

Серия
«СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ»



Е.Б. Петрова

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебное
пособие



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Прометей

УДК 28.071

ББК 577.3

П 30

Петрова Е.Б.

П 30 **Физические основы биологических процессов:** Учебное пособие / Е.Б. Петрова. — М.: Прометей, 2021. — 234 с.

ISBN 978-5-00172-165-9

В учебном пособии рассмотрены проблемы взаимодействия человека и животных с окружающей средой. В основном сделан акцент на реакции при воздействии внешних факторов на человека, но в некоторых случаях проводится рассмотрение и других живых организмов, поскольку они подчас демонстрируют удивительные сверхспособности. Особенно интересно проявление сверхспособностей в предельных случаях, то есть при воздействии каждого из факторов минимальной и максимальной интенсивностей.

Пособие адресовано студентам и преподавателям. Может быть использовано для самообразования учителей физики и естественнонаучных предметов, студентами.

ISBN 978-5-00172-165-9

© Петрова Е.Б., 2021

© Издательство «Прометей»,
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
ГЛАВА 1. Жизнь в гравитационном поле	9
§ 1.1. Свойства гравитационного поля	9
§ 1.2. Значение гравитационного поля в жизни животных и растений	11
§ 1.3. Каким образом организм «оценивает» направление и наличие гравитационных сил	21
§ 1.4. Жизнь в морских глубинах и на горных высотах	26
§ 1.5. Гравитационная биология и космос	29
Вопросы для размышления	40
Вопросы для самоконтроля	40
Примерные темы рефератов	40
ГЛАВА 2. Тепловое воздействие на живые организмы ...	41
§ 2.1. Температура человека, ее изменение и измерение	41
§ 2.2. Процессы терморегуляции	49
§ 2.3. Адаптация человека к температурным условиям	57
§ 2.4. Разнообразии температурных режимов на Земле	62
§ 2.5. Жизнь при низких температурах	66
§ 2.6. Особенности приспособительных механизмов пойкилотермных животных	73
§ 2.7. Особенности жизни в пустыне	77
§ 2.8. Кто может выжить при космических температурах?	84
Вопросы для размышления	89
Вопросы для самоконтроля	90
Примерные темы рефератов	91

ГЛАВА 3. Электромагнитные поля в жизни человека	92
§ 3.1. Понятие электромагнитного поля	93
§ 3.2. История развития электромагнитной биологии ..	97
§ 3.3. Шкала электромагнитных волн. Действие электромагнитных волн различных диапазонов на живые организмы	102
§ 3.4. Физические поля человека и животных	129
§ 3.5. Агрессивные излучения космоса	132
Вопросы для размышления	141
Вопросы для самоконтроля	142
Примерные темы рефератов	142
ГЛАВА 4. Периодические процессы в природе	144
§ 4.1. Ритм жизни	145
§ 4.2. Экспериментальное определение внутреннего циркадного ритма	155
§ 4.3. Гелиобиология вчера и сегодня	158
§ 4.4. Ритм жизни на борту МКС	160
Вопросы для размышления	165
Вопросы для самоконтроля	165
Примерные темы рефератов	165
ГЛАВА 5. Информационные каналы биологических объектов	166
§ 5.1. Человек — информационная система	167
§ 5.2. Зрение человека и животных	173
§ 5.3. Слуховая система	203
§ 5.4. Какую информацию о Земле можно получить из космоса?	213
Вопросы для размышления	218
Вопросы для самоконтроля	218
Примерные темы рефератов	218
Заключение	219
Литература	220
Приложение 1	231
Приложение 2	233

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Повзрослев, мы обнаруживаем, что у нас есть сердце, печень, суставы, почки, что все это может биться, гнуться, ломаться и всячески портиться. Мы начинаем вслушиваться в глубину своего тела, более далекого, чем космос... И понимаем, что мы есть не что иное, как хитроумнейшее соединение трубопроводов, насосов, клапанов, фильтров, и что тот, кто создал нас, был вынужден заниматься сопротивлением материалов, теорией трения, деталями машин, гидродинамикой, механикой, акустикой, волноводами, оптикой... Мы не знаем, как там с духом, но тело нам дано один раз»

Юрий Визбор

Многие десятилетия бытовало мнение, что человек является «царем природы». Однако эта уверенность нанесла огромный ущерб и природе, и самому человеку. В последнее время взгляд на место человека в природе меняется, и он вновь стал относиться к природе с позиции сотрудничества, что, несомненно, более продуктивно.

Итак, человек является частью природы, которая по отношению к нему является окружающей средой. Осознанию и определению места человека в окружающей среде посвящены работы многих ученых, однако наиболее значимыми из них являются труды двух великих русских ученых В.И. Вернадского и А.Л. Чижевского.

Что же связывает нас с окружающей средой? В качестве этих связей выступают внешние факторы, действию которых подвержено все живое.

Физики, биологи, химики всегда много внимания уделяли изучению роли различных факторов, влияющих на жизнедеятельность различных организмов. Для удобства рассмотрения все они были разделены на две группы: биотические и абиотические. Большая советская энциклопедия дает следующее толкование этим терминам. Биотические факторы — это факторы живой среды, влияющие на жизнедеятельность организмов. Действие биотических факторов выражается в форме взаимовлияний одних организмов на жизнедеятельность других организмов и всех вместе на среду обитания. Что касается абиотических факторов, то к ним относят неорганические факторы среды обитания. К абиотическим факторам относятся химические (химический состав воздуха, содержание в нем O_2 и CO_2 , вредных примесей и т.п.) и физические или климатические.

Среди абиотических факторов наиболее значительными для человека являются температура, освещенность, влажность, парциальное давление кислорода и др. Многолетние наблюдения позволили ученым накопить огромное количество фактов, подтверждающих теснейшую зависимость организмов, живущих на Земле, от особенностей внешней среды. На основе анализа данных наблюдений был сформулирован известный ныне принцип о единстве организма и среды, являющийся не только главным условием успешного изучения биологии современных животных, но и их благополучного существования.

«Организм без внешней среды, поддерживающей его существование, невозможен, поэтому в научное определение организма должна входить и среда, влияющая на него. Так как без последней существование организма невозможно, то споры о том, что в жизни важнее среда или самое тело, — не имеют ни малейшего смысла» — это цитата из статьи И.М. Сеченова [цит. по 56].

Обычно под внешней (окружающей) средой в биологии понимают совокупность метеорологических

и геофизических факторов, которые воздействуют на организм и вызывают те или иные ответные реакции. Есть несколько точек зрения на сосуществование организма и окружающей среды. Согласно одной из них, в процессе эволюции организм пытается ослабить связи с окружающей средой и существовать независимо. Однако, по мнению И.П. Павлова, это освобождение возможно только в случае полного слияния организма с окружающей средой, а вовсе не за счет их противопоставления друг другу. Для этого должен произойти процесс полной адаптации организма к внешним воздействиям. Говоря об организме и окружающей среде, мы мысленно как бы разделяем эти понятия, но на самом деле указать точно, где заканчивается одно и начинается другое практически невозможно. Этой границы не существует.

Взаимосвязь организма с окружающей средой осуществляется посредством существующих информационных каналов, в случае живых организмов ими являются сенсорные системы. Посредством этих каналов организм получает информацию о силе внешнего воздействия, оценивает его и адекватно реагирует. Каждый живой организм имеет определенный набор сенсорных систем, который необходим ему для того, чтобы выполнить основные жизненно важные функции (питание, защита от врагов и размножение).

Именно рассмотрению реакции организма на воздействия различной силы будет уделено основное внимание в данном пособии. Более того, мы будем здесь использовать принцип, который часто используют математики: будем рассматривать предельные случаи. Ну, например, действие силы гравитации может сильно варьироваться в зависимости от рассматриваемой ситуации. Так вот нас будет интересовать случай, когда эти силы практически отсутствуют (микрогравитация, невесомость) или будут велики (гипергравитация).

Кроме того, под окружающей средой мы будем подразумевать не только Землю, но и Космос. «...жизнь не отделима от Космоса, жизнь есть не планетное, а космическое явление. Несомненно, что энергия, придающая биосфере ее обычный облик, имеет космическое происхождение. Она исходит из Солнца в форме лучистой энергии. Но именно живые организмы...жизни превращают космическую лучистую энергию в земную, химическую, и создают бесконечное разнообразие нашего мира» [56, с. 17].

В последние более чем полвека эта связь усилилась, так как человек покинул Землю и вышел в открытый Космос. Пребывание в нем стало довольно обыденной вещью.

Для удобства восприятия материала будем придерживаться определенной схемы рассмотрения каждого из внешних факторов: характеристика фактора — место наблюдения фактора — сенсорная система, отвечающая за определение его наличия и передачу информации о данном факторе, и ее особенности.

В основном нами будет делаться акцент на реакции на внешние факторы человека, но в некоторых случаях будет проводиться рассмотрение и других живых организмов, поскольку они иногда демонстрируют удивительные сверхспособности.

Помимо основного текста пособие снабжено вопросами для размышления, вопросами для самоконтроля и примерными темами для рефератов.

Автор желает всем читателям успехов в освоении материала и будет благодарен за указание на неточности и опечатки. Замечания и пожелания можно направлять по адресу eb.petrova@mpgu.su.

ГЛАВА 1. ЖИЗНЬ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

«Силы гравитации — фактор огромной мощности, который определяет специфические особенности нашей планеты. Живые организмы, населяющие Землю, не представляют исключения. Они так же, как и тела неживой природы, подвержены воздействию сил гравитации. Мы это воздействие ощущаем на себе буквально на каждом шагу»

П.А. Коржув

Итак, начнем рассмотрение наиболее значимых для человека внешних факторов. Среди них гравитация выделяется, так как силы, ее вызывающие, универсальны и проявляются везде, где имеются тела, обладающие массой. Силы гравитации резко выделяются в ряду других сил природы, так как их нельзя генерировать или воздействовать на них.

§ 1.1. Свойства гравитационного поля

Между телами, обладающими массами, всегда существуют гравитационные силы. Эти силы могут быть невелики и поэтому не очень заметны. Но если речь идет о взаимодействии тел с существенно различающимися массами, то это взаимодействие тут же может быть зарегистрировано. Так, рассматривая любое тело вблизи поверхности Земли, мы понимаем, что любое тело будет устремляться к ее поверхности. Это происходит благодаря гравитационным силам. Гравитационные силы

универсальны, поскольку они действуют как на тела микроскопических, так и галактических размеров.

Эта сила может быть рассчитана по известной формуле

$$F_G = G \frac{Mm}{r^2}. \quad (1)$$

Ускорение, с которым тело массой m будет двигаться к поверхности Земли, можно рассчитать, воспользовавшись вторым законом Ньютона. Сила, которая будет действовать в этом случае на тело и есть F_G . Тогда $mg = G \frac{Mm}{r^2}$. Разделив левую и правую часть уравнения на m получим значение ускорения, которое принято называть ускорением свободного падения $g = G \frac{M}{r^2}$.

В реальной жизни, как правило, существует несколько полей тяготения одновременно, а на тело действует результирующая сила. Рассмотрим пример, приведенный в книге пионера космонавтики А.А. Штернфельда [113]. На графике (рис. 1.1) приведены зависимости от расстояния силы тяготения Земли и Луны (над осью абсцисс), а под осью абсцисс дается сумма этих сил. На графике нетрудно найти точку, в которой силы тяготения Земли и Луны будут равны друг другу по величине, но направленные в противоположные стороны.

Задание 1.1. Рассчитайте ускорения свободного падения на поверхности Земли и Луны.

	Радиус средний, км	Радиус отн. Земли	Масса, кг	Масса отн. Земли	Объем, км ³	Объем отн. Земли
Земля	6371	1,0	$5,9736 \cdot 10^{24}$	1,0	$10,83207 \cdot 10^{11}$	1,0
Луна	1737,1	0,273	$7,3477 \cdot 10^{22}$	0,0123	$2,1958 \cdot 10^{10}$	0,020

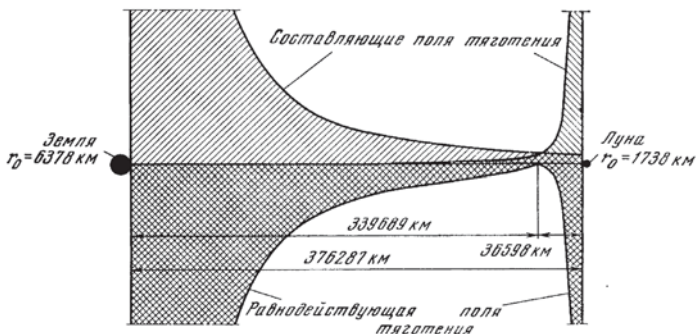


Рис. 1.1. Зависимость гравитации от расстояния от Земли и от Луны
 Воспроизводится по: [113, с. 20].

Задание 1.2. Сравните ускорение свободного падения тела на полюсе и экваторе (тело находится на поверхности Земли).

Задание 1.3. Установите зависимость изменения ускорения свободного падения при удалении тела от поверхности Земли.

§ 1.2. Значение гравитационного поля в жизни животных и растений

Силы гравитации сопровождают нас в течение всей нашей жизни. Им подвластно движение галактик и планет и нет никаких причин, чтобы живые организмы, живущие на Земле, оказались вне зоны их действия. Силы гравитации определили форму Земли, наличие вокруг нее воздушного и водного океанов.

Силы гравитации являются тем мощнейшим фактором внешней среды, который определяет форму, размеры, а также внутреннее строение организма животных и растений, особенности различных физиологических процессов. «Но существует разница в характере воздействия сил гравитации на неживые тела и живые организмы,

специфической особенностью которых является способность к передвижению. Двигаться в гравитационном поле — значит преодолевать его, затрачивать энергию, иметь соответствующие структуры для генерации энергии и передвижения в гравитационном поле» [56, с. 8].

Поэтому значение, которое оказало постоянное поле гравитации на организм в ходе эволюции, огромно. Для того, чтобы оценить его в полной мере необходимо проследить за изменениями, вызванными переходом живых существ из места их зарождения — мирового океана — на сушу.

Населявшие океан первые позвоночные не нуждались в опорной системе, то есть находились в состоянии, называемом псевдоневесомостью (из-за наличия выталкивающей архимедовой силы, гравитационное воздействие на них было существенно меньшим).

С выходом животных на сушу возникла проблема, обусловленная действием сил гравитации. Теперь нужно было не только сохранять определенное положение тела в пространстве, но и передвигаться, добывать пропитание. В результате у животных сформировалась не только костно-мышечная система с развитыми конечностями, но и система способная обеспечить организм питательными веществами и кислородом — сердечно-сосудистая система. А когда предки человека встали на ноги, потребовалась и перестройка механизмов нервной системы, управляющих движением конечностей. Кроме того, необходимо было каким-то образом ориентироваться в пространстве, то есть должен был сформироваться механизм, регистрирующий гравитационное поле. Все эти вопросы мы и рассмотрим ниже.

Первым, кто осознал и сформулировал проблему зависимости живых организмов от гравитационного поля, был К.Э. Циолковский. Еще в 1882 г. в статье «Биология карликов и великанов» он писал, что в случае изменения

значения силы тяжести все животные и растения изменили бы свои размеры.

«Снова возникает вопрос: почему в процессе эволюции человек не превратился в лилипута, если так велики выгоды малых размеров?

Во-первых, абсолютная сила органов у больших существ все-таки больше, и в борьбе их с малыми последним приходится плохо. Во-вторых, умственные способности у больших существ все же преобладают. Это прибавляет победные шансы в борьбе.

Будь иная сила тяжести на нашей планете — и размер наиболее совершенных людей, как, впрочем, и всех других существ, изменился бы. Например, при уменьшении тяжести в 6 раз (как на Луне), рост человека мог бы увеличиться в 6 раз, масса в 216 раз, сила мускулов в 36 раз; соответственно увеличился бы и мозг. Такой человек, благодаря силе своих мышц (и обширному уму), оказался бы победителем, несмотря на то, что в борьбе с мертвой природой маленькие люди имели бы больше физических преимуществ. Этот великан в 10 м высоты оказался бы (при соблюдении внутреннего и внешнего подобия) неповоротливым существом, хотя и свободно двигающимся и прыгающим, как человек на Земле, только в шесть раз медленнее, по отношению к его размеру. Но абсолютное могущество мускулов и умственной силы покорили бы ему все живое меньших размеров.

Напротив, если бы сила тяжести возросла в 2,5 раза, как на Юпитере, то порода людская должна бы уменьшиться в 2,5 раза. Иначе собственный вес людей на Юпитере отнял бы у них работоспособность и даже возможность передвижения своими мускульными силами. Человек был бы ростом в 72 см, имел бы мозг в 16 раз меньше объемом и весом и был бы, вероятно, очень ограниченным в умственном отношении существом. Все другие животные также должны уменьшиться, и потому человек, может

быть, по-прежнему остался бы господином маленькой живой природы.

Но высший прогресс, связанный с машинами, изобретениями, наукой, был бы, вероятно, очень слаб. Нельзя было бы ожидать того развития техники, которое теперь наблюдается на Земле и которое, как мы надеемся, возрастет со временем до невообразимой величины. На Марсе, Меркурии и других маленьких планетах и спутниках можно бы ожидать большого роста сухопутных животных и сильнейшего развития мозга, если бы не препятствовали другие неблагоприятные условия: высокая или низкая температура, неподходящая для жизни атмосфера, скудность воды и других элементов, полезных для развития жизни, и т.д.»

Давайте подумаем, откуда взялись эти цифры?

Очевидно, нужно сравнить характеристики каждой из планет (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Сравнительная таблица основных параметров планет (все параметры ниже, кроме плотности, указаны в отношении к аналогичным данным Земли)

Планета	Диаметр, относительно Земли	Масса, относительно Земли	Плотность, кг/м³
Меркурий	0,382	0,06	5427
Венера	0,949	0,82	5243
Земля	1,0	1,0	5515
Марс	0,53	0,11	3933
Юпитер	11,2	318	1326
Сатурн	9,41	95	687
Уран	3,98	14,6	1270
Нептун	3,81	17,2	1638

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что некоторые планеты по сравнению с Землей имеют меньшие радиусы, а некоторые большие, это же можно сказать и об их массах.

Задание 1.4. Попробуйте самостоятельно рассчитать ускорение свободного падения для некоторых из планет. Почему, исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что «рост человека мог бы увеличиться в 6 раз, масса в 216 раз, сила мускулов в 36 раз»?

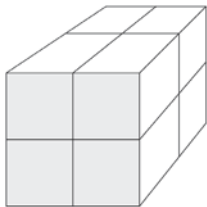
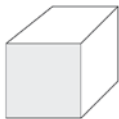
Пояснение. Для такой оценки чаще всего пользуются методом подобия.

Рассмотрим его подробнее. Для этого возьмем два куба разных размеров, с длиной грани соответственно ℓ_1 и ℓ_2 . Эти размеры связаны посредством некоего коэффициента, называемого коэффициентом подобия k : $\ell_1 = k \ell_2$.

Площади кубов соответственно связаны как $\ell_1^2 = k \ell_2^2$, а объемы — $\ell_1^3 = k^3 \ell_2^3$. Основы геометрических представлений об изометрии можно записать следующим образом: площадь — $S \sim \ell^2$; объем — $V \sim \ell^3$. Свяжем площадь с объемом $S \sim V^{2/3}$ и применим эти соображения к анализу живых организмов.

Воспользуемся простыми соображениями пропорциональности и установим некоторые интересные закономерности. Примем, что рост человека h , тогда $V \sim h^3$. Если учесть, что плотность тела у всех животных примерно одинакова, то эту пропорцию можно перенести и на массу $m \sim V \sim h^3$. Сила мускулов F пропорциональная площади тела $S \sim h^2$.

Задание 1.5. Сравните размеры двух кубиков со сторонами ℓ и 2ℓ .



Найдите для этих кубиков отношение V/S .

Задание 1.6. «Историческая» задача [30].

«Кто не знает, — писал Г. Галилей (1564–1642), — что лошадь, упав с высоты трех-четырёх локтей, ломает себе ноги, тогда как собака при этом не страдает, а кошка остается невредимой, будучи брошена с восьми-десяти локтей, точно так же, как сверчок, упавший с верхушки башни, или муравей, упавший на землю хотя бы из лунной сферы».

Почему насекомые, падая на землю с большой высоты, остаются невредимыми, а крупные животные гибнут?

Позже учеными изучалась эта проблема, и было отмечено, что перенесение животного в другие условия могут привести к катастрофическим последствиям, так как животные адаптированы к конкретным силовым воздействиям. Даже изменение направления силы относительно тела животного при неизменном весе может привести к гибели животного.

Поясним это на примере, описанном в статье Х. Лиллиуайта [62].

Рассмотрим три вида змей, живущих в различных условиях: на деревьях, земле и в воде. Что является главным отличием первых двух? Древесные змеи приспособлены для жизни в вертикальном положении, а змеи, живущие на земле, — в горизонтальном. Третий вид змей может находиться как в том, так и в другом положении, но поскольку они живут в воде, они испытывают действие силы Архимеда и гидростатического давления.

Теперь, когда мы знаем об условиях жизни этих змей, обратим внимание на особенности их строения, которые определенно должны иметься.

Условия обитания организма обуславливают и особенности в строении различных его систем. Рассмотрим это на примере системы кровообращения.

Для того чтобы понять, почему сердечно-сосудистая система так чувствительна к действию силы тяжести, построим упрощенную модель явления. Представим, что кровеносные сосуды — это цилиндрические трубки. Если взять такую трубку (лучше резиновую) наполнить водой, закрыть ее нижний конец и поместить в вертикальное положение, то наибольшее гидростатическое давление будет оказываться на нижнюю часть трубки, за счет него она деформируется. Это давление существует в любом непрерывном столбе жидкости, независимо от того, движется жидкость или нет; оно возрастает с глубиной.

Вернемся к примеру со змеями.

На рисунке (слева) представлено строение древесной змеи. Особенностью строения ее кровеносной системы является малый диаметр сосудов, положение сердца (расположено ближе к голове), которое определяет работу, затрачиваемую на снабжение кровью верхней части тела. Скопления же крови в нижней части не происходит, так как тело тонкое и кожа плотно прилегает и не дает возможности сосудам сильно деформироваться (рис. 1.2).

У змеи, живущей на земле, сердце расположено дальше от головы, кровеносные сосуды достаточно широкие. Такая змея, как правило, не может находиться в вертикальном положении, так как, с одной стороны, это приведет к недостаточному кровоснабжению мозга, а, с другой — сосуды в хвостовой части могут не выдержать слишком большого гидростатического давления.

У морской змеи сердце расположено приблизительно в центральной части тела, кровеносные сосуды имеют

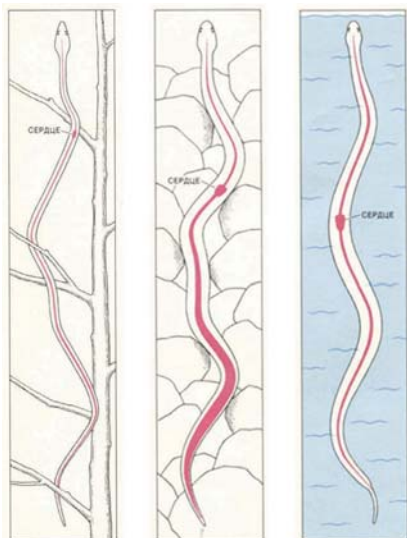


Рис. 1.2. Сравнение сосудистой системы змей, обитающих в разных условиях: слева — на деревьях, в середине — на земле, справа — в воде. Воспроизводится по: [62].

малую упругость, так как нагрузок они почти не испытывают. Давление столба крови здесь компенсируется давлением внешнего столба жидкости.

Американскими учеными был проведен эксперимент по определению изменения объема хвоста змеи в зависимости от угла ее положения относительно горизонтально. На хвост была надета небольшая герметичная трубка. Остальное тело змеи заключалось в более крупную пластиковую трубу, соединенную с устройством, позволяющим изменять ее положение в пространстве. Маленькая трубка была соединена с прибором, измеряющим изменения объема воздуха и, как следствия, его давления. В результате накопления крови объем хвоста змеи увеличивался, и возрастало давление в трубке, изменение объема регистрировалось в процентах. На графике зависимости, представленном на рисунке это хорошо заметно, при изменении положения тела на 60 градусов объем хвоста изменился почти на 10 процентов (рис. 1.3).

Попробуем ответить на следующий вопрос. Почему, если змею, живущую на земле, некоторое время держать в вертикальном положении (головой вверх), то она погибает? В процессе эволюции эти змеи всегда находились в горизонтальном положении. Поэтому у них не выработались приспособления, препятствующие постепенному оттоку крови в сосуды нижней части тела при длительном поддержании вертикального положения. Если такое положение сохранять насильственно, то приток крови к сердцу резко уменьшается и, в конце концов, наступает смерть.

Действие гравитационных сил вызывает серьезные нежелательные явления и у других животных, не имеющих физиологических механизмов адаптации к нему. Повышенное давление в сосудах в нижних отделах туловища приводит к скоплению в них крови; при этом стенки сосудов растягиваются.

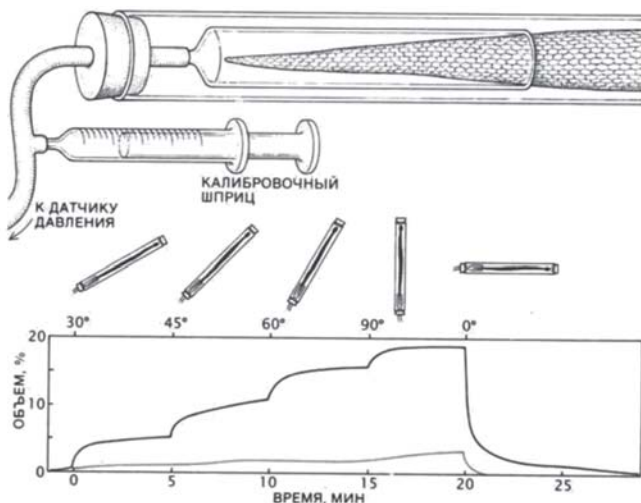


Рис. 1.3. Схема и результат эксперимента по вертикализации змей
 Воспроизводится по: [62].

Существенно раньше об этом же писал В.Я. Бровар: «Если представить животное перемещенным на другую планету с резко измененными условиями тяготения, то весьма вероятно, что оно не сможет жить в них, именно потому, что животные адаптированы к силам тяжести только данной планеты. Но и в пределах Земли изменение веса животного, например, при переходе из водной среды в наземную, влечет существенные, вплоть до катастрофических, изменения в ряде функций животного. Даже перемена только направления сил тяжести относительно тела животного при неизменной величине силы веса, и та может оказаться роковой для животного, если оно не приспособлено к подобным изменениям» [29, с. 239].

Опыт со змеями полностью подтверждает это высказывание ученого.

Способность воспринимать земное притяжение и реагировать на него присуща всем растениям и называется геотропизмом. Геотропизм представляет собой ответную реакцию на поле силы тяжести. В отличие от освещения, которое легко варьировать, а поэтому относительно просто исследовать последствия его влияния, сила тяжести на поверхности Земли повсюду проявляется непрерывно и почти одинаково. Поэтому исследования воздействий этого фактора более трудны. Их можно обнаружить при использовании двух специфических методов: во-первых, с помощью влияния центробежной силы и, во-вторых, применением клиноставов.

В 1806 г. английский ботаник и растениевод Томас Найт (1759–1838) продемонстрировал влияние силы тяжести на растение. Он закрепил семена фасоли по периферии вертикально расположенного вращающегося мельничного колеса, приводившегося в движение водой. При этом под действием центробежной силы корни росли наружу, а побеги — внутрь (см. рис. 1.4). Укажем

на рисунке, действующие на растение силы: центробежную ($F_{ц}$), земного притяжения ($F_{тяж}$) и равнодействующую силу (F_p).

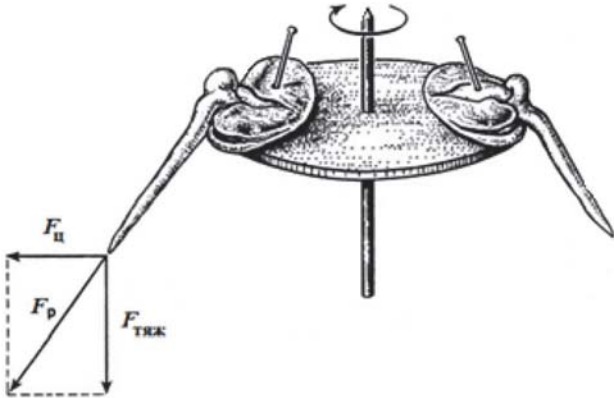


Рис. 1.4. Иллюстрация опыта Найта
Источник: <http://www.fizika.ru/fakultat/>

В 1837 г. французский ученый-биолог Дютроше (1776–1847) писал: «Глубокая тайна заключена в том, что стебли растут вверх, а корни – в противоположном направлении».

§ 1.3. Каким образом организм «оценивает» направление и наличие гравитационных сил

Рассмотрение начнем с человека: если мы так чувствительны к гравитационному полю, что является в нашем организме прибором, регистрирующим его?

Одной из основных частей этой системы служит вестибулярный анализатор. Это сложная система, состоящая из периферического воспринимающего аппарата, проводящих нервов и центральной части с ядрами в стволовом отделе мозга и участком клеток в коре полушарий. Воспринимающий аппарат состоит из трех полукружных каналов и отолитового прибора, размещающихся

в височной кости. Три полукружных канала располагаются в трех взаимно перпендикулярных плоскостях и заполнены жидкостью — эндолимфой. У начала каждого каналца имеются чувствительные окончания вестибулярного нерва.

В 1878 г. известный петербургский физиолог И.Ф. Цяон впервые объяснил значение полукружных каналов в формировании человеческих представлений о пространстве. Он считал, что они являются периферическими органами, дающие нам представление о трех измерениях пространства. Происходит это из-за раздражения нервных окончаний в специальных ампулах.

Механизм этих раздражений связан с законом инерции. Когда голова неподвижна или вместе с телом перемещается прямолинейно и равномерно, эндолимфа остается относительно нее неподвижной. Но если голову повернуть или наклонить, то жидкость в соответствующих каналцах начинает давить в сторону (в силу ее инерционности), противоположную повороту или наклону. Это вызывает раздражение окончаний вестибулярного нерва, и определенная информация о движении поступает в виде нервных импульсов в мозг.

Отолитовый прибор — это, фактически, рецептор гравитационной силы, предназначенный для регистрации изменения силы тяжести и передачи информацию об этом в мозг. Принцип его действия следующий: дно небольшого мешочка покрыто нервными чувствительными клетками, снабженными ресничками, выполняющими роль механорецепторов. На них расположена студенистая жидкость, покрытая кристалликами солей кальция — отолиты. Под действием силы тяжести эти кристаллы оказывают давление на механорецепторы, преобразующие этот механический сигнал в электрический (нервные импульсы). Поток, возникших нервных импульсов, информирует мозг о величине оказываемого давления.