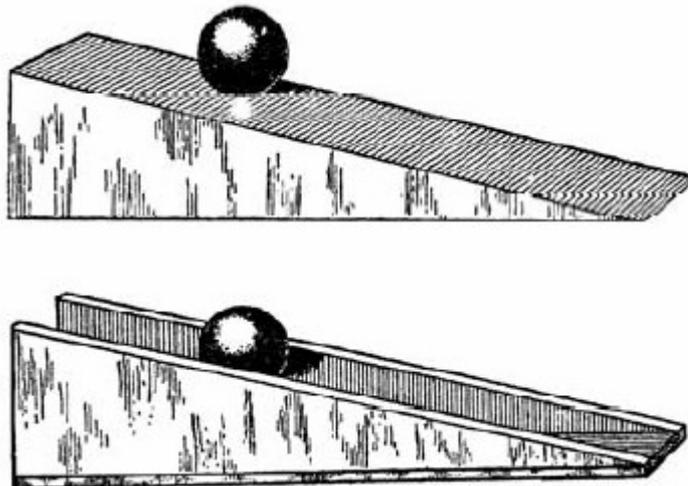


Рис. 19. Который шар быстрее скатится?

Который из шаров раньше достигнет конца наклонного пути?

**48**

Два цилиндра совершенно одинаковы по весу и наружному виду. Один С сплошной алюминиевый, другой С пробковый с свинцовой оболочкой. Цилиндры оклеены бумагой, которую надо оставить неповрежденной.

Укажите способ узнать, который цилиндр однородный и который составной?

**49**

Песочные часы с 5-минутным заводом поставлены в бездействующем состоянии на чашку чувствительных весов и уравновешены гирями (рис. 20).

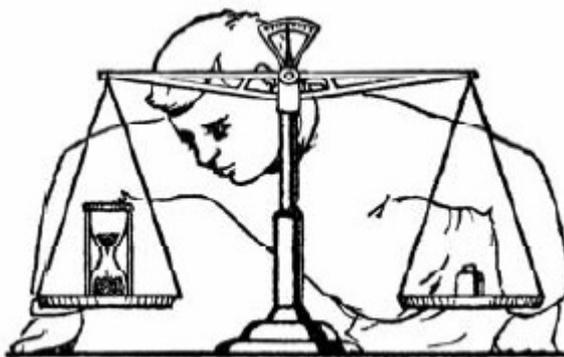


Рис. 20. Песочные часы на весах

Часы перевернули. Что произойдет с весами в течение ближайших пяти минут?

## 50

Карикатура, воспроизведенная на рис. 21, имеет механическую основу. Удачно ли использованы в ней законы механики?



Рис. 21. Английские министры взбираются вверх, а фунт идет вниз (карикатура)

## 51

Через блок перекинута веревка с грузами на концах в 1 кг и 2 кг. Блок подвешен к безмену (рис. 22). Какую нагрузку показывает безмен?

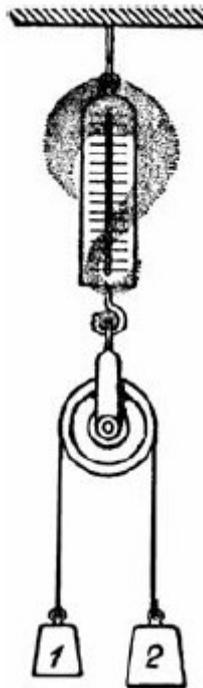


Рис. 22. Что показывает безмен?

## 52

Сплошной железный усеченный конус опирается на свое большое основание (рис. 23). Если конус перевернуть, куда переместится его центр тяжести  $C$  к большему или к меньшему основанию?

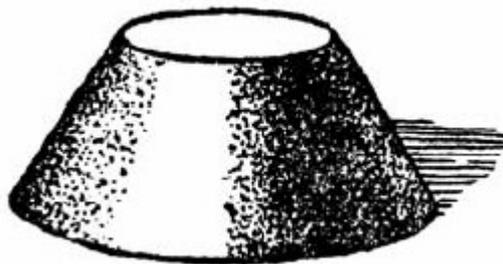


Рис. 23. Задача о конусе

## 53

Вы стоите на платформе весов в кабине лифта (рис. 24). Внезапно тросы оборвались, и кабина начала опускаться со скоростью свободно падающего тела.

1. Что покажут весы во время этого падения?
2. Выльется ли во время падения вода из открытого перевернутого кувшина?

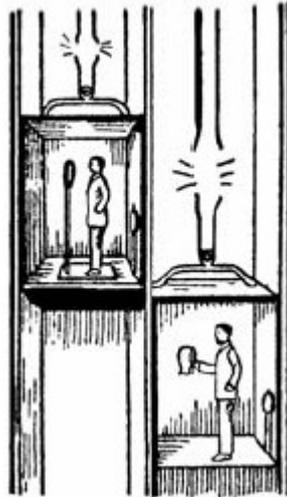


Рис. 24. Физические опыты в сорвавшемся подъемнике

## 54

Вообразите, что на доске *A* (рис. 25), могущей скользить отвесно вниз в прорезях двух стоек, имеются:

- 1) цепь (*a*), прикрепленная концами к доске;
- 2) маятник (*b*), отведенный в сторону от положения равновесия;
- 3) открытый флакон (*c*) с водою, прикрепленный к доске.

Что произойдет с этими предметами, если доска *A* станет скользить вниз с ускорением  $g_1$ , большим ускорения  $g$  свободного падения?

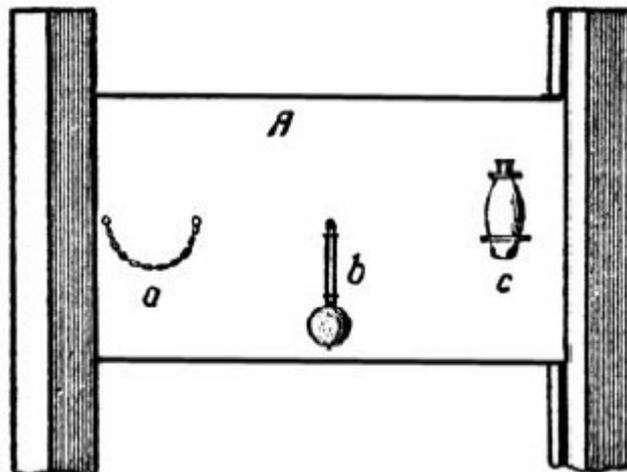


Рис. 25. Опыт со сверхускоренным падением

## 55

Помешав ложечкой в чашке чая, выньте ее: чайники на дне, разбежавшиеся к краям, соберутся к середине. Почему?

## 56

Верно ли, что, стоя на качелях, можно определенными движениями своего тела увеличить размах качаний (рис. 26)?

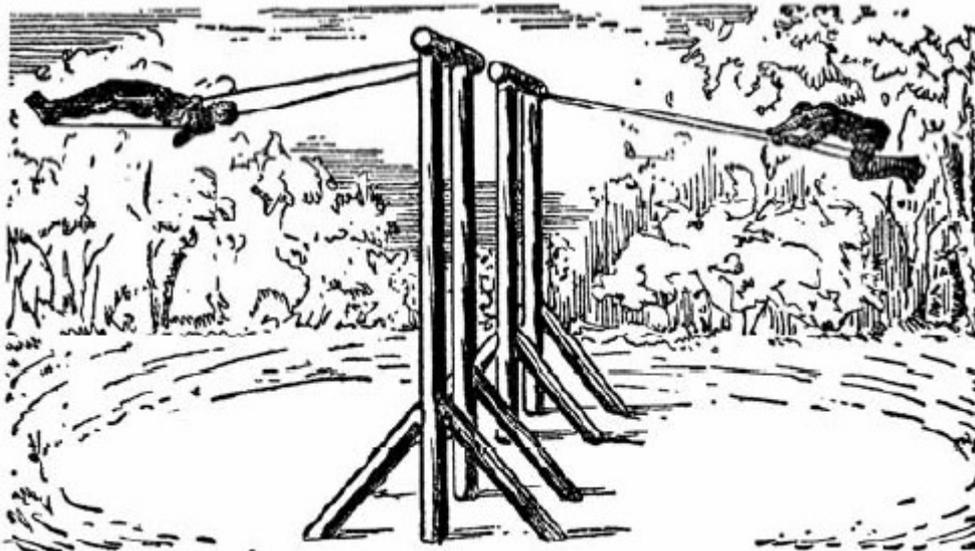


Рис. 26. Механика на качелях

## 57

Небесные тела по массе больше земных во много раз. Но их взаимное удаление превышает расстояние между земными предметами тоже в огромное число раз. А так как притяжение прямо пропорционально первой степени произведения масс, но обратно пропорционально *квадрату* расстояния, то странно, почему мы не замечаем притяжения между земными предметами и почему оно так явно господствует во Вселенной?

Объясните это.

## 58

На тему предыдущей задачи мною составлена была для немецкого журнала статья. Прежде чем ее напечатать, редакция обратилась ко мне со следующей просьбой:

Нам кажется, что в ваших расчетах не все правильно. Притяжение двух тел равно:

$$\frac{\text{масса} \cdot \text{масса} \cdot \text{постоянная тяготения}}{\text{квадрат расстояния}}$$

Вы, однако, оперируете всюду с *весом*, а не с массами. Вес равен  $mg$ , откуда масса равна весу, деленному на  $9,81$ . Это в ваших расчетах не было принято в соображение. Не будете ли вы любезны пересмотреть расчеты?

Правильно ли замечание редакции? Нужно ли при вычислении силы притяжения умножать килограммы на килограммы, или необходимо предварительно делить число килограммов на  $g$ ?

59

Принято считать, что все отвесы близ земной поверхности направлены к центру Земли (если пренебречь незначительным отклонением, обусловленным вращением земного шара). Известно, однако, что земные тела притягиваются не только Землей, но и Луной. Поэтому тела должны бы, казалось, падать по направлению не к центру Земли, а к общему центру масс Земли и Луны.

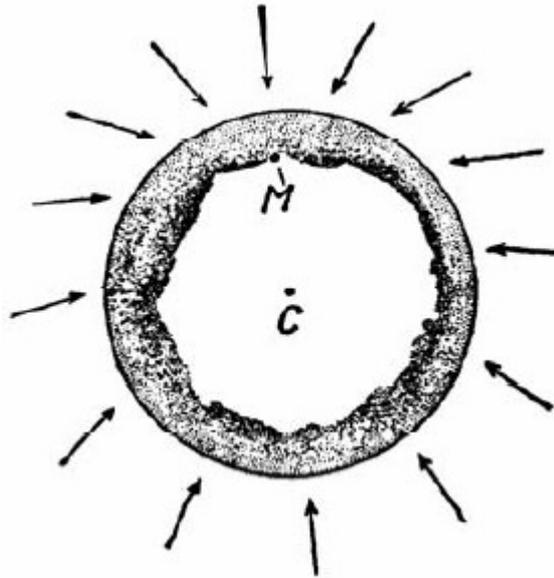


Рис. 27. К какой точке должны падать земные тела: к центру  $C$  земного шара или к общему центру масс ( $M$ ) Земли и Луны?

Этот общий центр масс далеко не совпадает с геометрическим центром земного шара, а отстоит от него, как легко вычислить, на 4800 км. (Действительно, Луна обладает массой, в 80 раз меньшей, чем Земля; следовательно, общий центр их масс в 80 раз ближе к центру Земли, чем к центру Луны. Расстояние между центрами обоих тел 60 земных радиусов; поэтому общий центр масс отстоит от центра Земли на три четверти земного радиуса.)

Если так, то направление отвесов на земном шаре должно значительно отличаться от направления к центру Земли (рис. 27).

Почему же подобные отклонения нигде в действительности не наблюдаются?

## II. Свойства жидкостей

### 60

Что тяжелее: атмосфера земного шара или вся его вода? Во сколько раз?

### 61

Назовите самую легкую жидкость.

### 62

Легендарный рассказ о задаче Архимеда с золотой короной передается в различных вариантах. Древнеримский архитектор Витрувий (I век нашей эры) сообщает об этом следующее:

Когда Гиерон<sup>2</sup>, достигши царской власти, пожелал в благодарность за счастливые деяния пожертвовать в какой-либо из храмов золотую корону, он повелел изготовить ее и передал мастеру необходимый материал. В назначенный срок тот принес изготовленную корону. Гиерон был доволен; вес короны соответствовал количеству материала. Но позже стали доходить слухи, что мастер похитил некоторое количество золота, подменив его серебром. Гиерон, рассерженный обманом, просил Архимеда придумать способ обнаружить подмену.

Занятый этим вопросом, Архимед пришел случайно в баню и, войдя в ванну, заметил, что вода вылилась через край из ванны в количестве, отвечающем глубине погружения тела. Сообразив причину явления, он не остался в ванне, а радостно выскочил и нагой побежал домой, крича на бегу по-гречески: Эврика, эврика! (нашел).

Затем, исходя из своего открытия, он взял два куска того же веса, как корона, один из золота, другой из серебра. Наполнив глубокий сосуд доверху водой, он погрузил в него серебряный кусок. Вода вытекла в количестве, отвечающем объему куска. Вынув кусок, он дополнил сосуд тем количеством воды, какое из него вылилось, измеряя приливаемую воду, пока сосуд вновь наполнился до краев. Отсюда он нашел, какой вес серебра соответствовал определенному объему воды. После того он опустил подобным же образом в наполненный сосуд кусок золота и, когда пополнил вытекшую воду, нашел измерением, что вытекло ее меньше  $S$  настолько, насколько кусок золота имеет меньший объем, чем кусок серебра того же веса. Когда затем он еще раз наполнил сосуд и погрузил в него корону, он нашел, что вытекло воды более, чем при погружении куска золота, и с помощью этого избытка вычислил примесь серебра к золоту, обнаружив таким образом обман мастера.

Можно ли было по описанному здесь методу Архимеда вычислить количество золота, подмененное в короне серебром?

---

<sup>2</sup> Сиракузский правитель, по преданию  $S$  родственник Архимеда. (Не смешивать с ученым-механиком древности Героном.)

### 63

Что больше сжимается под сильным давлением  $S$  вода или свинец?

### 64

В открытый ящик из переклейки с парафинированными стенками, 20 см длины и 10 см ширины, налита вода до высоты 10 см (рис. 28). В ящик стреляют из ружья  $S$  и он разносится в щепки, а вода превращается в облако мелкой пыли.

Чем объяснить подобное действие выстрела?



Рис. 28. Стрельба по ящику с водой

### 65

Может ли электрическая лампочка выдержать в воде давление груза в полтонны в условиях, показанных на рис. 29? Диаметр поршня 16 см.

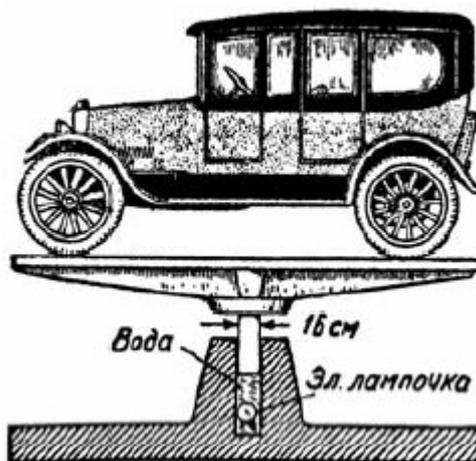


Рис. 29. Уцелеет ли лампочка под таким давлением?

### 66

Два сплошных цилиндра одинакового веса и диаметра, алюминиевый и свинцовый, стоймя плавают в ртути. Который сидит глубже?

## 67

Применим ли закон Архимеда к телам сыпучим?

Как глубоко может погрузиться в сухой песок деревянный шар, положенный на его поверхность?

Может ли человек утонуть с головой в сыпучем песке?

## 68

Какое имеется лучшее доказательство того, что жидкость, свободная от действия внешних сил, принимает строго шарообразную форму?

## 69

В каком случае из крана самовара падают более тяжелые капли: когда вода горяча или когда она остыла?

## 70

1. Как высоко должна подняться вода в стеклянной трубке с просветом в один микрон?

2. Какая жидкость поднялась бы в такой трубке всего выше?

3. Какая вода поднимается в капиллярных трубках выше С холодная или горячая?

## 71

В отвесной капиллярной трубке жидкость поднимается на 10 мм над уровнем в сосуде. Как высоко поднимается она, если трубку наклонить под углом в  $30^\circ$  к поверхности жидкости (рис. 30)?



Рис. 30. В которой из трубочек вода поднимается выше?

Имеются две тонкие стеклянные трубки, расширяющиеся к одному концу (рис. 31). В первую трубку у точки *A* введена капля ртути, во вторую у точки *B* капля воды. При этом наблюдается, что капли не остаются в покое, а движутся вдоль трубок.

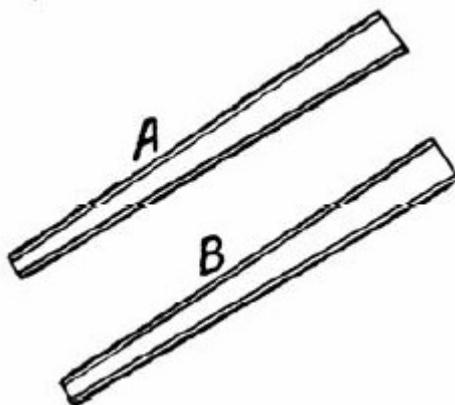


Рис. 31. Задача о двух тонких конических трубках

Почему?

Куда капли подвигаются: к широкому или к узкому концу трубок?

**73**

Если на дно стеклянного сосуда с *водой* положить плотную *деревянную* пластинку, она всплывет. Если на дно такого же сосуда с *ртутью* положить *стеклянную* пластинку, она не всплывет. Между тем известно, что плавучесть стекла в ртути (разность удельных весов ртути и стекла) гораздо больше, чем дерева в воде.

Почему же деревянная пластинка в воде всплывает, а стеклянная в ртути не всплывает?

**74**

При какой температуре поверхностное натяжение жидкости равно нулю?

**75**

С какой, приблизительно, силой сдавливается жидкость своим поверхностным слоем?

**76**

Почему водопроводный кран устраивают завинчивающимся (рис. 32), а не поворотным, как в самоваре?

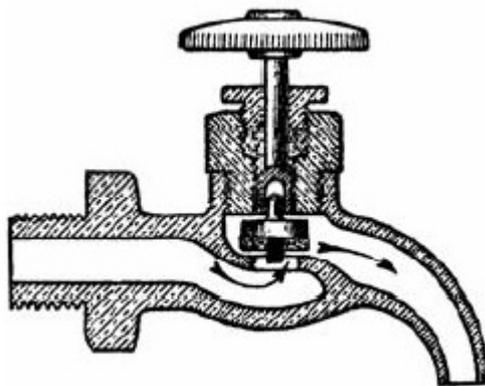


Рис. 32. Почему водопроводные краны устраиваются завинчивающимися?

## 77

Какая жидкость С вода или ртуть С вытечет из воронки скорее, если высота уровней одинакова?

## 78—79

1. Ванна с отвесными стенками может быть наполнена из крана в 8 минут, а опорожнена через выпускное отверстие (при закрытом кране) в 12 минут. Во сколько времени наполнится она, если при открытом выпускном отверстии держать первоначально пустую ванну под открытым краном?

2. Ванна наполняется в 8 минут; при закрытом кране и открытом выпускном отверстии она опорожняется также в 8 минут. Сколько воды окажется в первоначально пустой ванне, если целые сутки наливает в нее воду из крана при открытом выпускном отверстии?

3. Решить ту же задачу, если продолжительность наполнения по-прежнему 8 минут, а опорожнения С 6 минут.

4. Решить ту же задачу, если продолжительность наполнения полчаса, а опорожнения С 5 минут.

5. Ванна опорожняется в срок более короткий, чем продолжительность ее наполнения из крана. Удержится ли в ней хотя бы немного воды, если наливает первоначально пустую ванну и одновременно выпускать из нее воду?



Рис. 33. Головоломные задачи о наполнении ванны

Во всех случаях, чтобы не усложнять решения, можно не принимать во внимание сжатия вытекающей струи и трения жидкости о края отверстия.

## 80

Опорожняя ванну, мы замечаем близ выпускного отверстия водяной вихрь. В какую сторону он вращается: по часовой стрелке, против нее?

## 81

Почему в половодье поверхность реки слегка выпуклая, а в межень (т. е. при низком стоянии воды) – вогнутая (рис. 34 и 35)?

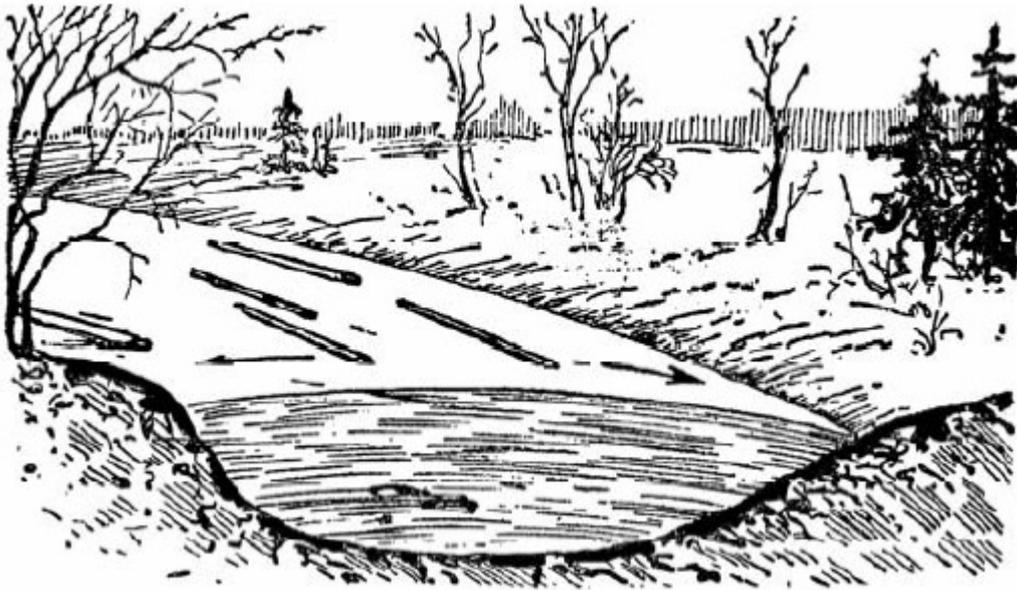


Рис. 34. Поверхность реки в половодье



Рис. 35. Поверхность реки в межень

## 82

Почему загибаются гребни морских волн, набегающих на пологий берег (рис. 36)?

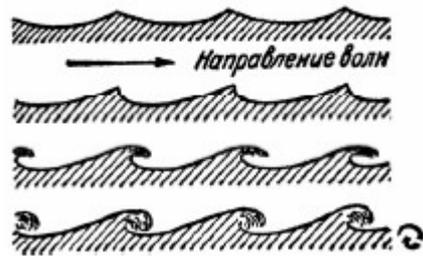


Рис. 36. Почему гребни волн прибоя загибаются?

### III. Свойства газов

83

Назовите третью по количественному содержанию постоянную составную часть атмосферного воздуха.

84

Назовите самый тяжелый из газообразных элементов.

85

Если поверхность человеческого тела равна  $2 \text{ м}^2$ , то можно ли считать, что общее давление атмосферы на тело человека составляет 20 т (рис. 37)?

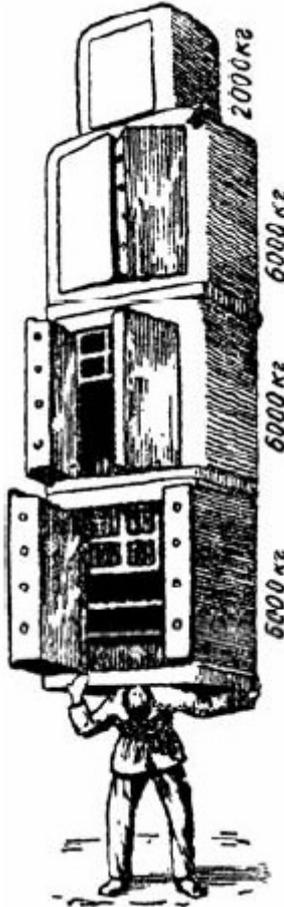


Рис. 37. 320 тысяч килограммов на наших плечах. Таким грузом отягчает нас 300-километровый столб воздуха. Не ощущаем мы его потому, что он действует не только сверху, но и снизу, а также изнутри, и потому уравнивается (Рисунок и подпись С из научно-популярной книги)

## 86

Насколько отличается от 1 атмосферы давление выдыхаемого и выдуваемого нами воздуха?

## 87

Давлением скольких примерно атмосфер пороховые газы выталкивают снаряд артиллерийского орудия?



Рис. 38. Почему бумажный лист не отпадает?

## 88

В каких единицах выражают давление воздуха?

## 89

Общеизвестен опыт с листком бумаги, который не отпадает от краев опрокинутого стакана с водой (рис. 38). Опыт описывается в учебниках начальных классов и часто фигурирует в популярных книгах. Объяснение обычно дается такое: снизу на бумажку давит извне воздух с силой одной атмосферы, изнутри же напирает на бумажку сверху только вода с силой, во много раз меньшею (во столько раз, во сколько 10-метровый водяной столб, соответствующий атмосферному давлению, выше стакана); избыток давления и прижимает бумажку к краям стакана.

Если такое объяснение верно, то бумажка должна придавливаться к стакану с силой почти целой атмосферы (0,99 ат). При диаметре отверстия стакана 7 см на бумажку должна действовать сила приблизительно  $\frac{1}{4}\pi \cdot 7^2 = 38$  кг. Известно, однако, что для отрывания бумажного листка такой силы не требуется, а достаточно самого незначительного усилия. Пластинка, металлическая или стеклянная, весящая несколько десятков граммов, вовсе не удерживается у краев стакана, С она отпадет под действием тяжести. Очевидно, обычное объяснение опыта несостоятельно.

Каково же правильное объяснение?

## 90

Сравните давление, производимое ураганом, и рабочее давление пара в цилиндре паровой машины. Во сколько примерно раз одно больше другого?

## 91

Сравните напор воздуха, выдуваемого ртом, с тягой в заводской 40-метровой трубе (рис. 39). Если и то и другое выразить в миллиметрах ртутного столба, то каково примерно их отношение?

## 92

Какой воздух богаче кислородом: тот, которым мы дышим, или тот, которым дышат рыбы?

## 93

В стакане холодной воды, внесенном в теплую комнату, появляются пузырьки. Объясните это явление.

## 94

Почему облака не падают?

## 95

На что сильнее влияет сопротивление воздуха: на полет ружейной пули или на движение брошенного мяча?

## 96

Физика утверждает, что молекулы газа находятся в непрерывном движении. Как же объяснить то, что вес несущихся в пустоте молекул передается дну сосуда?

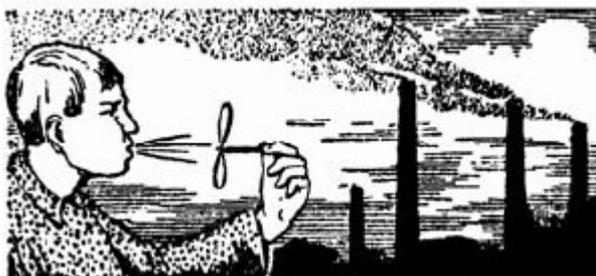


Рис. 39. Задача о тяге в заводской трубе. Что сильнее: тяга в трубе или дуновение рта?

## 97

Слон может оставаться под водою, дыша через хобот, выступающий над ней (рис. 40). Когда же пробовали подражать слону люди, заменяя хобот трубкой, плотно прилегающей ко рту, то наблюдалось кровотечение изо рта, носа, ушей, кончавшееся тяжелым заболеванием или даже гибелью водолаза. Почему?



Рис. 40. Почему человек не может следовать этому примеру?

## 98

Шарообразная гондола стратостата ЗС-ОАХ-1 имела в диаметре 2,4 м с кольчугалюминиевыми стенками толщиной всего 0,8 мм.

Внутри гондолы поддерживалось при полете давление не ниже атмосферного, а на той высоте (22 км), какой шар достиг, давление наружного воздуха составляло около 0,07 ат. На каждый кв. сантиметр поверхности гондолы действовал изнутри избыток давления в 0,93 кг. Легко рассчитать, что полушария распирались с силою свыше 40 т.

Почему же кабина таким сильным давлением не была разорвана, подобно детскому воздушному шару под колпаком воздушного насоса?

## 99

Внутри кабины высотного аэростата необходимо ввести извне конец клапанной веревки. Как устроить этот ввод, имея в виду, что воздух из кабины не должен быть выпущен в окружающую разреженную среду?

## 100

Верхний конец трубки чашечного барометра прикреплен к одной чашке весов; на другую чашку положены для равновесия гири (рис. 41).

Нарушится ли равновесие, если изменится барометрическое давление?

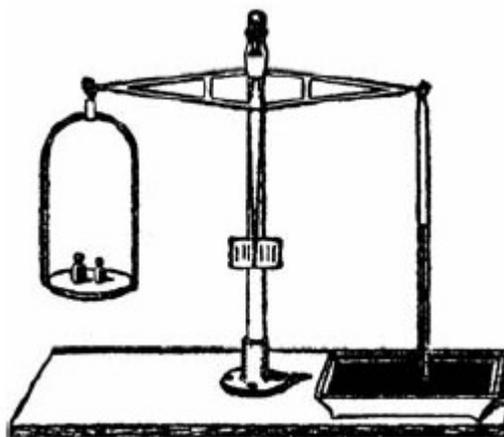


Рис. 41. Поколеблются ли весы, если атмосферное давление изменится?

## 101

Как без всяких приспособлений пустить в действие сифон (рис. 42), не наклоняя сосуда и не пользуясь такими обычными приемами, как насасывание жидкости или полное погружение сифона в жидкость? Сосуд наполнен почти доверху.

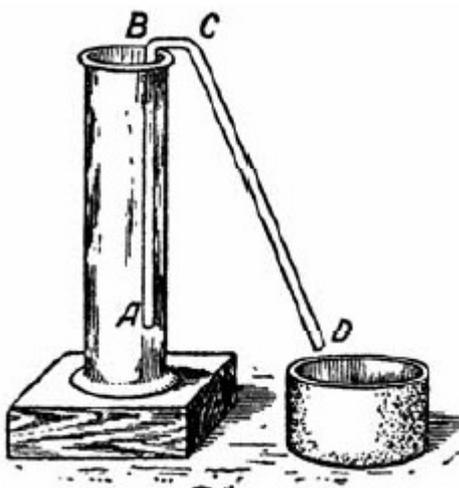


Рис. 42. Как всего проще пустить этот сифон в действие?

## 102

Может ли сифон действовать в пустоте?

## 103

Можно ли сифоном переливать газ?

## 104

Как высоко может поднять воду колодезный всасывающий насос (рис. 43)?



Рис. 43. Как высоко может поднимать воду такой насос?

### 105

Под колоколом воздушного насоса помещен закрытый баллон с газом, давление которого нормальное. Если кран баллона открыть, газ устремится в окружающую пустоту со скоростью 400 м/с. Какова была бы скорость вытекания, если бы первоначальное давление газа в баллоне равнялось не 1 ат, а 4 ат?

### 106

Всасывающий насос поднимает воду потому, что под его поршнем разрежается воздух. При наибольшем *практически* достижимом разрежении вода поднимается на 7 м. Но если работа накачивания состоит лишь в разрежении воздуха, то поднятие воды на высоту 1 м и 7 м требует одинакового расхода энергии. Можно ли использовать это свойство водяного насоса для устройства дарового двигателя? Как?

### 107

Кипяток гасит огонь быстрее, чем холодная вода, так как сразу отнимает от пламени теплоту парообразования и окружает огонь слоем водяного пара, затрудняющего доступ воздуха. Ввиду этого, не следовало ли бы пожарным являться с бочками *кипящей* воды и из насосов поливать ею горящее здание?

### 108

Резервуар *A* (рис. 44) содержит воздух, сжатый под давлением больше 1 ат и при температуре окружающей среды. Давление сжатого газа измеряется высотой ртутного столба

в манометре. Открыв кран *B*, выпустили из резервуара столько газа, что ртутный столб в манометрической трубке понизился до высоты, соответствующей нормальному давлению.

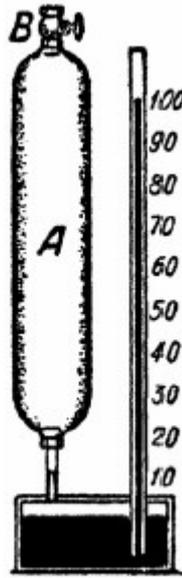


Рис. 44. К задаче о резервуаре с газом

Спустя некоторое время было замечено, что, хотя кран оставался закрытым, ртуть в трубке снова несколько поднялась. Почему это произошло?

**109**

Если бы у дна океана на глубине 8 км появился пузырек воздуха, мог ли бы он всплыть на поверхность воды?

**110**

Вращается ли Сегнерово колесо (рис. 45) в пустоте?

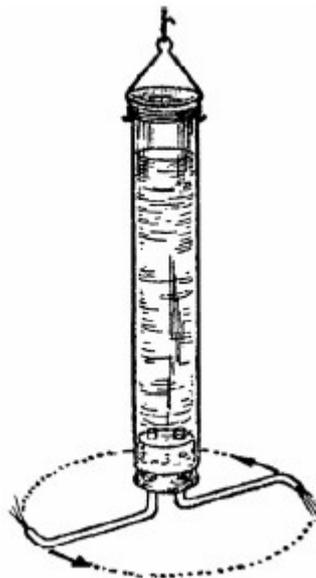


Рис. 45. Будет ли Сегнерово колесо вращаться в пустоте?

### 111

Что тяжелее: кубометр *сухого* воздуха или кубометр воздуха *влажного* – при одинаковых условиях температуры и давления?

### 112

Во сколько примерно раз разрежается воздух лучшими современными воздушными насосами?

### 113

Сколько приблизительно молекул остается еще в литровом сосуде, из которого воздух выкачан самым лучшим насосом? Хватило ли бы их, например, чтобы наделить по одной молекуле все население Москвы?

### 114

Как объясните вы существование земной атмосферы? Молекулы воздуха либо подвержены силе тяготения, либо ей не подвержены. Если не подвержены, то почему они не рассеиваются в пустом пространстве кругом Земли? Если же они тяжести подвержены, то почему не падают на поверхность Земли, а держатся над нею?

### 115

Может ли газ занимать только часть резервуара, оставляя другую часть пустой?

## IV. Тепловые явления

**116**

Почему на шкале Реомюра точка кипения воды обозначена числом 80?

**117**

Почему на шкале Фаренгейта точка кипения воды обозначена числом 212?

**118**

Одинаковы ли все градусные деления на шкале ртутного термометра? А на шкале спиртового?

**119**

Можно ли устроить ртутный термометр для температуры до 750°?

**120**

В брошюре Карпентера Современная наука переведенной на русский язык Л.Н. Толстым, имеется следующий довод против правильности устройства наших термометров:

Градус не есть одно и то же в начале и в конце лестницы температуры. Уже одно то, что градусы термометра суть равные пространственные деления, доказывает, что отношение их ко всему объему жидкости, расширяющейся от одного конца трубки до другого, не может оставаться постоянным.

Карпентер желает сказать, что если, например, длина градуса 1 мм, то миллиметровый цилиндр ртути при 0° составляет более крупную долю объема всей ртути, чем такой же цилиндр при 100°, когда общий объем ртути увеличился; значит, заключает критик, нельзя считать соответствующие интервалы температуры равными.

Справедлив ли этот упрек и подрывает ли он доверие к измерению температуры с помощью термометров с жидкостями и газами?

**121**

Почему в железобетоне при нагревании и охлаждении бетон не отделяется от железа?

**122**

Укажите твердое тело, расширяющееся от теплоты сильнее, чем жидкости.  
Укажите жидкость, расширяющуюся от теплоты сильнее, чем газы.

**123**

Какое вещество всего менее расширяется при нагревании?

## 124

Какое твердое тело при нагревании сжимается, а при охлаждении расширяется?

## 125

Посреди квадратного железного листа со стороною 1 м имеется дырочка диаметром 0,1 мм (примерно толщина волоса).

Как должна измениться температура листа, чтобы дырочка в нем совершенно закрылась?

## 126

Можно ли механической силой помешать тепловому расширению металлического бруса или ртутного столба?

## 127

Длина пузырька в трубке плотничьего уровня меняется при колебаниях температуры. Когда же пузырек больше: в теплую или в холодную погоду?

## 128

Следующий отрывок, относящийся к условиям смены воздуха в отапливаемом помещении, взят из технического журнала:

Всякое вентиляционное отверстие (в жилом помещении) создает обмен воздуха. Испорченный, более теплый воздух втягивается в отдушину, а так как место его должно быть заполнено, то снаружи во все щели дверей, окон и даже самих стен устремляется свежий воздух. При топке с открытой дверцей получается хорошая вентиляция. Для горения дров нужен кислород воздуха, который с большой силой и засасывается из комнаты в печь. Продукты горения поступают не обратно в комнату, а улетают в трубу. На освобождающееся внутри комнаты место должен притечь снаружи свежий воздух.

Правильно ли описаны в этом отрывке воздушные течения?

## 129

Что защищает от холода лучше: деревянная стена или слой снега такой же толщины?

## 130

В какой посуде пища подгорает легче: в медной или в чугунной? Почему?

## 131

При замазывании оконных рам на зиму маляры советуют оставлять верхнюю щель наружной рамы незамазанной.

Укажите физическое основание этого совета.

### 132

Теплота способна переходить только от тела с высшей температурой к телу, менее нагретому. Температура нашего тела выше температуры воздуха в нагретой комнате. Почему же нам в такой комнате тепло?

### 133

Когда вода теплее на дне глубокой реки с летом или зимою?

### 134

Почему быстрые реки не замерзают на морозе в несколько градусов?

### 135

Почему атмосфера (тропосфера) сверху холоднее, чем внизу?

### 136

Что требует больше времени: нагревание воды на примусе от  $10^\circ$  до  $20^\circ$  или от  $90^\circ$  до  $100^\circ$ ?

### 137

Какова приблизительно температура пламени стеариновой свечи?

### 138

Почему гвозди на свечке не плавятся?

### 139

Почему в точном определении калории делается указание, что нагревание 1 г или 1 кг воды должно производиться от  $14\frac{1}{2}^\circ\text{C}$  до  $15\frac{1}{2}^\circ\text{C}$ ?

### 140

Что легче нагреть на одинаковое число градусов: килограмм жидкой воды, килограмм льда или килограмм водяного пара?

### 141

Сколько требуется тепла для нагревания  $1\text{ см}^3$  меди на  $1^\circ\text{C}$  (удельная теплоемкость меди  $\sim 0,4$  Дж).

### 142

1. Какое *твердое* тело требует наибольшего количества тепла для своего нагревания?
2. Какая *жидкость* требует наибольшего количества тепла для своего нагревания?
3. Какое *вещество* требует наибольшего количества тепла для своего нагревания?

### 143

В практике холодильного дела требуется знание удельной теплоемкости пищевых продуктов. Известны ли вам теплоемкости следующих продуктов: мяса? яиц? рыбы? молока?

### 144

Какой из металлов, твердых при обычной температуре, самый легкоплавкий?

### 145

Назовите самый тугоплавкий металл.

### 146

Почему рушатся при пожаре стальные конструкции, хотя сталь не горит и в огне пожара не плавится?

### 147

1. Можно ли закупоренную бутылку, наполненную водой, опустить в тающий лед без опасения за целостность бутылки?
2. Одна бутылка с водой положена в лед при  $0^\circ$ , другая С в воду также при  $0^\circ$ . В какой бутылке вода замерзнет раньше?

### 148

Может ли лед в чистой воде тонуть?

### 149

В трубах подземных частей зданий вода часто замерзает не в мороз, а в оттепель. Чем это объяснить?

### 150

Скользкость льда объясняют понижением точки таяния льда при повышении давления. Известно, что для понижения точки таяния льда на  $1^\circ$  требуется давление в 130 ат. Поэтому, чтобы кататься на коньках при морозе, например, в  $5^\circ\text{C}$ , конькобежец должен оказывать на лед давление  $5 \cdot 130 = 650$  ат. Однако поверхность, по которой лезвие конька соприкасается со льдом, не меньше нескольких квадратных сантиметров, так что на  $1\text{ см}^2$  приходится не более 10–20 кг веса конькобежца. Следовательно, давление конькобежца на лед во много раз меньше того, какое необходимо для понижения точки таяния льда на  $5^\circ$ .

Как же объяснить возможность кататься на коньках при морозе в 5 и более градусов?

**151**

До какой температуры можно давлением понизить точку плавления льда?

**152**

Что такое «сухой лед» и почему он так называется?

**153**

Какого цвета водяной пар?

**154**

Какая вода – сырая или кипяченая – закипает при одинаковых условиях раньше?

**155**

Можно ли довести воду до кипения, подогревая ее 100-градусным паром?

**156**

Снятый с огня металлический чайник с кипятком можно, говорят, безбоязненно поставить на ладонь: ожога не будет, хотя вода бурлит от кипения (рис. 46). Жар делается ощутительным, лишь если подержать так чайник несколько секунд. (Сам я этого опыта не проводил, но мои ученики-рабочие отважились проверить его на себе и убедились, что он удается.)



Рис. 46. Опыт, не столь опасный, как кажется

Чем объяснить такое явление?

**157**

Почему жареное вкуснее вареного?

**158**

Почему не обжигает рук вынутое из кипятка яйцо (рис. 47)?



Рис. 47. Яйцо, вынутое из кипятка, не обжигает рук

**159**

Как влияет ветер на термометр в морозный день?

**160**

Русский переводчик иностранного сочинения по астрономии встретил в тексте ссылку на физический принцип холодной стены. В курсах физики он не нашел упоминания о таком принципе. Знаете ли вы, в чем он состоит?

**161**

Что при сгорании дает больше тепла: килограмм березовых дров или килограмм столь же сухих осиновых?

**162**

Что больше: теплотворная способность пороха или керосина?

**163**

Какова мощность горящей спички?

**164**

На чем основано выведение жирных пятен с тканей утюгом?

## 165

В какой воде можно больше растворить поваренной соли: в 40-градусной или в 70-градусной?

## V. Звук и свет

### 166

Укажите физическую несообразность в следующих строках старинного (1799 г.) стихотворения «Эхо»

Я чаю, эхо, ты мне в роще отвечаешь? С Чаешь.  
Конечно, ты вело меня с полей сюда? С Да!  
Мне долго говорить с тобою невозможно. С Можно!  
Нет, нет. Пойду искать овечку я к ручью. С Чью?

### 167

Наблюдая молнию и гром, можно ли определить расстояние грозового разряда?

### 168

Чем объясняется то, что ветер усиливает звук?

### 169

С какою приблизительно силой давят звуковые волны на барабанную перепонку?

### 170

Хорошо известно, что дерево проводит звук лучше, нежели воздух: вспомним опыт с постукиванием по торцу длинного бревна. С звуки эти можно услышать, приложив ухо к другому концу бревна. Почему же разговор, происходящий в соседней комнате, заглушается, когда дверь в комнату закрыта?

### 171

Может ли существовать преломляющая чечевица для лучей звука?

### 172

Когда звук вступает из воздуха в воду, приближается ли звуковой луч к перпендикуляру падения, или от него удаляется?

### 173

Почему шумят чашка или большая раковина, приложенные к уху?

### 174

Если звучащий камертон поставить на деревянный ящик, звук заметно усиливается. Откуда берется в этом случае избыточная энергия?

### 175

Куда девается энергия звуковых колебаний, когда звук более не слышен?

### 176

Случалось ли вам видеть лучи света?

### 177

1. Свет пробегает от Солнца до Земли не мгновенно, а в 8 минут с небольшим. Как сказывается это на моменте восхода Солнца? Рассмотрите вопрос для двух точек зрения: а) Земля вращается вокруг своей оси при неподвижном Солнце; б) Солнце обращается в 24-часовой период вокруг неподвижной Земли.

2. Как изменилось бы действие глаза и оптических приборов при мгновенном распространении света?

### 178

Почему в солнечный день на мостовой отчетливо видна тень от уличного фонаря, но тень проволоки, на которых он подвешен, видна слабо (рис. 48)?

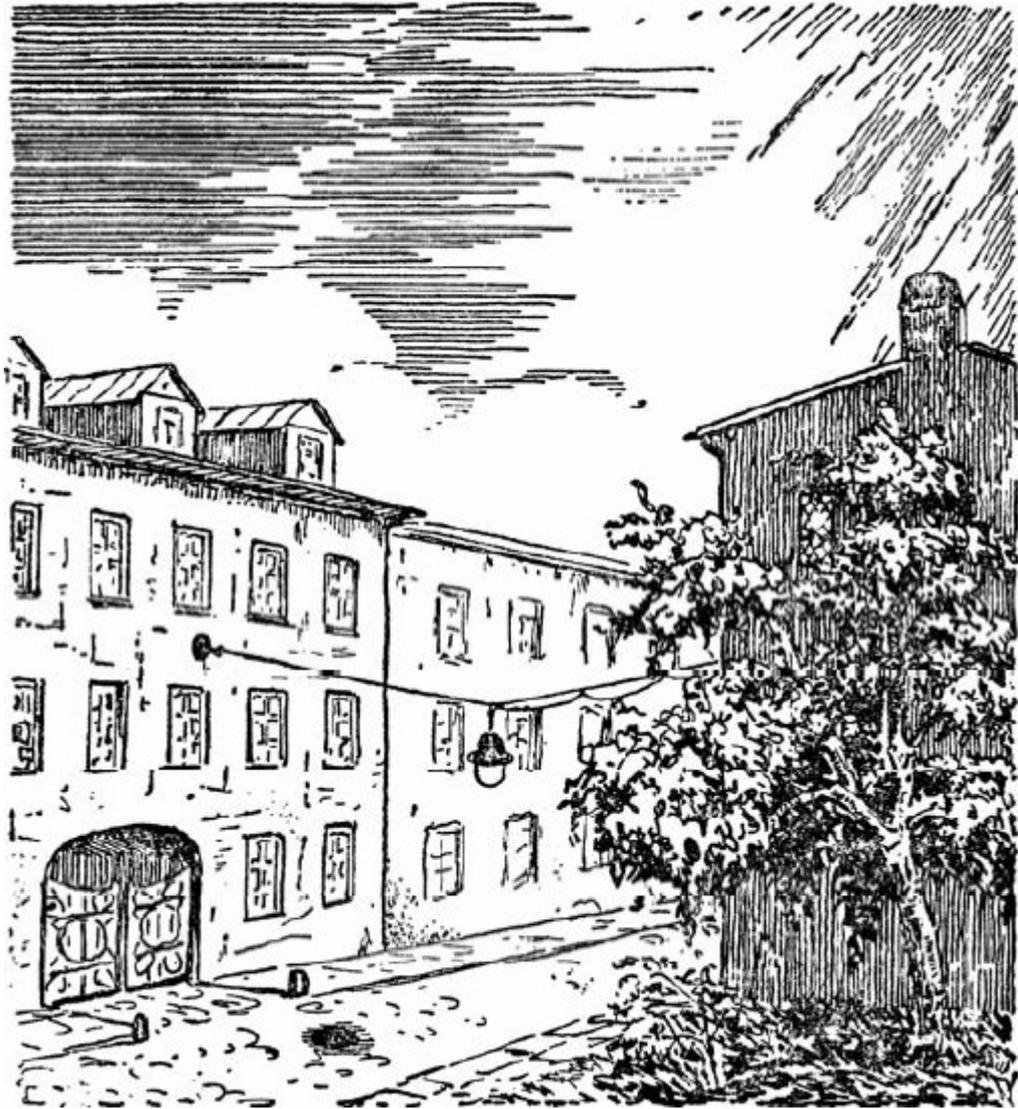


Рис. 48. Почему проволока не отбрасывает на мостовую полной тени?

**179**

Что больше: облако или его полная тень (рис. 49)?



Рис. 49. Что больше: облако или его полная тень?

**180**

Можно ли при свете полной луны читать книгу?

**181**

Что светлее: черный бархат в солнечный день или чистый снег в лунную ночь?

**182**

Что освещает сильнее: звезда первой величины или свеча с расстояния 500 м?

**183**

Луну мы видим белой; в телескоп поверхность ее кажется словно гипсовой. Астрономы утверждают, однако, что поверхность ее темно-серая. Как примирить эти противоречия?

**184**

Почему снег белый, хотя составлен из прозрачных ледяных кристалликов?

**185**

Почему блестит начищенный сапог?

**186**

Сколько цветов в солнечном спектре и сколько их в радуге?

### 187

1. Некто утверждает, что в полдень 22 июня видел в Москве радугу на небе.

Возможно ли это?

2. Автор старинного сочинения о радуге (парижский аббат де-ла-Плюш, 1781) сообщает, что ему случилось видеть радугу, находясь в Париже у одного ее конца, в то время как другой ее конец упирался в предместье города.

При каких условиях это могло наблюдаться?

### 188

Какого цвета кажутся красные цветы через зеленое стекло? А синие через то же стекло?

### 189

Когда золото имеет цвет серебра?

### 190

Почему ситец, лиловый при дневном освещении, кажется черным при вечернем электрическом свете?

### 191

Почему небо днем голубое, а при закате Солнца С красное?

В учебнике для 9-го года обучения «Основы эволюционного учения» излагается теория переноса зародышей через мировое пространство давлением световых лучей и, между прочим, сообщается следующее:

Аррениус подсчитал, что для передвижения живых зародышей потребовалось бы: 20 дней, чтобы зародыши попали на Землю с Марса, 14 месяцев с Нептуна...

Цитата явно ошибочна. Почему?

### 193

Почему в железнодорожной практике для сигнала остановки выбран красный цвет?

### 194

Как зависит показатель преломления света от плотности среды?

### 195

Из вопросов Эдисоновой викторины:

Показатель преломления одного стекла 1,5, другого 1,7. Из того и другого выточено по двояковыпуклой линзе. Обе линзы геометрически одинаковы. В чем разнятся они оптически?

Какое действие каждая из них произведет на луч, параллельный оптической оси, если их погрузить в прозрачную жидкость с показателем преломления 1,6?

## 196

Луна близ горизонта видна более крупной, чем высоко в небе (рис. 50). Почему же на таком увеличенном диске не замечаем мы новых подробностей?



Рис. 50. Когда на диске Луны видно больше подробностей: при высоком или при низком ее положении на небе?

## 197

Почему проколотый листок тонкого картона действует подобно лупе (рис. 51)?

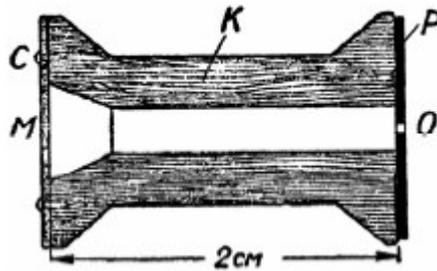


Рис. 51. Лупа из деревянной катушки. Объект приклеивают к прозрачному целлулоидному кругу С и рассматривают через тонкий прокол О в картонном кружке Р. Внутренность катушки вычернена тушью

## 198

«Солнечной постоянной» называется количество энергии, ежеминутно доставляемой солнечными лучами  $1 \text{ см}^2$ , выставленному на наружной границе земной атмосферы перпендикулярно к лучам Солнца.

Где солнечная постоянная больше: зимою на тропике или летом на полярном круге?

## 199

Что чернее всего?

## 200

Как можно вычислить температуру солнечной поверхности?

## 201

Что такое температура мирового пространства? Какую температуру должны принять тела, помещенные в мировом пространстве?

## VI. Разные вопросы

**202**

Существует ли металл, намагничивающийся сильнее железа?

**203**

Намагниченная спица разломана на мелкие части. Какой из полученных обломков окажется намагничен сильнее с находившийся ближе к концам спицы или ближе к середине?

**204**

На чувствительных весах уравновешены железный цилиндр и медная гиря (рис. 52).



Рис. 52. Задача о куске железа на весах

Учитывая действие земного магнетизма, можно ли признать массы куска железа и гири строго равными?

**205**

1. Легкий бузинный шарик притягивается палочкой. Значит ли это, что палочка была первоначально наэлектризована? А если бузинный шарик от палочки отталкивается?

2. Железная палочка притягивает стальную иглу. Значит ли это, что палочка была первоначально намагничена? А если иголка от палочки отталкивается?

**206**

Как приблизительно велика емкость человеческого тела?

**207**

Электрическое сопротивление нити накала в нагретом состоянии иное, чем в холодном. Как велика эта разница, например, для 50-ваттной пустотной лампы?

**208**

Проводит ли стекло электрический ток?

**209**

Для некоторых родов электрических лампочек вредно частое выключение. Почему?

**210**

Какой силы свет дает газополная электрическая лампа в 50 ватт?

**211**

Нити накала электрической лампочки, когда она не под током, настолько тонки, что едва различаются невооруженным глазом (рис. 53). Почему же заметно утолщаются они под током?

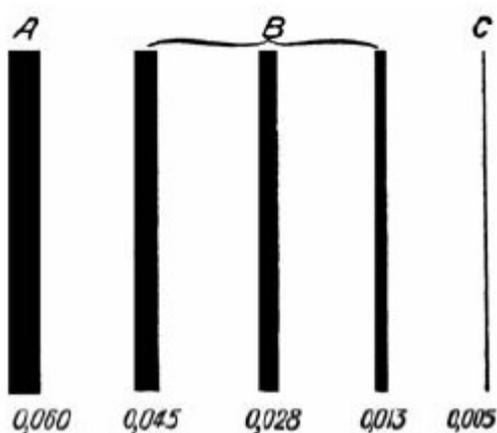


Рис. 53. Толщина нитей накала *B* по сравнению с толщиной человеческого волоса *A* и нити паутины *C* (в мм)

**212**

Какой примерно длины молния?

**213**

Отрезок был измерен дважды. В первый раз для его длины получено было значение 42,27 мм, во второй С 42,29 мм.

Какова истинная длина отрезка?

## 214

Эскалатор Московского метрополитена на станции «Мясницкая»<sup>3</sup> поднимается от уровня станции до входа в течение 1 мин. 20 с. Пассажир, взбираясь по ступеням неподвижного эскалатора, может пройти тот же путь в 4 минуты.

Во сколько времени поднимется от станции до входа пассажир, если будет взбираться по ступеням поднимающегося эскалатора?

## 215

Для чего поют «Дубинушку» при работе на ручном копре (рис. 54)? Какая опасность угрожала бы рабочим, если бы при копре (старого устройства) они работали молча?

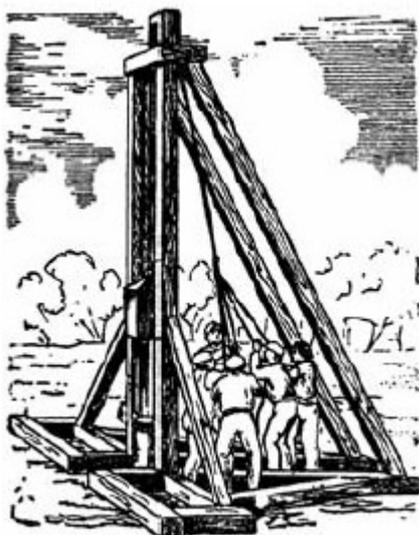


Рис. 54. Для чего при работе на копре поют «Дубинушку»?

## 216

Из викторины Эдисона:

«Два города, расположенные на разных берегах реки в миле (1,6 км) друг от друга, остались после стихийного бедствия без взаимного сообщения. Как установили бы связь между этими городами, не пользуясь услугами электричества? Переправиться через эту реку для человека невозможно»

## 217

На глубине 1 км затонула в море незакупоренная бутылка. Как изменится вместимость бутылки под давлением воды  $S$  увеличится или уменьшится?

---

<sup>3</sup> Ныне – «Чистые пруды»

## 218

Для точных измерений употребляются в технике стальные бруски, называемые «плитками Иогансона» Приложенные друг к другу, плитки эти, хотя не намагничены и ничем не скреплены (рис. 55), держатся вместе очень прочно.

Почему?



Рис. 55. Почему плитки Иогансона держатся вместе?

## 219

Вот заимствованное из иностранного детского журнала описание простого опыта, цель которого С демонстрировать атмосферное давление:

«Горящий огарок свечи укрепляют на дне стеклянной банки и, когда пламя погорит некоторое время, накрывают банку крышкой, проложив между ними увлажненное резиновое кольцо. Пламя тускнеет и вскоре гаснет (рис. 56). Попробуйте тогда оторвать крышку от банки С это удастся вам лишь при значительном усилии.

Причину явления легко понять. Пламя потребляет кислород, запас которого в герметически закрытой банке ограничен. Когда он расходуется весь, пламя гаснет. Оставшаяся часть воздуха, заняв больший объем, разрежается и давит слабее. Избыток наружного давления и прижимает так сильно крышку к банке»



Рис. 56. Опыт со свечой в банке

Находите ли вы это объяснение правильным?

## 220

Какой термометр появился раньше: Цельсия, Фаренгейта или Реомюра?

## 221

Какой национальности были Цельсий, Реомюр и Фаренгейт?

## 222

Из популярно-научной книжки:

«На основании некоторых измерений ученые узнали, что плотность всего земного шара равна приблизительно  $5^{1/2}$ ; объем же его известен, так как измерена величина его поперечника. Умножая этот объем на  $5^{1/2}$ , ученые и нашли, чему равна масса Земли».

Правильно ли указан здесь путь, каким определена была масса земного шара?

## 223

В одном из сборников физических задач имеется следующая:

«Астрономы считают, что наша Солнечная система летит со скоростью около 17 км/с по направлению к созвездию Лиры. Какие явления можно было бы заметить на Земле, если бы это движение было не равномерным, а ускоренным или замедленным?» Дайте ответ.

## 224

После прочтения мною доклада о будущих ракетных полетах в мировом пространстве, мне сделано было одним астрономом такое возражение:

«Вы упускаете из виду существенное обстоятельство, делающее достижение Луны в ракетном корабле совершенно безнадежным предприятием. Масса ракеты  $C$  по сравнению с массой небесных тел  $C$  исчезающе мала, а ничтожные массы получают огромные ускорения под действием сравнительно малых сил, которыми при других условиях можно было бы пренебречь. Я имею в виду притяжение планет  $C$  Венеры, Марса, Юпитера. Оно, конечно, крайне невелико, но ведь масса ракеты практически равна нулю, и для такой ничтожной массы действие даже небольших сил должно быть чрезвычайно ощутительно. Они породят огромные ускорения  $C$  ракета будет метаться в мировом пространстве по самым фантастическим путям, откликаясь на притяжение каждого сколько-нибудь массивного тела, и в своем блуждании никогда на Луну не набредет» Ваше мнение, читатель?

## 225

Вот еще одно возражение против осуществимости межпланетных перелетов. Астроном, разбирая (в сборнике «Успехи и достижения современной науки и техники») условия пребывания человека в среде без тяжести, высказал следующее соображение:

«Наш организм очень чутко реагирует на всякое нарушение в этом отношении. Попробуйте побывать некоторое время с опущенной головой или с поднятыми вверх ногами. Наступающие расстройства кровообращения бывают очень серьезны. Если так действует изменение направления силы тяжести, то как же должно действовать ее отсутствие!» Что скажете вы о логической силе этого довода?

## 226

Третий закон Кеплера формулируется в разных руководствах различно. В одних утверждается, что квадраты времен обращения планет и комет относятся как кубы их *средних* расстояний от Солнца. В других С что они относятся как кубы больших *полуосей* их орбит.

Какая формулировка правильна?

## 227

Если бы планеты обращались вокруг Солнца по строго круговым орбитам, они не совершали бы, очевидно, никакой механической работы, так как не удалялись бы от притягивающего их тела. Дело не меняется и для эллиптической орбиты, например для случая обращения Земли вокруг Солнца. Действительно, переходя из точек эллипса, близких к Солнцу, к точкам, более удаленным от него, Земля затрачивает энергию на преодоление притяжения Солнца; но расход этот возвращается полностью, когда Земля приходит в прежнее место. В итоге, кружась около Солнца, Земля не расходует энергии, и такое движение может длиться неопределенно долго.

Мы приходим к заключению, что обращение планет представляет собой пример подлинно вечного движения.

Но если так, то почему же физика утверждает, что вечное движение невозможно?

## 228

Укажите основания, дающие право рассматривать живой человеческий организм как тепловую машину.

## 229

Почему светятся метеоры?

## 230

В фабрично-заводских районах туманы бывают чаще, чем в окружающих лесистых или земледельческих местностях. Лондонские туманы вошли в поговорку.

Чем это объяснить?

## 231

Какая разница между туманом, дымом и пылью?

## 232

Существует народное поверье, что легкие облака тают в лучах Луны. Летом это поверье часто оправдывается. Как объяснить подобное действие лунного света?

## 233

Где молекулы обладают большею кинетической энергией: в водяном паре при 0 °С, в жидкой воде при 0 °С или во льду при 0 °С?

### 234

Какова приблизительно скорость теплового движения молекул водорода при минус 273 j C?

### 235

Достигим ли абсолютный нуль?

### 236

Что такое вакуум?

### 237

Какова по приблизительной оценке средняя температура вещества во всем мире?

### 238

Можно ли видеть невооруженным глазом одну 10-миллионную долю грамма вещества?

### 239

Если взять какое-либо вещество в количестве одной «граммолекуль» т. е. такое число его граммов, которое равно молекулярному весу этого вещества (например, 2 г водорода или 32 г кислорода), то во взятой порции всегда окажется одно и то же число молекул, именно  $66 \cdot 10^{22}$  с 22 нулями ( $66 \cdot 10^{22}$ ). Число это носит в физике название «числа Авогадро» Вообразите, что имеется такое число не молекул, а булавочных головок. Вы желаете заказать ящик для вмещения этой огромной кучи головок. Высота ящика назначена вами в 1 км. Каковы приблизительно будут размеры его основания? Поместился ли бы такой ящик в пределах Москвы или Ленинграда?

### 240

Если в океан вылить литр спирта, то молекулы спирта распределятся через некоторое время равномерно по всей водной массе Мирового океана.

Сколько приблизительно понадобится зачерпнуть в океане литров воды, чтобы выловить одну молекулу спирта?

### 241

Во сколько приблизительно раз среднее расстояние между молекулами водорода, при 0 °C и нормальном давлении, больше поперечника газовой молекулы?

### 242

Укажите «на глаз» как велик неизвестный член пропорции:

$$\frac{\text{масса атома водорода}}{x} = \frac{x}{\text{масса земного шара}}$$

**243**

Какой приблизительно величины были бы молекулы, если бы все тела на Земле увеличились линейно в миллион раз?

**244**

Чему приблизительно равен  $x$  в пропорции:

$$\frac{\text{Диаметр Электрона}}{x} = \frac{x}{\text{диаметр Солнца}} .$$

**245**

1. Если бы мельчайшая бактерия увеличилась до размеров земного шара, какой приблизительно величины оказались бы электрон и протон?
2. Если бы электрон сделался толщиной с волос, какой толщины оказался бы волос?
3. Если бы диаметр орбиты Нептуна был уменьшен до диаметра Земли, какой величины оказалась бы Земля?
4. Если бы диаметр Земли уменьшился до 1 мм; как велико оказалось бы (при пропорциональном уменьшении) расстояние до Сириуса?
5. Если бы вся Солнечная система уменьшилась в диаметре до толщины волоса, каково оказалось бы в соответствующем уменьшении расстояние до туманности Андромеды?

**246**

Как надо понимать утверждение новейшей физики, что энергия обладает массой и имеет вес?

**247**

Как надо смотреть на классическую механику в свете современного учения об относительности? Остается ли она в силе?

## Ответы

### I. Механика

#### 1. Меры крупнее метра

У нас узаконена только одна метрическая мера крупнее метра: километр. Декаметр, гектометр, мириаметр в нашем стандарте отсутствуют.

#### 2. Литр и кубический дециметр

Убеждение, будто литр и кубический дециметр одно и то же, С ошибочно. Они весьма близки по величине, однако не тождественны. Узаконенный литр современной системы мер производится не от куб. дециметра, а от килограмма, и представляет собою объем килограмма чистой воды при температуре ее наибольшей плотности. Объем этот больше куб. дециметра на  $27 \text{ мм}^3$ .

Итак, литр несколько больше куб. дециметра.

#### 3. Мельчайшая мера длины

Тысячная доля миллиметра – *микрон* – далеко не является самой маленькой мерой длины, употребляемой в современной науке<sup>4</sup>. Ее давно уже превзошли в малости сначала миллионная доля миллиметра *С нанометр*, затем десятиллионная доля миллиметра *С* так называемый *ангстрем* (*E*) *С* ныне не применяемая единица. На сегодняшний день самая малая мера длины *С* это *нанометр*. Ранее применялась сейчас уже отмененная единица «икс» (*X*), представляющая собою  $X = 1,00206 \cdot 10^{P13} \text{ м} \approx 0,0001 \text{ нм}$ . В природе, впрочем, существуют тела, для которых даже «икс» мера слишком крупная. Таков электрон, поперечник которого измеряется сотыми долями икса<sup>5</sup>, и протон, диаметр которого, вероятно, в 2000 раз меньше.

Перечисленные малые меры длины сопоставлены ниже:

микрон  $10^{P6} \text{ м}$

нанометр  $10^{159} \text{ м}$

ангстрем  $10^{P10} \text{ м}$  (отменена)

икс  $10^{P13} \text{ м}$  (отменена)

Формально, согласно системе СИ, можно использовать производные от метра величины: пикометр ( $10^{P12} \text{ м}$ ), фемтометр ( $10^{P15} \text{ м}$ ) и аттометр ( $10^{P18} \text{ м}$ ), но фактически наименования величин менее нанометра не применяются.

---

<sup>4</sup> Микрон становится уже довольно крупной единицей длины и для современной техники: массовое производство сложных машин, возможное лишь при полной взаимозаменяемости частей, ввело в производственную практику употребление измерительных приборов, улавливающих десятые доли микрона (см. ответ на вопрос 218).

<sup>5</sup> Строго говоря, о диаметре электрона можно говорить лишь условно. «Если сделать предположение, – пишет проф. Дж. П. Томсон, – что электрон подчиняется тем же самым законам, каким следует в лаборатории заряженный металлический шар, то можно подсчитать и «диаметр» электрона; для него получится значение  $3,7 \cdot 10^{-13} \text{ см}$ . Но этот результат не удалось еще проверить никаким опытом».

## 4. Наибольшая мера длины

Еще не так давно наибольшей мерой длины, с какой имеет дело наука, считался «световой год» – годичный путь светового луча в пустоте. В нем 9,5 биллиона километров ( $9,5 \cdot 10^{12}$  км). В научных сочинениях эта мера постепенно вытеснена другой, в три с лишком раза более крупной – «парсеком». Парсек (сокращение от слов «параллакс» и «секунда») равен 31 биллиону километров –  $31 \cdot 10^{12}$  км. Но и эта исполинская мера оказалась чересчур мелкой для промеров глубин мироздания. Астрономам пришлось ввести сначала килопарсек, заключающий 1000 парсеков, а затем и мегапарсек – миллион парсеков, побивающий в настоящее время – корд протяжения среди мер длины.

Его соперник – мера, называемая астрономами «единица А» и содержащая миллион световых лет, – раза в три меньше мегапарсека. Мегапарсеками измеряются расстояния до спиральных туманностей.

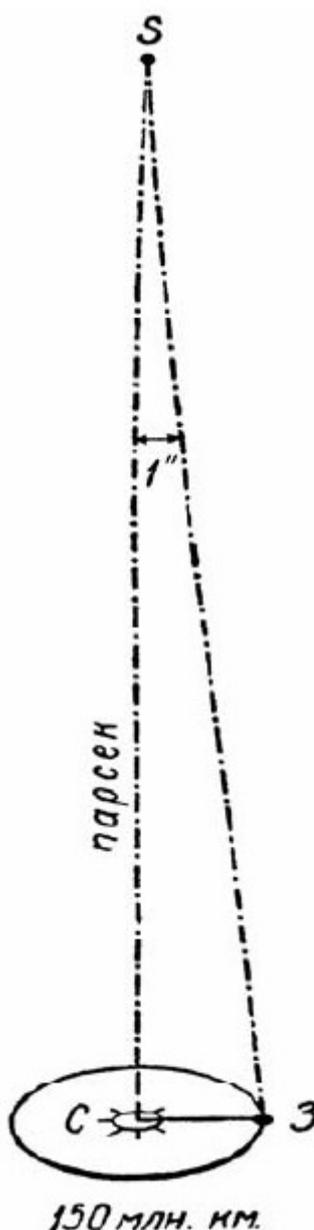


Рис. 57. Что такое «парсек»

Сопоставим эти огромные меры длины:

парсек	$31 \cdot 10^{12}$ км	световой год	$9,5 \cdot 10^{12}$ км
килопарсек	$31 \cdot 10^{15}$ км		
мегапарсек	$31 \cdot 10^{18}$ км	единица А	$9,5 \cdot 10^{18}$ км

Интересно, какой длины средняя величина между самой большой и самой мелкой мерами – между мегапарсексом и иксом. Мы имеем здесь в виду, конечно, не среднеарифметическую (которая составляет, очевидно, половину мегапарсека), а среднегеометрическую. Превратив икс в километры, имеем

$$X = 10^{-10} \text{ мм} = 10^{-16} \text{ км.}$$

Следовательно, среднегеометрическая между мегапарсексом и иксом равна

$$\sqrt{31 \cdot 10^{18} \cdot 10^{-16}} \text{ км.}$$

Наибольшая мера длины во столько же раз больше 56 км, во сколько раз 56 км больше самой мелкой меры.

## 5. Легкие металлы. Металлы легче воды

Когда заходит речь о легком металле, называют обычно алюминий. Однако он занимает далеко не первое место в ряду легких металлов: существует несколько металлов, которые легче его. Ниже приведен их перечень с указанием удельного веса (плотности) каждого:

алюминий	2,7	кальций	1,55	легче воды
стронций	2,6	натрий	0,97	
бериллий	1,9	калий	0,86	
магний	1,7	литий	0,53	

Рекорд легкости побивает, как видим, литий<sup>6</sup> – металл, который легче многих пород дерева и плавает в керосине, погружаясь до половины. Он в сорок раз легче самого тяжелого металла – осмия.

<sup>6</sup> Литий находит себе применение для изготовления красных сигнальных ракет, в стекольной промышленности (изготовление молочного стекла), в металлопромышленности (для придания твердости сплавам) и др.

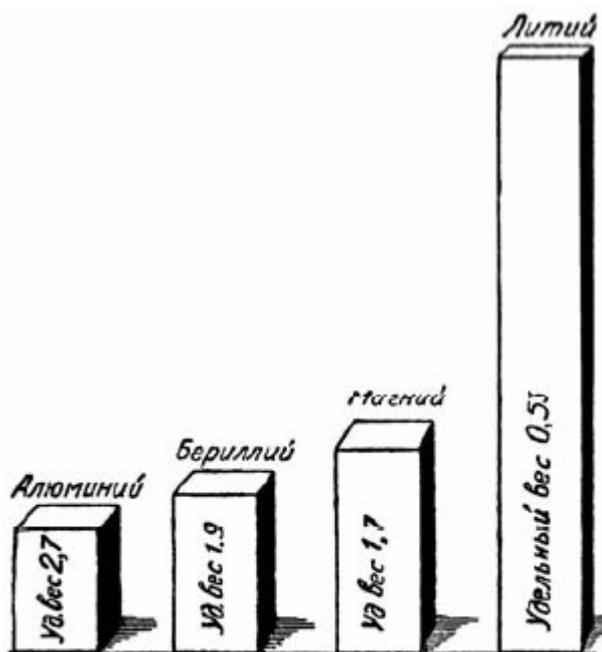


Рис. 58. Призмы равного веса из некоторых легких металлов

Из сплавов, применяемых в современной промышленности, выделяются своей легкостью следующие (французские инженеры, занимающие одно из первых мест в производстве высококачественных легких сплавов, называют «легкими» все сплавы с плотностью меньше 3):

- 1) дюралюминий и кольчугалюминий С сплавы алюминия с небольшим количеством меди и магния; при плотности 2,6 они втрое легче железа, будучи прочнее его в полтора раза;
- 2) дюрбериллий – сплав бериллия с медью и никелем; он легче дюралюминия на 25 % и прочнее на 40 %;
- 3) электрон (не смешивать с элементарным количеством отрицательного электричества)<sup>7</sup> – сплав магния, алюминия и др.; почти не уступая в прочности дюралюминию, электрон легче его на 30 % (плотность 1,84).

Мы не останавливаемся здесь на ряде таких легких алюминиевых сплавов, как *лоталь*, *силумин*, *склерон*, *конструкталь*, *магналий* (предшественник электрона), употребляемых на Западе.

## 6. Вещество наибольшей плотности

Осмий, иридий, платина – вещества, которые принято считать самыми плотными – оказываются ничтожно плотными по сравнению с веществом некоторых звезд. Величайшей плотностью отличается материя так называемой звезды ван-Манэна, принадлежащей к зодиакальному созвездию Рыб. В 1 куб. см этой звезды (по геометрическим размерам не превышающей нашу Землю) заключается в среднем около 400 кг массы. Следовательно, вещество это в 400 000 раз плотнее воды и приблизительно в 20 000 раз плотнее платины. Мельчайшая дробинка из такого вещества (№ 12, диаметр 1,25 мм) весила бы на поверхности Земли 400 г С целый фунт! Вес той же дробинки на поверхности самой звезды ван-Манэна поистине чудовищен: 30 тонн!

<sup>7</sup> Название сплава – «электрон» – произошло от наименования фирмы, на предприятиях которой он впервые был изготовлен. Советский самолет «Серго Орджоникидзе» был целиком построен из электрона отечественного изготовления.

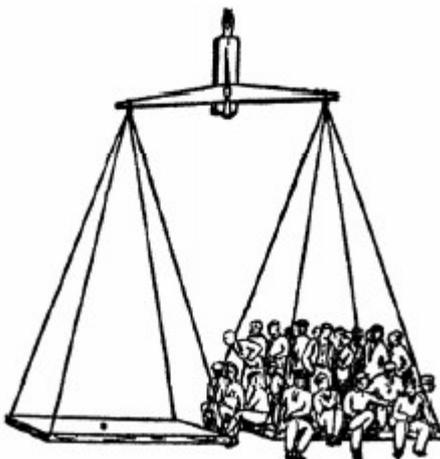


Рис. 59. Немного вещества звезды ван – Манэна, объемом в четверть спичечного коробка, могло бы уравновесить три десятка взрослых людей

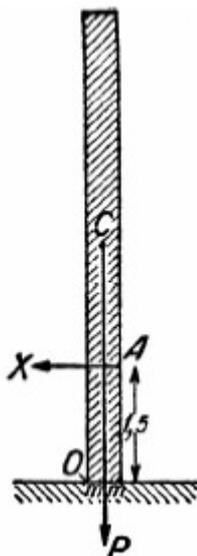


Рис. 60. Опрокидывание Эдисоновой стены

## 7. На необитаемом острове

«Растут ли хоть деревья на этом тропическом острове?» – спрашивает автор немецкой книжки, посвящен – ной разбору Эдисоновой викторины. Вопрос праздный, потому что для опрокидывания скалы никаких деревьев не понадобится: это можно сделать буквально голыми руками. Рассчитаем, какова толщина скалы, подозрительно не упомянутая в задаче, и дело сразу разъяснится.

При общей массе скалы 3 т и при плотности гранита 3, соображаем, что объем скалы равен  $1 \text{ м}^3$ . А так как дли – на скалы 30 м (100 футов), высота около 5 м (15 футов), то толщина ее

$$l: (30 \cdot 5) \approx 0,007 \text{ м},$$

т. е. 7 мм. На острове возвышалась тонкая стена, всего в 7 мм толщины.

Чтобы подобную стену опрокинуть (если только она не врылась глубоко в почву), достаточно упереться в нее руками или плечом. Вычислим величину нужной для 78 этого силы, обозначив ее через  $x$ ; на рис. 60 она изображена вектором  $Ax$ . Точка А приложе-

ния этой силы находится на высоте плеч человека (1,5 м). Сила стремится повернуть стену вокруг оси О. Момент этой силы равен

$$\text{Мом. } x = 1,5x.$$

Опрокидывающему усилию противодействует вес скалы Р, приложенный в центре ее тяжести С и стремящийся отвести поворачиваемую стену в прежнее положение. Момент силы веса относительно той же оси О равен

$$\text{Мом. } P = P \cdot m = 3000 \cdot 0,0035 = 10,5.$$

Величина силы х определяется из уравнения:

$$1,5x = 10,5,$$

$$\text{откуда } x = 7 \text{ кг.}$$

Значит, напирая на стену с силою всего 7 кг, человек опрокинет скалу.

Невероятно, чтобы подобная каменная стена вообще могла удержаться в отвесном положении: самый слабый, неощутимый для нас ветерок должен был бы ее опрокинуть. Легко рассчитать указанным сейчас приемом, что для опрокидывания этой стены ветром (который можно рассматривать как силу, приложенную на половине высоты стены) достаточно общее давление ветра всего в  $1\frac{1}{2}$  кг/кв. м. Между тем даже так называемый «легкий» ветер с силою давления 1 кг на 1 кв. м оказывал бы на стену давление в 150 кг.

## 8. Вес паутиной нити

Не сделав расчета, трудно дать правдоподобный ответ на этот вопрос. Расчет несложен: при диаметре паутиной нити 0,0005 см и плотности = 1 (г/см<sup>2</sup>), километр ее должен весить

$$\frac{3,14 \cdot 0,0005^2}{4} \cdot 100\,000 \approx 0,02 \text{ г;}$$

а нить в 400 000 км (округленное расстояние от Земли до Луны) —  
 $0,02 \cdot 400\,000 = 8 \text{ кг.}$

Такой груз можно удержать в руках.

## 9. Модель Эйфелевой башни

9. Модель Эйфелевой башни Задача эта – скорее геометрическая, чем физическая, – представляет интерес главным образом для физики, так как в физике приходится нередко сопоставлять массы геометрически подобных тел. В данном случае вопрос сводится к определению отношения массы двух подобных тел, линейные размеры одного из которых в 1000 раз меньше, чем другого. Грубой ошибкой было бы думать, что уменьшенная в такой пропорции модель Эйфелевой башни весит не 9000 т, а 9 т, т. е. всего в тысячу раз меньше. Объемы, а следовательно, и массы геометрически подобных тел относятся, как кубы их линейных размеров. Значит, модель башни должна иметь массу меньше натуре в 1000<sup>3</sup>, т. е. в миллиард раз:

$$9\,000\,000\,000 : 1\,000\,000\,000 = 9 \text{ г,}$$

– масса, крайне ничтожная для железного изделия вы – сотою 30 см. Это будет казаться, однако, не столь странным, если сообразим, какой толщины оказались бы брусья нашей модели: в тысячу раз тоньше натуре, они должны быть тонки, как нитки: модель окажется

словно сотканной из тончайшей проволоки<sup>8</sup>, так что удивляться ее незначительной массе не приходится.

## 10. Тысяча атмосфер под пальцем

Для многих будет, вероятно, полной неожиданностью утверждение, что, втыкая пальцем острую иглу или булавку в ткань, мы производим давление порядка 1000 ат. В этом нетрудно, однако, убедиться. Измерив – например, с помощью весов для писем – силу, с какой палец напирает на втыкаемую булавку, получим около 300 г, или 0,3 кг. Диаметр кружка, на который давление это распространяется (острие булавки), – примерно 0,1 мм, или 0,01 см; площадь такого кружка равна около

$$3 \cdot 0,012 = 0,0003 \text{ см}^2.$$

Отсюда давление на 1 см<sup>2</sup> составляет

$$0,3 : 0,0003 = 1000 \text{ кг}.$$

Так как техническая атмосфера равна давлению 1 кг/см<sup>2</sup>, то, втыкая булавку, мы производим давление в 1000 технических атмосфер. Рабочее давление пара в цилиндре паровой машины в сотню раз меньше.

Портной, работая иглой, поминутно пользуется давлением в сотни атмосфер, сам не подозревая, что развивает пальцами руки такое чудовищное давление. Не задумывается над этим и парикмахер, срезая волосы ост – рой бритвой. Бритва напирает на волос с силою, правда, 1 70–тонные брусья Эйфелевой башни заменились бы в модели проволочками, весящими 0,07 г. 81 всего нескольких граммов; но острее ее имеет в толщину не более 0,0001 см, диаметр же волоса менее 0,01 см; площадь, на которую распространяется давление бритвы, равна в данном случае величине порядка

$$0,0001 \cdot 0,01 = 0,000 001 \text{ см}^2.$$

Удельное давление силы в 1 г на такую ничтожную площадь составляет

$$1 : 0,000 001 = 1 000 000 \text{ г/см}^2 = 1000 \text{ кг/см}^2,$$

т. е. опять-таки 1000 ат.

Так как рука напирает на бритву с силою большею 1 г, то давление бритвы на волос достигает *десятков тысяч* атмосфер.

## 11. Сто тысяч атмосфер силою насекомого

Сила насекомых так мала по абсолютной величине, что возможность для них производить давление в сто тысяч атмосфер представляется невероятной. Между тем существуют насекомые, способные производить даже еще большие давления. Оса вонзает жало в тело жертвы с силою всего 1 мг или около того. Но острота осинового жала превосходит все, что может быть достигнуто средствами нашей изошренной техники; даже так называемые микрохирургические инструменты гораздо тупее осинового жала. Микроскоп при самом сильном увеличении не обнаруживает на острие осинового жала никакого уплощения. Взглянув же в «сверхмикроскоп» на кончик иглы, мы увидели бы картину вроде той, какая изображена на рис. 61: подобие горной вершины.

<sup>8</sup> 70-тонные брусья Эйфелевой башни заменились бы в модели проволочками, весящими 0,07 г.



Рис. 61. Острие иглы при чрезвычайно сильном увеличении походило бы на горную вершину

Лезвие ножа, если бы на него взглянуть в такой микроскоп, похоже было бы скорее на пилу или, если угодно, на горную цепь (рис. 62). Жало осы, пожалуй, самая острая вещь в при – роде: радиус закругления ее острия не превышает 0,00001 мм, в то время как у хорошо отточенной бритвы он не менее 0,0001 мм и достигает 0,001 мм.



Рис. 62. Лезвие ножа при сильном увеличении походило бы на горную цепь. Вычислим площадь, по какой распределяется сила осы в 0,001 г, т. е. площадь кружка радиусом 0,00001 мм.

Принимая ради простоты  $\pi = 3$ , имеем, что площадь это – го кружка в кв. сантиметрах:

$$S = 3 \cdot 0,000\ 001^2 \text{ см}^2 = 0,000\ 000\ 000\ 003 \text{ см}^2.$$

Сила, действующая на эту площадь в первый момент прокалывания, равна 0,001 г. = 0,000 001 кг. Давление получается равным

$$P = \frac{0,000001}{0,000000000003} = 330\ 000 \text{ ат.}$$

(Возможно, впрочем, что в действительности дело обстоит иначе: прокалываемый материал уступает раньше, чем давление достигнет такой чудовищной степени. Это значит,

что осе не приходится развивать силы в 1 мг, – она прилагает к жалу гораздо меньшее усилие, в зависимости от прочности прокалываемого материала.)

## 12. Гребец на реке

Даже люди, занимающиеся водным спортом, дают часто неправильный ответ на поставленный в задаче вопрос: им кажется, что грести против течения труднее, чем по течению, и, следовательно, перегнать щепку легче, чем отстать от нее.

Безусловно верно, что пристать к какому-нибудь пункту берега, гребя против течения, труднее, чем гребя по течению. Но если пункт, которого вы желаете достигнуть, плывет вместе с вами, как щепка на реке, – дело существенно меняется. Надо иметь в виду, что лодка, движимая течением, находится по отношению к несущей ее воде в покое. Сидя в такой лодке, гребец работает веслами совершенно так же, как в неподвижной воде озера. На озере одинаково легко грести в любом направлении; то же самое будет и в текущей воде при наших условиях.

Итак, от гребца потребуются одинаковая затрата работы, безразлично – стремится ли он обогнать плывущую щепку или отстать от нее на такое же расстояние.

## 13. Флаги аэростата

Если аэростат несется течением воздуха, то скорость обоих одинакова: аэростат и окружающий его воздух находятся в покое один относительно другого. Значит, флаги должны свисать отвесно, как в неподвижном воздухе, т. е. в безветренную погоду. Люди в гондоле такого аэростата не ощущают ни малейшего ветра, хотя бы их мчал ураган.

Изложенные сейчас соображения, при всей своей простоте, представляются многим почему-то парадоксальными; следствия из них не сразу воспринимаются. Одного автора ряда книг по авиации и воздухоплаванию мне удалось убедить в их правильности только после продолжительной беседы.

## 14. Круги на воде

Если не найти сразу правильного подхода к этой задаче, то легко запутаться в рассуждениях и прийти к выводу, что в текущей воде волны должны вытянуться в форме не то эллипса, не то овала, притупленного навстречу течению. Между тем, внимательно наблюдая за волнами, разбегающимися от брошенного в реку камня, мы не заметим никакого отступления от круговой формы, как бы быстро ни было течение.

Здесь нет ничего неожиданного. Простое рассуждение приведет нас к выводу, что волны от брошенного камня должны быть круговые и в стоячей и в текущей воде. Будем рассматривать движение частиц волнующейся воды как составное из двух движений: радиального – от центра колебаний, и переносного, направленно – го по течению реки. Тело, участвующее в нескольких движениях, в конечном итоге перемещается туда, где очутилось бы оно, если бы совершало все составляющие движения последовательно, одно за другим. Поэтому до – пустим сначала, что камень брошен в неподвижную воду. В таком случае волны, конечно, получатся круговые.

Представим себе теперь, что вода передвигается, – безразлично с какой скоростью, равномерно или неравно – мерно, лишь бы движение это было поступательное. Что произойдет с круговыми волнами? Они передвинутся параллельным перемещением, не претерпевая никакого искажения, т. е. формы останутся круговыми.

## 15. Бутылки и пароходы

Ответ на оба вопроса задачи одинаков: пароходы вернуться к бутылкам одновременно.

Решая задачу, надо прежде всего принять в соображение, что река несет на себе бутылки и пароходы с одной и той же скоростью и что, следовательно, течение нисколько не изменяет их относительного расположения. Можно принять поэтому, что скорость течения равна нулю. А при таком условии, т. е. в стоячей воде, каждый пароход подойдет к бутылке спустя столько же времени (после поворота), сколько прошло с тех пор, как он ее кинул, т. е. через четверть часа.

## 16. Закон инерции и живые существа

Повод к сомнению в том, подчиняются ли живые существа закону инерции, дает следующее обстоятельство. Живые существа, – рассуждают многие, – могут сниматься с места без участия внешней силы; а по закону инерции «тело, предоставленное самому себе, остается в покое или продолжает двигаться равномерно и прямолинейно, пока какая-нибудь *внешняя* причина (т. е. сила) не изменит этого состояния тела» (см., например, книгу проф. А. А. Эйхенвальда «Теоретическая физика»).

Однако слово «внешняя» в формулировке закона инерции вовсе не необходимо; оно совершенно излишне.

У Ньютона в «Математических началах физики» нет этого слова; вот дословный перевод Ньютонова определения:

«Каждое тело пребывает в своем состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, поскольку действующие на тело силы не принуждают его изменить такое состояние».

Здесь нет никакого указания на то, что причина, выводящая тело из покоя или из движения по инерции, должна быть непременно *внешняя*. При такой формулировке не остается места никаким сомнениям в том, что закон инерции простирается и на живые существа.

Что касается способности живых существ двигаться без участия внешних сил, то относящиеся сюда соображения читатель найдет дальше.

## 17. Движение и внутренние силы

Распространено убеждение, что одними внутренними – ми силами тело не может привести себя в движение.

Это – не более как предрассудок. Достаточно указать на ракету, которая движется исключительно внутренними силами. Все ракетное летание, развивающееся на наших глазах, имеет в своей основе эту неправильно отвергаемую возможность.

Верно лишь то, что вся масса тела не может быть внутренними силами приведена в *одинаковое* движение.

Но силы эти вполне могут сообщить *части* тела одно движение, например вперед, а остальной части – противоположное, назад. Такой случай мы имеем в движении ракеты.

Другой наглядный пример представляет кошка, которая, как известно, будучи уронена, всегда падает на лапки. Поворотом лапок в одну сторону кошка достигает поворота туловища в противоположную. Про – изводя ряд целесообразных поворотов лапок, то вытянутых, то прижатых к телу (т. е. пользуясь одновременно и «законом площадей»), кошка выполняет нужный поворот туловища действием одних лишь внутренних сил.

Причина недоразумений, связанных с действием внутренних сил, та, что невозможность перемещения тела внутренними его силами неправильно провозглашена во многих книгах в качестве некоего закона механики.

Такого закона нет. Это лишь неудачная популяризация закона, гласящего, что внутренние силы не могут изменить *движения центра* массы тела.

## 18. Трение как сила

Трение как сила Безусловно правильно, что трение о неподвижное тело не может быть непосредственной причиной движения, а напротив – является лишь помехой движению.

Но именно потому его с полным основанием и называют силой. Что такое сила? Ньютон определяет так:

«Сила есть действие, производимое над телом, что – бы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения».

Трение о путь изменяет равномерное движение тел, превращая его в неравномерное (замедленное). Следовательно, трение есть сила.

Чтобы такие недвижущие силы выделить среди других сил, способных породить движение, первые называют *пассивными*, вторые – *активными*.

## 19. Трение и движение животных

Рассмотрим конкретный пример С ходьбу человека. Принято думать, что при ходьбе движущей силой является трение, как единственная участвующая здесь *внешняя* сила. Так часто пишут в учебных руководствах и популярных книгах. Подобный взгляд больше затемняет вопрос, чем разъясняет его. Может ли трение о путь быть причиной движения, раз оно способно только замедлять движение, а никак не породить его?

На роль трения в ходьбе человека и животных надо смотреть следующим образом. При ходьбе должно происходить в сущности то же, что и при движении ракеты. Человек может вынести ногу вперед только при условии, что прочая часть его тела продвинется назад. На скользкой поверхности мы это и наблюдаем. Но где имеется достаточно сильное трение, там отступления тела назад не происходит, и центр тяжести всего тела оказывается перенесенным вперед: шаг сделан.

Какие же силы перемещают здесь центр тяжести тела вперед? Сокращение мускулов, т. е. сила внутренняя. Роль трения в этом случае сводится лишь к тому, что оно уравнивает одну из двух равных внутренних сил, возникающих при ходьбе, и тем дает перевес другой.

Совершенно такую же роль играет трение и при всяком ином перемещении живых существ, а также и при движении паровоза. Все эти тела движутся поступательно не действием трения, а одной из двух внутренних сил, получающей преобладание благодаря трению.

Изложенные здесь соображения показали некоторым критикам непозволительным новшеством. Однако они высказаны были еще более века назад русским профессором П. П. Фан – дер – Флитом («Введение в механику», 1886, ч. II). Вот относящееся сюда место из этой книги:

«Результат действия внутренних сил материальной системы существенно видоизменяется присоединением к ним действия внешних сил. Внешние силы, не только активные, но и пассивные (вроде трения или сопротивления), могут своим противодействием уравновесить часть внутренних сил системы и тем самым нарушить равенство между оставшимися неуравновешенными силами.

Образовавшийся таким образом избыток внутренних сил по одному направлению сообщает всем телам системы через посредство связей между ними общее движение по этому направлению».

Затем следует объяснение указанным образом процессов ходьбы, движения паровоза, полета птиц и т. п.

## 20. Натяжение веревки

Может казаться, что натяжение веревки получится одинаковое, будем ли мы растягивать ее с силою 10 кг за каждый конец или же тянуть с силою 20 кг за один конец, прикрепив другой к стене. В первом случае две силы в 10 кг, приложенные к концам веревки, дают растягивающее усилие в 20 кг; во втором случае то же натяжение порождается силою в 20 кг, приложенной к незакрепленному концу.

Это – грубое заблуждение. Натяжение веревки в рассматриваемых случаях вовсе не одинаково. В первом случае веревка растягивается двумя силами по 10 кг, приложенными к ее концам, во втором – двумя силами по 20 кг, также приложенными к концам, потому что си – ла рук вызывает равную противодействующую силу со стороны стены. Следовательно, натяжение веревки во втором случае вдвое больше, чем в первом.

Легко впасть в новую ошибку, определяя саму величину натяжения веревки. Вообразим, что растягиваемая веревка разрезана и освободившиеся концы ее привязаны к пружинному безмену – один к кольцу, другой к крючку. Сколько покажет в каждом случае безмен? Не следует думать, что в первом случае показание безмена будет 20 кг, во втором 40 кг. Две противоположные силы по 10 кг, приложенные к концам веревки, дают растяжение не в 20 кг, а всего в 10 кг. Что такое две силы по 10 кг, растягивающие веревку в противоположные стороны? Не что иное, как то, что мы называем «силою в 10 кг». Других сил в 10 кг не бывает: всякая сила имеет как бы два конца. Если и кажется иной раз, что перед нами сила ординарная, а не парная, то происходит это потому лишь, что другой «конец» наблюдаемой силы находится весьма далеко и ускользает от нашего внимания. Когда, напри – мер, тело падает, на него действует сила притяжения Земли: это один «конец» силы; другой – притяжение телом Земли – приложен в центре земного шара<sup>9</sup>.



Рис. 63. Динамометр показывает силу тяги лошади или силу тяги дерева, С но никак не сумму обоих усилий

Итак, веревка, которую тянут в разные стороны силами в 10 кг, растягивается силою 10 кг, а растягиваемая в одну сторону силою в 20 кг (и в обратную сторону – такую же силою противодействия) подвержена натяжению в 20 кг.

<sup>9</sup> Подробнее об этом см. мою «Занимательную механику» главу первую.

## 21. Магдебургские полушария

После разъяснений предыдущей статьи ясно, что в упряжке при полушариях Герике 8 лошадей были 8 лошадей.

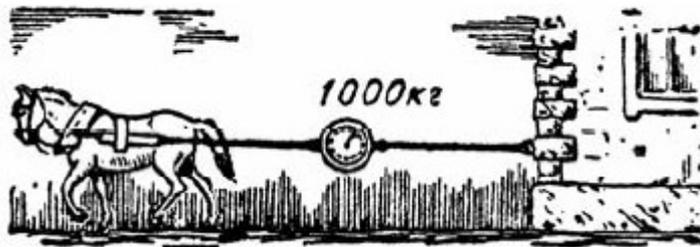


Рис. 64. В этом случае роль тяги согну – того деревца (см. рис. 63) играет противодействие стены совершенно излишни. Их вполне можно было бы заменить сопротивлением какой-нибудь стены или крепкого древесного ствола. По закону действия и противодействия, сила противодействия стены равнялась бы тяге

Чтобы увеличить тягу, целесообразно было бы эту восьмерку освободившихся лошадей припрячь в помощь прочим восьми. (Не следует думать, однако, что тяга при этом удвоилась бы: вследствие неполной согласованности усилий двойное число лошадей порождает не двойную тягу, а менее чем двойную, хотя и большую, чем ординарную.)

Замена 8 лошадей сопротивлением стены выгодна и без использования освободившейся восьмерки лошадей, так как уменьшается несогласованность усилий: противодействие стены проявляется строго в тот самый момент, когда действует тяга лошадей, чего нельзя сказать о противодействии живых двигателей.

## 22. Безмен

На вопрос этой задачи ошибочно отвечать, что раз взрослый тянет к себе кольцо безмена с силою 10 кг, а ребенок тянет за крюк в свою сторону с силою 3 кг, то указатель должен остановиться у 13 кг.

Это неверно потому, что нельзя тянуть тело с силою 10 кг, если нет равного противодействия. В данном случае противодействующая сила есть сила ребенка, которая не превышает 3 кг; поэтому взрослый может тянуть безмен с силою не более 3 кг. Указатель безмена остановится, следовательно, у деления в 3 кг.

Кому это представляется неправдоподобным, тот пусть рассмотрит случай, когда ребенок, держа безмен, вовсе не тянет его к себе: сможет ли взрослый вытянуть на таком безмене хоть один грамм?

Отметим, кстати, что равенство действия и противодействия не нарушается никогда, ни при каких условиях.

Некоторые не понимают этого по вине своих учителей.

Так, например, в «Физике» проф. А. К. Тимирязева (ч. I, с. 69) можно найти прямое утверждение, что «равновесие (автор разумел *равенство*) между действием и противодействием» в некоторых случаях временно нарушается. Это неожиданное в устах профессора физики утверждение поясняется следующим примером.

«На нитке, которую я держу в руках, висит гиря в 5 фунтов. Я держу руку неподвижно; для этого я должен делать усилие в 5 фунтов. Я быстро увеличиваю эту силу, т. е. дергаю нитку вверх. Этим самым я сообщаю ускорение вверх спокойно висевшей гире – я привожу

ее в движение из состояния покоя – я нарушил равенство действия и противодействия, вызвав движение – я увеличил действие но в процессе движения развивается противодействие, которое как раз уравнивает увеличение силы моей руки, вызвавшей это движение».

Подобные «разъяснения», смешивающие равенство сил с их равновесием (сила действия и сила противодействия никогда не уравнивают друг друга, потому что приложены к разным телам), только затемняют дело и упрочивают ходячие превратные представления о третьем законе Ньютона..

## 23. Приседание на весах

Ошибочно полагать, что платформа не сдвинется сов – сем, так как вес человеческого тела при приседании не меняется. Та сила, которая при приседании увлекает туловище вниз, тянет ноги вверх: давление их на платформу уменьшается – и она подается вверх.

## 24. На воздушном шаре

Шар в покое не останется. Пока человек взбирается по лестнице, аэростат будет опускаться. Здесь происходит то же, что наблюдается, когда вы ходите по приставшей к берегу легкой лодке, чтобы выбраться на сушу: лодка отступает под вашими ногами назад. Точно так же и лестница, отталкиваемая вниз ногами взбирающегося по ней человека, будет увлекать аэростат к земле.

Что касается величины перемещения шара, то оно во столько же раз меньше поднятия человека, во сколько раз масса шара больше массы человека.

## 25. Муха в банке

Муха в банке Предложенный вопрос поставлен был в немецком научном журнале «Umschau» и сделался предметом оживленного обсуждения, в котором участвовало пол – дюжины инженеров. Выдвигались самые разнообразные доводы, привлекались многочисленные формулы, но решения давались противоречивые: спор не привел к единообразному ответу.

Разобраться в задаче можно, однако, и не обращаясь к уравнениям. Покинув стенку банки и держась в воздухе *на неизменном* уровне, муха давит крылышками на воздух с силою, равную весу насекомого; давление это передается дну банки. Следовательно, весы должны оставаться в том же положении, в каком были, когда муха сидела на стенке.

Так будет до тех пор, пока муха держится на одном уровне. Если же, летая в банке, муха поднимается вверх или опускается вниз, то в момент изменения движения муха, двигаясь с *ускорением*, находится под действием силы. Когда муха начинает подниматься, приложенная к ней сила направлена вверх, сила же противодействия, приложенная к воздуху в банке, направлена вниз. Передаваясь банке, она увлекает чашку вниз. При полете мухи вниз чашка в силу подобной же причины должна облегчаться.

Итак, при полете мухи вверх чашка опустится, а полет вниз вызовет подъем чашки.

## 26. Маятник Максвелла

Расчет приводит к довольно парадоксальному результату, который, однако, подтверждается опытом. А именно: в то время, когда маховик идет вниз, нити не подвержены натяжению с силою полного его веса, и указатель безмена *поднимается*; он сохраняет

неизменным определенное приподнятое положение в течение всего времени, пока маховик опускается. Такое же положение сохраняет указатель и во время подъема маховика и да – же в момент достижения им высшей точки, где он на мгновение словно останавливается. Только в самой низ – кой точке пути маховик заставляет указатель рвануться вниз, чтобы в следующий момент вернуть его опять к прежнему повышенному положению.

«Этот опыт, – пишет проф. Р. Поль, – даже на искушенного в физике производит часто поразительное впечатление».

Подтвердим сказанное вычислением. Прежде всего покажем, что движение маховика вниз есть движение равноускоренное, с постоянным ускорением, меньшим, нежели ускорение свободного падения. Исходя из закона сохранения энергии, составляем уравнение:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{K\omega^2}{2},$$

где  $m$  – масса маховика;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – высота, с какой опустился маховик;  $mgh$  – потеря потенциальной энергии, превратившейся в кинетическую

энергию поступательного  $\frac{mv^2}{2}$  и вращательного  $\frac{K\omega^2}{2}$  движений;  $v$  – скорость поступательного движения;  $\omega$  – угловая скорость вращательного движения;  $K$  – момент инерции маховика. Так как энергия вращательного движения маховика составляет некоторую долю энергии его поступательного движения, то правую часть уравнения можем заменить некоторой величиной  $qmv^2$ , где  $q$  – отвлеченное число (больше единицы), зависящее только от момента инерции  $K$  маховика; следовательно,  $q$  во время движения маховика не меняется. Итак,

$$mgh = qmv^2,$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{gh}{q}} = \frac{1}{\sqrt{q}} \sqrt{gh}.$$

Сравнивая полученное выражение с формулой для свободного падения:

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{gh},$$

, видим, что скорость опускания маховика в каждой точке составляет всегда одинаковую долю скорости свободного падения:

$$\frac{v}{v_1} = \frac{1}{\sqrt{q}} : \sqrt{2}; \quad v = \frac{v_1}{\sqrt{2q}}.$$

С другой стороны, мы знаем, что скорость  $v_1$  свободного падения связана с его продолжительностью  $t$  следующей зависимостью:

$$v_1 t = gt.$$

Значит,

$$v = \frac{gt}{\sqrt{2q}} = \frac{g}{\sqrt{2q}}t = at.$$

Это показывает, что маховик опускается равноускоренным движением с ускорением  $a$ ,

равным  $\frac{g}{\sqrt{2q}}$ . Так как  $q > 1$ , то  $a < g$ .

Сходным образом можно доказать, что подъем маховика совершается равнозамедленным движением с тем же (по величине и направлению) ускорением  $a$ .

Установив величину ускорения, определим натяжение нитей маятника при нисходящем и восходящем движении маховика. Так как маховик увлекается вниз с силой, меньшей его веса, то очевидно, что его тянет вверх некоторая сила  $f$ , которая равна разности между весом  $mg$  маховика и силой  $ta$ , увлекающей его в движение:

$$f = mg - ta.$$

Это и есть натяжение нитей. Отсюда следует, что указатель безмена должен во все время падения маховика стоять *выше* деления, отвечающего весу маховика.

Для случая, когда маховик идет вверх, натяжение нитей выражается тем же уравнением, какое мы вывели для движения нисходящего:

$$f = mg - ta.$$

Значит, положение указателя безмена должно при подъеме маховика быть то же, что и при его опускании.

Уравнение  $f = mg - ta$  остается в силе и в момент достижения маховиком высшей точки пути: смена восходящего движения нисходящим не влияет на положение указателя.

Напротив, при достижении низшей точки пути маховик резким рывком нитей сдвигает на мгновение указатель вниз. Причина рывка та, что в этот момент маховик, размотав нити до конца, переходит с одной их стороны на другую. Маховик висит тогда на вытянутых нитях, пере – давая точкам их прикрепления не только свой полный вес, но и центробежный эффект движения оси маховика по дуге малого радиуса. Указатель безмена опускается ниже деления, отвечающего полному весу маховика.

## 27. Плотничий уровень в вагоне

Пузырек уровня при движении вагона отходит от се – редины то в одну, то в другую сторону, – но судить по этому признаку о наклоне пути нужно очень осмотрительно, так как движения пузырька не во всех случаях бывают обусловлены этой причиной. При отходе от станции, когда поезд разгоняется, и при торможении, когда движение замедляется, пузырек уровня отплывает в сторону даже и на строго горизонтальном участке. И только когда поезд движется равномерно, без ускорения, уровень показывает нормально подъемы и уклоны пути.

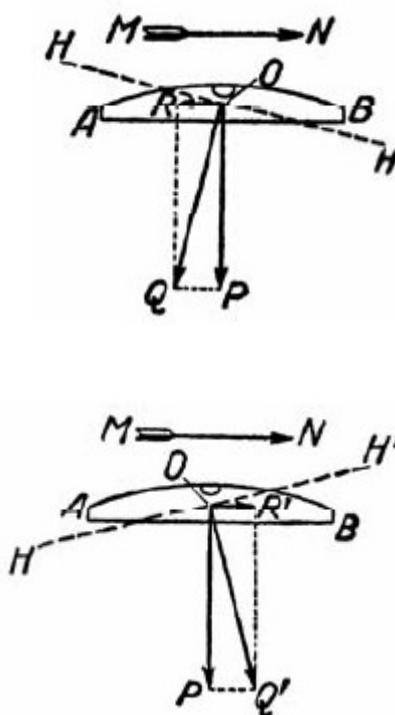


Рис. 65–66. Отклонение пузырька плотничьего уровня в движущемся вагоне

Чтобы понять это, обратимся к чертежам. Пусть (рис. 65)  $AB$  – уровень,  $P$  – его вес в неподвижном поезде. Поезд трогается на горизонтальном пути в направлении, указанном стрелкой  $MN$ , т. е. идет с ускорением. Опора под уровнем стремится выскользнуть вперед; следовательно, уровень стремится скользить по полу назад. Сила, увлекающая уровень назад в горизонтальном направлении, изображена на чертеже вектором  $OR$ . Равнодействующая  $Q$  сил  $P$  и  $R$  прижимает уровень к опорной плоскости, действуя на жидкость в нем как вес. Для уровня отвесная линия как бы направлена по  $OQ$ , и, следовательно, горизонтальная плоскость временно перемещается в  $HH'$ . Ясно, что пузырек отвеса отойдет к концу  $B$ , *приподнятому* по отношению к новой горизонтальной плоскости. Это должно происходить на строго горизонтальном пути. На уклоне уровень может ложно показывать горизонтальность пути или даже подъема, в зависимости от величины уклона и ускорения поезда.

Когда поезд начинает тормозить, расположение сил меняется. Теперь (рис. 66) опорная плоскость стремится отстать от уровня; на последний начинает действовать сила  $R'$ , увлекающая уровень вперед; при отсутствии трения она заставила бы уровень скользить к передней стенке вагона. Равнодействующая  $Q'$  сил  $R'$  и  $P$  направлена теперь вперед; временная горизонтальная плоскость перемещается в  $H'H'$ , и пузырек отходит к концу  $A$ , хотя бы поезд шел по горизонтальному пути.

Короче говоря, при наличии ускорения пузырек уровня отходит от среднего положения. Уровень показывает на горизонтальном пути подъем, когда поезд движется ускоренно, и уклон, когда поезд идет с замедлением. И только при отсутствии ускорения (положительного или отрицательного) уровень дает нормальные показания.

Нельзя также полагаться на уровень в движущемся поезде при суждении о *поперечном* наклоне пути: центробежный эффект, складываясь с силой тяжести, может на закруглениях пути обусловить обманчивые показания уровня. (Подробности об этом читатель найдет в моей «Занимательной механике», главе третьей).

## 28. Отклонение пламени свечи

1. Думающие, что пламя свечи, переносимой в за – крытом фонаре, вовсе не будет отклоняться при движении фонаря, – ошибаются. Причина отклонения вперед та, что пламя обладает меньшей плотностью, чем окружающий его воздух. Одна и та же сила телу с меньшей массой сообщает большую скорость, чем телу с большей массой. Поэтому пламя, двигаясь быстрее воздуха в фонаре, отклоняется вперед.

2. Та же причина – меньшая плотность пламени, нежели окружающего воздуха, – объясняет и неожиданное поведение пламени при круговом движении фонаря: оно отклоняется внутрь, а не наружу, как можно было, пожалуй, ожидать. Явление станет понятно, если вспомним, как располагаются ртуть и вода в шаре, вращаемом на центробежной машине: ртуть располагается дальше от оси вращения, чем вода; последняя словно всплывает в ртуть, если считать «низом» направление от оси вращения (т. е. направление, в котором «падают» тела под действием центробежного эффекта). Более легкое, чем окружающий воздух, пламя при круговом движении фонаря «всплывает» в воздухе «вверх», т. е. по направлению к оси вращения.

## 29. Согнутый стержень

Читатель, подозревающий в вопросе подвох и готовый ответить, что стержень после сгибания останется в равновесии, заблуждается. С первого взгляда может, пожалуй, показаться, что обе половины прута, как имеющие одинаковый вес, должны уравниваться. Но разве одинаковые грузы на рычаге всегда уравнивают друг друга? Для равновесия грузов на рычаге необходимо, чтобы отношение их величин было обратно отношению плеч. Пока стержень не был согнут, плечи рычага были равны, так как вес каждой половины приложен был в ее середине (рис. 67); тогда их равные веса уравнивались. Но после сгибания правой половины стержня правое плечо рычага стало вдвое короче левого. И именно потому, что веса половин стержня равны, они теперь не уравнивают друг друга: перетягивает левая часть, так как вес ее приложен в точке, удаленной от точки опоры вдвое более, чем в правой части (рис. 67, внизу). Итак, несогнутая часть стержня перетянет согнутую.

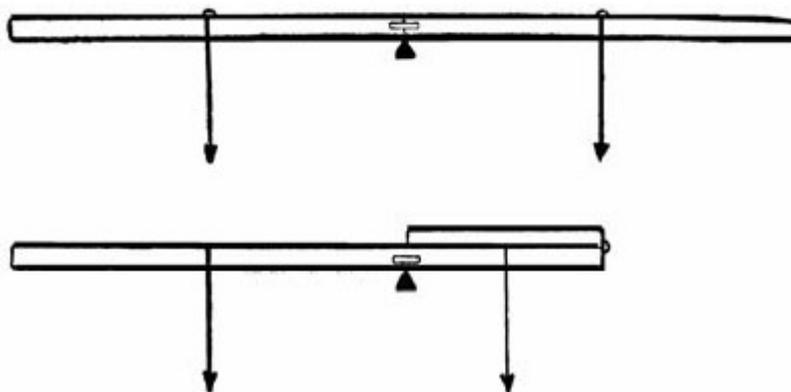
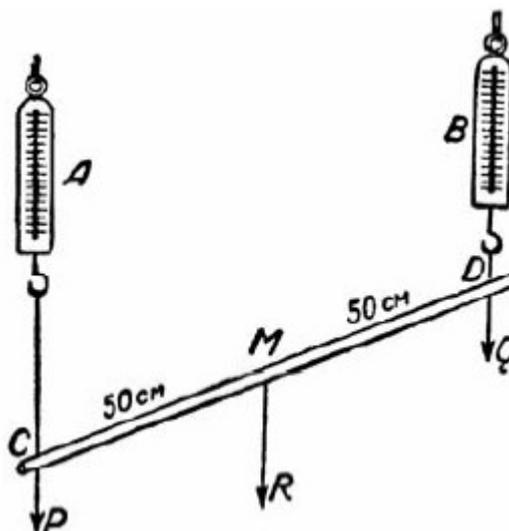


Рис. 67. Прямой стержень в равновесии, согнутый – нет

### 30. Два безмена

Оба безмена покажут одинаковую нагрузку. В этом легко убедиться, разложив (рис. 68) вес  $R$  гири на две силы  $P$  и  $Q$ , приложенные в точках  $C$  и  $D$ . Так как  $MC = MD$ , то  $P = Q$ . Наклонное положение стержня не нарушает равенства этих сил.



$$P = Q = \frac{1}{2} R$$

Рис. 68. Оба безмена растягиваются одинаково, так как

Сходным образом часто ошибочно судят о нагрузке, приходящейся на каждого из двоих несущих мебель по лестнице. Когда двое несут, например, шкаф вверх по лестнице, принято думать, что нагрузка заднего больше нагрузки переднего. При этом рассуждают так, словно шкаф, который держат в руках или на плечах, стремится вниз наклонно. На самом деле направление сил отвесное, и нагрузка на обоих одинакова.

### 31. Рычаг

Сила  $F$  (рис. 69) должна быть направлена под прямым углом к линии  $BC$ : тогда плечо этой силы будет наибольшим и, следовательно, для получения требуемого статического момента понадобится наименьшая сила.

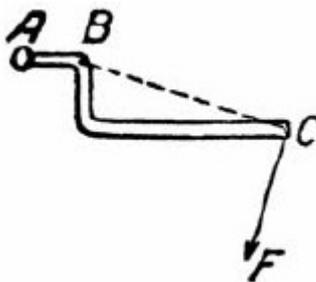


Рис. 69. Решение задачи о кривом рычаге

## 32. На платформе

Определить величину искомого усилия можно следующим рассуждением.

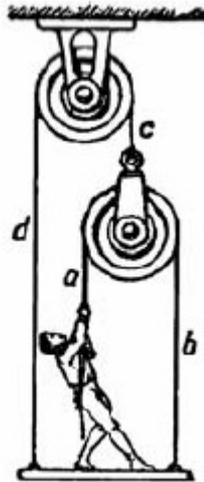


Рис. 70. К ответу на вопрос 32

На верхний блок действует натяжение двух веревок, общая величина которого равна весу человека плюс вес платформы, т. е. 90 кг. Натяжение каждой веревки  $c$  и  $d$  равно, следовательно, 45 кг. Сила в 45 кг, удерживая нижний блок, уравнивает натяжение двух веревок  $a$  и  $b$ ; натяжение каждой из них равно  $22\frac{1}{2}$  кг.

Итак, искомое натяжение веревки  $a = 22\frac{1}{2}$  кг. С такой силой человек должен тянуть веревку, чтобы удерживать платформу от падения.

## 33. Провисающая веревка

Как бы сильно веревка ни была натянута, она неизбежно провисает. Сила тяжести, вызывающая провисание, направлена отвесно, натяжение же веревки не имеет вертикального направления. Такие две силы ни при каких условиях не могут уравновеситься, т. е. их равнодействующая не может равняться нулю. Эта-то равнодействующая и вызывает провисание веревки.

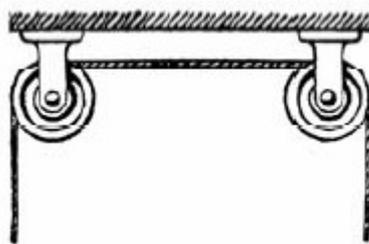


Рис. 71. Нельзя натянуть веревку так, чтобы она между блоками не провисала

Никаким усилием, как бы велико оно ни было, нельзя натянуть веревки строго прямолинейно (кроме случая, когда она направлена отвесно). Провисание неизбежно; можно

уменьшить его величину до желаемой степени, но нельзя свести его к нулю. Итак, всякая неотвесно натянутая веревка, всякий передаточный ремень должны провисать.

По той же причине невозможно, между прочим, натянуть и гамак так, чтобы веревки его были горизонтальны. Туго натянутая проволочная сетка кровати прогибается под грузом лежащего на ней человека. Гамак же, натяжение веревок которого гораздо слабее, при лежании на нем человека превращается в свешивающийся мешок.



Рис. 72. Гамак невозможно натянуть строго горизонтально

### 34. Увязший автомобиль

Силы одного человека часто оказывается достаточно, чтобы извлечь тяжелую машину тем примитивным способом, который описан в задаче. Веревка, при любой ее натянутости, должна уступить действию даже умеренной силы, приложенной под прямым углом к ее направлению. Причина  $S$  та же, которая заставляет провисать всякую натянутую веревку.

Возникающие при этом силы показаны на рис. 73. Сила  $CF$  тяги человека разлагается на две  $CSQ$  и  $CP$ , направленные вдоль веревки. Сила  $CQ$  тянет пень и, если он достаточно крепок, парализуется его сопротивлением. Сила же  $CP$  увлекает автомобиль, и так как она значительно больше, чем  $CF$ , то может извлечь машину из выбоины. Выигрыш силы тем больше, чем больше угол  $ACB$ , т. е. чем сильнее натянута веревка.

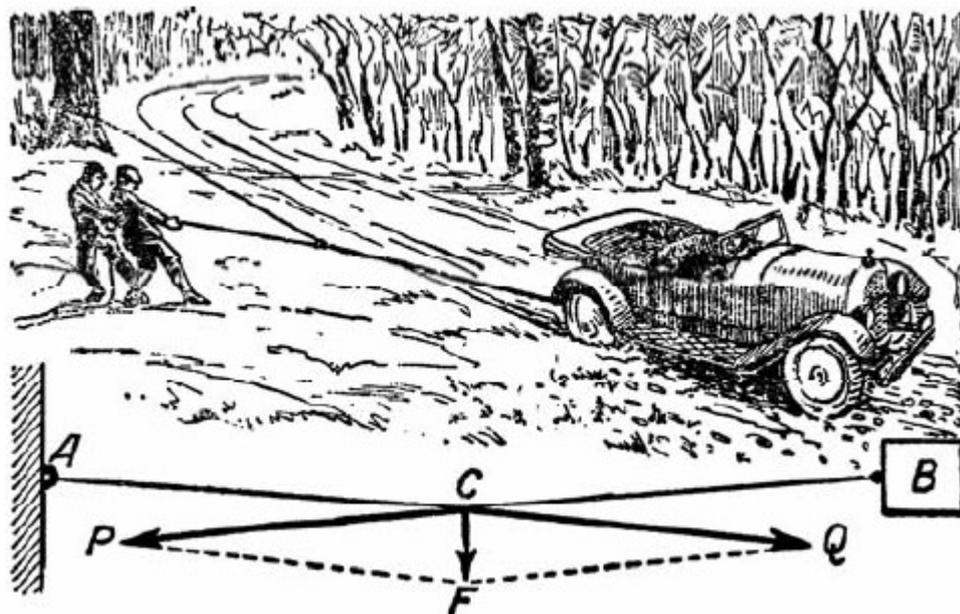


Рис. 73. Как вытащить автомобиль из выбоины

### 35. Трение и смазка

Смазка ослабляет трение средним числом раз в 10.

### 36. По воздуху и по льду

Можно думать, что так как сопротивление воздуха слабее, чем трение о лед, то тело, летящее через воздух, достигает дальше, чем скользящее по льду. Заключение это неправильно: оно не учитывает того, что сила тяжести пригибает вниз путь брошенного тела, которое вследствие этого и не может быть далеко закинуто. Сделаем расчет, причем ради упрощения выкладок будем считать сопротивление воздуха равным нулю. Оно, впрочем, и действительно крайне ничтожно для тех скоростей, какие можно сообщить телу рукой человека.

Для тел, брошенных в пустоте под углом к горизонту, наибольшая дальность достигается тогда, когда угол равен  $45^\circ$ . При этом, как выводится в курсах механики, дальность бросания определяется формулой:

$$L = \frac{v^2}{g},$$

где  $v$  – начальная скорость;  $g$  – ускорение тяжести. Если же тело скользит по поверхности другого тела (в данном случае лед по льду), то сообщенная ему кинетическая энергия

$$\frac{1}{2}mv^2$$

расходуется на преодоление работы силы трения  $f$ , равной  $kmg$ , где  $k$  – коэффициент трения, а  $mg$  (произведение массы тела на ускорение тяжести) – вес тела. Работа трения на пути  $L'$  равна

$$kmgL'.$$

Из уравнения

$$\frac{1}{2} mv^2 = kmg L'$$

находим величину  $L'$  пробега льдинки

$$L' = \frac{v^2}{2kg}$$

Принимая коэффициент трения льда о лед равным 0,02, имеем

$$L' = \frac{25v^2}{g}$$

$$\frac{v^2}{g}$$

Между тем дальность бросания равна всего  $\frac{v^2}{g}$ , в 25 раз меньше.

Итак, заставив льдинку скользить по льду, мы можем закинуть ее раз в 25 дальше, чем бросив в воздух.

Если принять во внимание, что брошенная льдинка может продолжать двигаться и после падения, то дальность скольжения будет превышать дальность бросания уже не столь значительно; но и в таком случае преимущество на стороне скользящей, а не брошенной льдинки.

### 37. Падение тела

Падение тела «Тик – так» карманных часов длится не одну секунду, как часто думают, а только 0,4 с. Поэтому путь, проходимый падающим телом в этот промежуток времени, равен

$$\frac{9,8 \cdot 0,4^2}{2} = 0,784 \text{ м,}$$

т. е. около 80 см.

### 38. Затяжной прыжок с парашютом

Противоречие объясняется тем, что падение с нераскрытым парашютом ошибочно принято было за свободное, не замедляемое сопротивлением воздуха. Между тем оно существенно отличается от падения в несопротивляющейся среде.

Попробуем установить, хотя бы приблизительно, подлинную картину падения при затяжном прыжке. Будем пользоваться для расчетов следующей найденной из опыта приближенной формулой для величины  $f$  сопротивления воздуха при рассматриваемых условиях:

$$f = 0,03 v^2 \text{ кг,}$$

где  $v$  – скорость падения в метрах в секунду. Сопротивление, как видим, пропорционально квадрату скорости; а так как парашютист падает с возрастающей скоростью, то

наступает момент, когда сила сопротивления делается равной весу тела. С этого момента скорость падения расти больше не будет; падение из ускоренного становится равномерным.

Для парашютиста это наступает тогда, когда его вес (вместе с парашютом) делается равным  $0,03v^2$ ; принимая вес снаряженного парашютиста в 90 кг, имеем уравнение

$$0,03v^2 = 90,$$

откуда  $v = 55$  м/с.

Итак, парашютист падает ускоренно лишь до тех пор, пока не накопит скорости 55 м/с. Это наибольшая скорость, с какою он опускается, в дальнейшем скорость уже не возрастает. Определим – опять приблизительно – сколько секунд употребил парашютист для достижения этой максимальной скорости. Примем во внимание, что в самом начале падения, пока скорость мала, сопротивление воздуха ничтожно, и тело падает как свободное, т. е. с ускорением 9,8 м/с. К концу же интервала ускоренного движения, когда устанавливается равномерное падение, ускорение равно нулю. Для нашего приближенного расчета можно допустить, что ускорение в среднем равнялось

$$\frac{9,8+0}{2} = 4,9 \text{ м/с}^2.$$

Если принять таким образом, что секундная скорость нарастала на 4,9 м в секунду, то она достигает величины 55 м по истечении

$$55: 4,9 = 11 \text{ с.}$$

Путь  $S$ , проходимый телом в 11 секунд такого ускоренного движения, равен

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{4,9 \cdot 11^2}{2} \approx 300 \text{ м.}$$

Теперь выясняется подлинная картина падения Евдокимова. Первые 11 с он падал с постепенно уменьшающимся ускорением, пока не накопил скорости 55 м/с, приблизительно на 300-м метре пути. Остальной путь затычного прыжка он проходил равномерным движением со скоростью 55 м/с. Равномерное движение, согласно нашему приближенному расчету, длилось

$$\frac{7900 - 300}{55} \approx 138 \text{ с,}$$

а весь затычной прыжок

$$11 + 138 = 149 \text{ с,}$$

что мало отличается от действительной продолжительности (142 с).

Сделанный нами элементарный расчет надо рассматривать лишь как первое приближение к действительности, так как он основан на ряде упрощающих допущений.

Приведем для сравнения данные, полученные путем опыта: при весе снаряженного парашютиста 82 кг максимальная скорость устанавливается на 12-й секунде, когда парашют опускается на 425–460 м (Забелин, М. Прыжок с парашютом. М., 1933).

### 39. Куда бросить бутылку?

Так как мы привыкли к тому, что прыгать из движущегося вагона безопаснее вперед по направлению движения, то может казаться, что бутылка ударится о землю слабее, если ее кинуть вперед. Это неверно: вещи надо бросать *назад*, против движения поезда. Тогда скорость, сообщенная бутылке бросанием, будет *отниматься* от той, какую бутылка имеет вследствие инерции: в итоге бутылка встретит землю с меньшей скоростью. При бросании вперед произошло бы обратное: скорости сложились бы, и удар получился бы сильнее.

То, что для человека безопаснее все же прыгать вперед, а не назад, объясняется совсем другими причинами: падая вперед, мы меньше расшибаемся, чем при падении назад<sup>10</sup>.

### 40. Из вагона

Тело, брошенное с некоторою начальною скоростью, – безразлично, в каком направлении, – подвержено той же силе тяжести, какая увлекает и тело, уроненное без начальной скорости. Ускорение падения для обоих тел одинаково, поэтому они достигнут земли одновременно. Значит, вещь, брошенная из движущегося вагона, достигает земли в такой же промежуток времени, как и брошенная из вагона неподвижного.

### 41. Три снаряда

Рисунок 14 ошибочен. Дальность полета снарядов, брошенных под углами в  $30^\circ$  и в  $60^\circ$ , должна быть одинакова (как и вообще для всяких углов, дополняющих друг друга до  $90^\circ$ ). На рис. 14 это не соблюдено.

Что касается снаряда, брошенного под углом в  $45^\circ$ , то на рис. 14 правильно показано, что дальность его наибольшая. Эта максимальная дальность должна вчетверо превышать подъем самой высокой точки траектории, – это на рис. 14 также соблюдено (приблизительно). Правильный чертеж приложен (рис. 74).

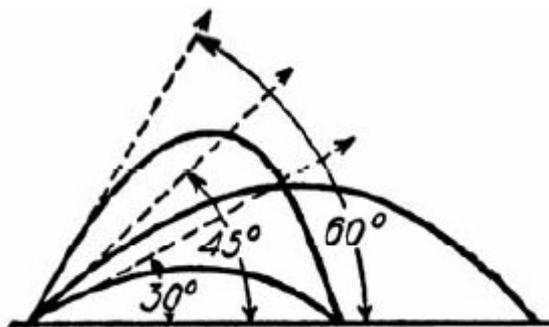


Рис. 74. К ответу на вопрос 41

### 42. Путь брошенного тела

В большинстве учебных книг утверждается без оговорок, что тело, брошенное в пустоте под углом к горизонту, движется по параболе. Весьма редко делается при этом замечание, что дуга параболы является только приближенным изображением истинной траекто-

<sup>10</sup> Всего безопаснее, впрочем, прыгать не вперед, а назад, но лицом вперед. Подробнее об этом см. «Занимательная физика»

рии тела; оно верно лишь при небольших начальных скоростях брошенного тела, т. е. пока тело не слишком удаляется от земной поверхности и, следовательно, пока можно пренебречь уменьшением силы тяжести. Если бы брошенное тело двигалось в пространстве, где сила тяжести постоянна, путь его был бы строго параболический. В реальных же условиях, когда сила притяжения убывает с расстоянием по закону обратных квадратов, брошенное тело должно подчиняться 1-му закону Кеплера и, следовательно, двигаться по *эллипсу*, фокус которого находится в центре Земли.

Поэтому, строго говоря, каждое тело, брошенное на земной поверхности под углом к горизонту, должно в пустоте двигаться не по дуге параболы, а по *дуге эллипса*. При современных артиллерийских скоростях различие между обеими траекториями весьма незначительно.

Но в будущем, когда технике придется иметь дело со скоростями крупных жидкостных ракет, летящих в несопротивляющейся среде, нельзя будет даже приближенно принимать путь ракеты выше пределов атмосферы за параболический.



Рис. 75. Тело, брошенное наклонно к горизонту, должно в пустоте двигаться по дуге эллипса, фокус которого  $F$  в центре планеты

### 43. Наибольшая скорость артиллерийского снаряда

Скорость артиллерийского снаряда должна возрастать все время, пока давление на него пороховых газов сзади превосходит сопротивление воздуха спереди. Давление же пороховых газов не прекращается в момент выхода снаряда из канала орудия: газы продолжают давить на снаряд и вне орудия с силою, которая в первые мгновения превосходит сопротивление воздуха; следовательно, скорость снаряда должна еще в течение некоторого времени расти. Только тогда, когда расширение газов в свободном пространстве уменьшит их давление до того, что оно станет слабее сопротивления воздуха, снаряд будет подвержен спереди большему напору, чем сзади, и скорость его станет уменьшаться.

Итак, максимальной своей скорости снаряд действительно должен достигать не внутри орудия, а вне его, на некотором расстоянии от жерла, т. е. спустя короткий промежуток после того, как он уже покинул ствол орудия.

### 44. Прыжки в воду

Опасность прыжка в воду с значительной высоты состоит, главным образом, в том, что накопленная при падении скорость сводится к нулю на слишком коротком пути. Если, например, пловец бросается с высоты 10 м и погружается в воду на глубину 1 м, то скорость,

накопленная на пути 10 м свободного падения, уничтожается на участке в 1 м. Отрицательное ускорение при погружении в воду должно быть в 10 раз больше ускорения свободно падающего тела. При погружении в воду пловец испытывает поэтому давление снизу, в данном случае вдесятеро превосходящее обычное давление, порождаемое весом. Иными словами, тело пловца становится словно в 10 раз тяжелее. С вместо 70 кг весит 700 кг. Такой непомерный груз, действуя даже короткое время (пока длится погружение), может вызвать в организме серьезные расстройства.

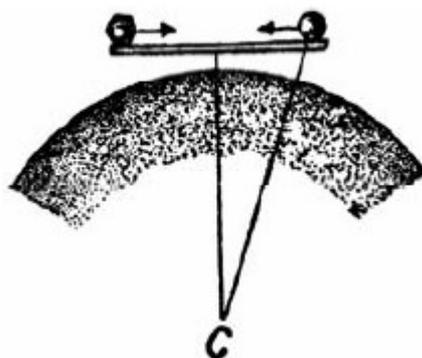
Отсюда следует, между прочим, что вредные последствия прыжка смягчаются при возможно более глубоком погружении в воду; накопленная при падении скорость поглощается тогда на более длинном пути, и ускорение (отрицательное) становится меньше.

## 45. На краю стола

Если плоскость стола перпендикулярна к отвесной линии, проходящей через ее середину, то края стола расположены, очевидно, дальше от центра Земли, т. е. выше, чем середина (практически на весьма незначительную величину). При полном отсутствии трения и при идеально плоской поверхности шар должен поэтому скатиться с края стола к его середине. Здесь, однако, он не может остановиться. С накопленная кинетическая энергия увлечет его далее до точки, находящейся на одном уровне с начальной, т. е. до противоположного края.



Рис. 76. При взгляде на этот рисунок, не у всех явится мысль, что шар должен скатиться к середине стола



77. Но из этого чертежа ясно, что шар не может оставаться в покое (при отсутствии трения)

Оттуда шар снова откатится в первоначальное положение и т. д. Короче говоря, при отсутствии трения о плоскость стола и сопротивления воздуха, шар, положенный на край идеально плоского стола, пришел бы в нескончаемое движение.

Один американец предлагал устроить на этом принципе *вечное движение*. Проект его, изображенный на рис. 78, по идее совершенно правилен и осуществил бы вечное движение, если бы возможно было избавиться от трения. Впрочем, то же самое можно осуществить и проще с помощью груза, качающегося на нити: при отсутствии трения в точке привеса (и сопротивления воздуха) такой груз должен качаться вечно<sup>11</sup>. Производить работу подобные приспособления, однако, не способны.

В заключение поучительно остановиться на возражении, сделанном одним из читателей, который утверждает, что в приведенном рассуждении смешиваются две точки зрения – геометрическая и физическая. Геометрически, – поясняет читатель, – мы считаем лучи Солнца сходящимися на его поверхности, физически же признаем их параллельными. Подобно этому, в нашей задаче две отвесные линии, проведенные на Земле в расстоянии 1 м, геометрически пересекаются в центре земного шара, но физически должны считаться параллельными. А потому сила, увлекающая шар с края стола к середине, физически равна нулю; никакого скатывания наблюдаться не может.

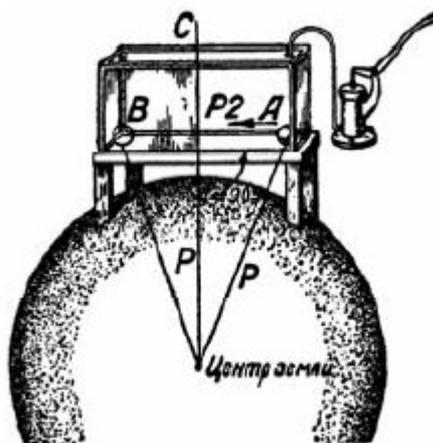


Рис. 78. Один из проектов «вечного движения»

Возражение ошибочно. Нетрудно убедиться расчетом, что отвесные линии, проведенные на Земле в расстоянии 1 м одна от другой, составляют между собою угол, который в 23 000 раз больше, чем угол между лучами Солнца, направленными к тем же точкам. Что касается величины силы, побуждающей шар скатываться с края стола, длиной в 1 м, то она составляет примерно одну 10–миллионную долю веса шара. В условиях нашей задачи, т. е. при полном отсутствии сопротивлений, всякая сколь угодно малая сила должна привести тело в движение, как бы велика ни была его масса. В данном случае, впрочем, сила не так уж мала: она одного порядка величины с тою силою, которая порождает океанские приливы; последняя сила даже и в реальных условиях (т. е. при наличии сопротивлений) ощутительно проявляет свое действие.

<sup>11</sup> В Парижской обсерватории был произведен (Борда) опыт с маятником, качающимся в безвоздушном пространстве при минимально уменьшенном трении в точке привеса: маятник качался 30 часов. Интересно, как затухают постепенно колебания 98-метрового маятника, подвешенного в здании Исаакиевского собора. Первоначально 12-метровые размахи спустя 3 часа уменьшаются в 10 раз. Через 6 часов от начала наблюдений размахи сокращаются до 6 см, через 9 часов – до 6 мм. Спустя 12 часов от начала наблюдений размахи делаются незаметными для невооруженного глаза.

## 46. На наклонной плоскости

Не следует думать, что в положении *A* брусок, оказывая на опорную плоскость большее удельное давление, испытывает и большее трение. Величина трения не зависит от размеров трущихся поверхностей. Поэтому если брусок скользил, преодолевая трение, в положении *B*, то он будет скользить и в положении *A*.

## 47. Два шара

1. При решении этой задачи нередко делают существенную ошибку: не принимают во внимание, что отвесно падающий шар движется только поступательно, между тем как шар, *скатывающийся* по плоскости, совершает, кроме поступательного движения, также и вращательное. Не свободны от этого недосмотра даже некоторые школьные учебники.

Какое влияние оказывает отмеченное обстоятельство на скорость скатывающегося тела, видно из следующего вычисления.

Потенциальная энергия шара, обусловленная его положением вверху наклонной плоскости, превращается при отвесном падении целиком в энергию поступательного движения, и из уравнения

$$ph = \frac{mv^2}{2}$$

или (после замены веса  $p$  шара произведением его массы  $m$  на ускорение  $g$  тяжести) из равенства

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

легко получается скорость  $v$  такого шара в конце пути

$$v = \sqrt{2gh},$$

где  $h$  – высота наклонной плоскости.

Иначе обстоит дело с шаром, скатывающимся по наклонной плоскости. В этом случае та же потенциальная энергия  $ph$  преобразуется в сумму двух кинетических энергий – в энергию поступательного движения со скоростью  $v_1$  и вращательного – с угловой скоростью  $\omega$ . Величина первой энергии равна

$$\frac{mv_1^2}{2}.$$

Вторая равна полупроизведению момента инерции  $K$  шара на квадрат его угловой скорости  $\omega$ :

$$\frac{K\omega^2}{2}.$$

Имеем, следовательно, уравнение:

$$ph = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{K\omega^2}{2}.$$

Из курса механики известно, что момент инерции  $K$  однородного шара массы  $m$  и радиуса  $r$  относительно оси, проходящей через центр, равен  $\frac{2}{5}mr^2$ . Далее, легко сообразить,

что угловая скорость  $\omega$  этого шара, катящегося с поступательной скоростью  $v_1$ , равна  $\frac{v_1}{r}$ . Поэтому энергия вращательного движения

$$\frac{K\omega^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}mr^2 \cdot \frac{v_1^2}{r^2} = \frac{mv_1^2}{5}.$$

Заменяя в нашем уравнении, кроме того, вес  $p$  шара равным ему выражением  $mg$ , получаем:

$$mgh = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_1^2}{5}$$

или, после упрощения,

$$gh = 0,7v_1^2.$$

Отсюда поступательная скорость

$$v_1 = \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{\frac{5}{7}} = 0,84 \cdot \sqrt{2gh}.$$

Сопоставляя эту скорость со скоростью в конце отвесного падения ( $v = \sqrt{2gh}$ ), видим, что они заметно различаются: скатившийся шар (любого радиуса и любой массы) в конце пути, да и в каждой его точке, движется вперед со скоростью на 16 % меньшею, чем шар, свободно упавший с той же высоты.

Сравнивая шар, скатывающийся по наклонной плоскости, с телом, скользящим по той же плоскости с равной высоты, легко установить, что скорость первого в *каждой точке пути* на 16 % меньше скорости второго.

Скользящий шар при отсутствии трения достигает конца наклонного пути *раньше* (на 16 %), нежели катящийся. То же верно и для тела, падающего отвесно: оно должно опередить скатывающийся шар на 16 %.

Кто знаком с историей физики, тому известно, что Галилей установил законы падения тел, производя опыты с шарами, которые он пускал по наклонному желобу (длина – 12 локтей, возвышение одного конца 1–2 локтя). После сказанного выше может возникнуть сомнение в правильности пути, избранного Галилеем. Сомнение, однако, отпадает, если вспомним, что скатывающийся шар в своем поступательном перемещении движется равноускоренно, так как в каждой точке наклонного желоба скорость его составляет одну и ту

же долю (0,84) скорости отвесно падающего шара на том же уровне. *Форма* зависимости между пройденным путем и временем остается та же, что и для тела, свободно падающего. Поэтому Галилей и мог правильно установить законы падения тел в результате своих опытов с наклонным желобом.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.