

МЕХАНИКА В БИОЛОГИИ *

ПОДОБИЕ ОРГАНИЗМОВ И УКЛОНЕНИЕ ОТ НЕГО **

1. Определение подобия

Слово «подобие» организмов означает их геометрическое подобие. Представим, например, себе ряд человечков разных размеров, но геометрически подобных между собою. Они похожи друг на друга, как две капли воды, как портреты с одного и того же лица, как художественно сделанные статуэтки, больших и малых размеров, скопированные с одной личности. Смотри на одну из них, на любую, мы узнаем и называем самую личность. Так могут быть подобны львы, обезьяны, рыбы, птицы, улитки, инфузории, бактерии и т. д.

Подобие может быть одно наружное и наружное вместе с внутренним. Не могут быть подобны молекулы и атомы, так как размеры их постоянны и не увеличиваются с увеличением организма. Не могут быть подобны и клеточки, так как размер их также не зависит от размеров существа.

Внутренние органы только отчасти могут быть подобны. Это можно допустить только теоретически, до известных размеров. Еще менее возможно подобие между микроскопическими частями тела, состоящими из клеток.

Одна и та же особь при своем росте не остается подобной самой себе. Так дитя не подобно самому себе через несколько лет жизни. Подобие относится к одной и той же позе существ. Так, если я буду принимать разные позы, то геометрического подобия между ними не будет.

У подобных существ мы замечаем соответственные или одноименные точки. Таковы, например, кончики носов, концы мизинцев правых рук, оптические центры левых глаз. Вот нестрогое определение одноименных

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 301). Рукопись датирована 3 января — 12 марта 1920 г. (Ред.)

** Работа эта начата автором еще в 1882 году. Тогда же известный профессор Сеченов отзывался о ней так: «Труд Циолковского, несомненно, доказывает его талантливость. Автор солидарен с французскими биологами-механистами. Жаль, что он не закончен и не готов к печати...»

Только теперь, через 38 лет, ему суждено появиться в свет. Он даже не переделан, а вновь написан, но дух его остался неизменным. Начатое сочинение еще хранится, если не считать потерю немногих листков (К. Э. Ц.)

точек. Одноименные точки в каждом из подобных организмов соединяются одноименными или соответственными прямыми линиями. Одноименные линии у подобных, или одноименных тел пропорциональны. Это значит, что размеры всех органов одного тела в одинаковое число раз больше одноименных размеров органов другого подобного ему тела. Если, например, рост в 10 раз больше, то и рука, и нога, и одноименные пальцы одного существа в 10 раз больше по длине, чем у другого. Основываясь на пропорциональности одноименных линий у подобных тел, геометрия доказывает, что одноименные углы равны (например, углы носов), что одноименные площади, сечения и поверхности подобны, что также подобны и все одноименные органы и соответствующие их части. Также у подобных тел длина соответствующих линий, расстояний, периметров и обводов пропорциональна размеру подобно изменяющегося тела, площади, сечения и поверхности пропорциональны квадрату этих размеров, а одноименные объемы пропорциональны кубу линейных размеров. Так, если высота животного в 10 раз больше высоты ему подобного, то линейный размер всех соответствующих органов первого также будет в 10 раз больше, чем у второго; поверхности же этих органов будут в 100 (10^2) раз больше, а объемы — в 1000 (10^3) раз. Плотности одноименных материальных точек и их свойства считаются у подобных тел неизменными, или одинаковыми.

«Подобных» организмов вообще не существует. Мы только их воображаем подобными и сейчас же математически приходим к выводу, что они и не возможны. Необходимы и целесообразны отклонения от подобия, которые мы и находим в природе, предугадывая их и объясняя их причину.

2. Формулы периметра, площади, поверхности, объема, массы и веса

Представим себе ряд подобных существ разных размеров. Пусть подобны все их органы, за исключением клеток и микроскопических частей. Можно также вообразить, что одно и то же существо изменяется в размерах, увеличиваясь или уменьшаясь, но оставаясь всегда подобным самому себе. Это существо может быть обитателем воздуха, земли, воды или пустоты.

На основании подобия организмов длина какого-либо периметра или кривой линии в организме будет $L = lH$, где l — есть длина линии при росте H в единицу. Площадь одноименного сечения любого органа (F_0) выразится $F_0 = F_{01}H^2$, где F_{01} — есть площадь сечения органа при единице роста организма (высота или длина), а H — самый рост или другой линейный размер. Эта формула, например, относится к сечению костей (F_k), хитина (F_x), сухожилий (F_c), мускулов (F_m), крыла, кишек, мозга, печени, легких и т. д. Также поверхность всякого органа S_0 равна $S_0 = S_{01}H^2$, где S_{01} — есть поверхность органа у существа при линейном росте его в единицу. Объем всякого органа V_0 будет $V_0 = V_{01}H^3$. Масса органа

$$m_0 = m_1H^3 = S_{01}\rho H^3,$$

где ρ — средняя плотность органа, а m_1 — масса органа при росте H в единицу. Вес органа (G) будет $G = gm_0 = gm_1 H^3 = gS_{01}\rho H^3$, где g — сила тяжести планеты, которой подвержено животное или растение. Конечно, эти формулы относятся и к сумме одноименных органов, и к целому организму.

3. Сопротивление дроблению и разрыву.

Напряжение мускула и сила двигательного органа

Сопротивление дроблению ($R_{сж}$) сечения костей, хитина, хрящей или других опорных органов выразится

$$R_{сж} = \sigma_{сж} F_0 = \sigma_{сж} F_{01} H^2,$$

где $\sigma_{сж}$ — коэффициент дробления, или то усилие, которое нужно употребить, чтобы раздробить кость или другой орган при поперечном сечении его в единицу площади. Если орган должен быть прочнее в K раз, то формулу напомним так:

$$R_{сж} = \sigma_{сж} F_{01} H^2 : K.$$

Здесь K — прочность, выражаемая числом, бóльшим единицы. Также сопротивление разрыву (R_p) органа, например сухожилий, мускулов, костей, кожи и тому подобного выразим

$$R_p = \sigma_z F_{01} H^2 : K.$$

Напряжение мускула при его сокращении будет

$$R_m = \sigma_m F_{01} H^2,$$

где σ_m — напряжение мускула при площади его сечения в единицу.

Напряжение или сила двигательного органа, например руки, ноги или другого члена, почти всегда меньше напряжения мускулов, приводящих его в движение, потому что орган, выигрывая в пространстве и скорости движения, столько же проигрывает в силе. Эту потерю выразим отвлеченным числом $1/\eta$, которое большею частью превышает единицу. Тогда предыдущая формула преобразится так:

$$P = \sigma_m F_{01} H^2 \eta,$$

где P — есть сила члена, например крыла, руки, хвоста и т. п.

4. Мощность и энергия

Энергия, мощность существа, или количество выделяемой им механической работы в единицу времени (например, в секунду) зависит, между прочим, не только от совершенства мускула или другого двигательного механизма, но и от количества поглощенного кислорода, переваренной пищи, воспринятой солнечной энергии (для существ с хлорофиллом), от количества и скорости негодных выделений и т. д.

Рассмотрим дыхательный орган: кожу, легкие, жабры, трахеи, дыхательные мешки, устья листьев и т. д.

Количество поглощенного в единицу времени кислорода пропорционально, между прочим, соприкасающейся с кислородом поверхности. Если орган дыхания, увеличиваясь и уменьшаясь остается подобным самому себе во всех своих мельчайших частях, то эта поверхность, как и все поверхности подобных тел, будет пропорциональна квадрату размеров тела (H^2).

Также количество выделяемой углекислоты и других газов и паров. Но дело в том, что размер элементарных органов дыхания и органов выделения имеет ограниченные размеры. Чем они меньше, тем успешнее действуют. Докажем это. Пусть у нас элементарный орган дыхания имеет вид шарообразной альвеолы. Ее поверхность равна $S_a = 4\pi r_a^2$, где π — отношение окружности к диаметру, а r_a — радиус альвеолы. Ее объем $V_a = (4/3)\pi r_a^3$. Объем легких $V_{\text{л}} = V_{\text{л1}} H^3$. Число альвеол в легких будет

$$n = \frac{V_{\text{л}}}{V_a} = \frac{V_{\text{л1}} H^3}{(4/3)\pi r_a^3}.$$

Поверхность всех альвеол равна

$$S_{\text{ва}} = nS_a = \frac{S_a H^3}{(1/3)r_a}.$$

Из последней формулы видно, что при одном и том же росте существа (H) и неизменных относительных размеров легкого ($V_{\text{л1}}$) действующая их поверхность обратно пропорциональна r_a , т. е. тем больше, чем линейный размер (r_a) альвеолы меньше. Из той же формулы ясно, что при постоянном размере альвеолы их полная поверхность или поверхность дыхательного органа пропорциональна кубу размеров (H^3) организма.

Когда организм растет, но не совершенствуется, то органы его дыхания, может быть, остаются подобными, т. е. линейные размеры альвеол также растут. Тогда дыхательная поверхность будет возрастать в квадрате, т. е. невыгодно для существа. Если же они совершенствуются, то размер альвеол будет неизменным и поверхность легких будет возрастать пропорционально кубу роста животного. Что же принять? Совершенствование могло идти и не идти или быть постепенным. Кроме того, легкие, состоящие из множества мелких альвеол, требовали тем больше трубок бронх и были тем сложнее своими придаточными частями, чем размер животного был больше. Это показывает, что поверхность легких могла только в идеале быть пропорциональной кубу размеров тела. Итак, мы примем,

что она равна $S_{\text{ва}} = \frac{V_{\text{л1}}}{(1/3)r_a} H^k$, где показатель k заключается между

3 и 2 и скорее близок к трем, а при особом преобразовании дыхательного органа может быть даже больше трех (3). Так, у птиц во время их полета и сокращения грудных мускулов благодаря воздушным мешкам образуется особый периодический поток воздуха, который сильно способствует поглощению кислорода и выделению из легких и тела негодных газов. В таких исключительных случаях k может быть даже гораздо больше 3.

Также у некоторых насекомых (пчелы, жуки) есть нечто подобное дыханию птиц. Но дыхательный процесс зависит также от кровообращения, т. е. деятельности сердца, величины и количества сосудов (трубок) и их клапанов. Те же рассуждения приведут нас к тому же выводу, т. е. что вообще количество поглощений и выделений будет, приблизительно, пропорционально кубу линейных размеров существа (с нарушением подобия в мелких гистологических частях животного). Подразумеваю определенный минимальный и постоянный размер кровяных шариков, волосных сосудов и тому подобного. Но при особом усовершенствовании органов кровообращения показатель k опять-таки может сделать скачок и стать больше трех (3). Например, появление сердца, т. е. более или менее совершенного насоса у существа, подвигает его вперед в этом отношении. Также — клапаны разного рода и движение крови в одном направлении.

Перейдем теперь к количеству поглощенных и переваренных источников энергии животного, оставив растение пока в стороне. Это количество имеет предел в органах пищеварения, дыхания и т. д. Если у существа избыток пищи, то он все равно не усваивается и выбрасывается бесполезно, если не считать ограниченного накопления запасных материалов и половых выделений. Наоборот, при недостатке питания животное ест некоторое время самого себя, выделяя даже усиленную энергию, которая не отягчается работою переваривания в такой степени, как при обременении пищеварительных органов.

Положим опять, что размер элементарных органов пищеварения, разных ворсинок и железок постоянен так же, как и число их на квадратном сантиметре. Допустим также, что органы пищеварения подобны, т. е. что поверхность кишек, желудка и т. п. пропорциональна квадрату линейных размеров существа. Тогда и пищеварительная сила также будет пропорциональна тому же. Но это не выгодно организму, который увеличивается в своих размерах. Поэтому сложность органов пищеварения увеличивается. Появляется больше частей и другие усовершенствования. Допустим, например, неизменную толщину кишек и для больших и для малых размеров животного. Тогда их длина и поверхность будет пропорциональна объему существа, или кубу его размеров (H^3). В таком случае увеличение размера наружно подобных существ усложняет организацию пищеварительных органов, а уменьшение — упрощает, сводя сложную пищеварительную трубку высших животных на короткий мешочек. На деле этого не бывает, так как тогда сложность органов пищеварения у больших существ будет чересчур велика: сложность у них увеличивается, но гораздо умереннее. Итак, мы опять приходим к выводу, что пищеварительная сила, как и выделяемость негодных веществ и поглощаемость кислорода, пропорциональна H^k , где k более 2 и менее 3. Только при особом улучшении органов ассимиляции k может сделать скачок и превысить 3. Таковы: мускульный желудок птиц, перистальтическое червеобразное движение кишек, пищеварительные железы и другие усовершенствования высших животных. Имеет огромное значение и самый материал питания, травы, мясо и т. п.

Мы видим, что все, от чего зависит выделяемая в единицу времени энергия или работа животного, его мощность,— пропорционально одной и той же степени роста H^k . Эта мощность выражается работой мускулов и равна $N_0 = N_1 H^k$, где N_1 — работа или мощность организма при его росте в единицу.

Энергиею организма мы назовем его работу в секунду, приходящуюся на единицу его массы.

По предыдущим формулам можем вычислить мощность и энергию разных существ, принимая в основание, что нормальный человек при росте в два метра (для простоты принимаем круглое число) весит 80 кг и выделяет в секунду при работе 10 кгм.

Вот таблица.

Рост, м	1/100	1/25	1/16	1/9	1/4	0,5	1	2	3	4
Мощность, кгм . .						0,317	1,78	10	28,2	56,3
Энергия, кгм . .	1,78	0,89	0,71	0,53	0,36	0,25	0,178	0,13	0,1	0,089

Чем меньше рост, тем меньше и абсолютная мощность; но величина ее, приходящаяся на единицу массы существа, или энергия, напротив, увеличивается с уменьшением существ. Она равна $W = N : m_0 = (N_1/V_{01\rho})H^{k-3}$. Так как k вообще меньше трех, то $H^{k-3} = 1 : H^{3-k}$. Следовательно, истинная энергия уменьшается с увеличением роста и увеличивается только при усовершенствовании органов движения, дыхания, пищеварения, выделения и т. д. Все же k близко к 3 и потому истинная энергия организма почти постоянна.

5. Уклонение от внутреннего подобия при изменении размеров

Мы видели, что при соблюдении подобия внутренних органов мощность пропорциональна квадрату размеров, а энергия (мощность единицы массы) уменьшается с увеличением размеров (H) существа, и обратно.

Возьмем в пример простейшее животное, одноклеточное, не имеющее обособленных или специальных органов дыхания, кровообращения и т. д. Пусть оно увеличивается в своих размерах, оставаясь себе подобным и простейшим.

Его энергия будет уменьшаться с увеличением его размеров, ибо относительная поверхность дыхания, питания и т. д. будет непрерывно сокращаться, возрастая не в кубе, как масса тела, а в квадрате. Выиграет ли существо при этом от увеличения его размеров? Раз энергия уменьшается, то и выигрыш очень сомнителен. Но пусть то же существо уменьшается в своих размерах. Тогда произойдет обратное, т. е. энергия будет возрастать с уменьшением размеров. Тут преимущество очевидно. Поэтому-то простейшие имеют такие ничтожные, большую частью микроскопические,

размеры: они им выгодны, так как энергию увеличивают до возможной минимальной величины тела. Она определяется простотою устройства; чем она больше, тем размеры могут быть меньше. Сложность строения требует значительного количества сложных веществ, совокупность которых не может быть меньше определенной величины. Поэтому, чем больше сложность, тем больше минимальные размеры существа.

Но вот не инфузория какая-нибудь, а более сложное многоклеточное существо, обладающее некоторыми органами. Если эти органы остаются подобными при изменении размеров животного, т. е. не упрощаются и не усложняются, то вывод окажется тот же, как и для простейшего, т. е. обнаруживается выгода возможно малых размеров. Но так как существо сложнее, то и эти наиболее выгодные размеры будут больше, чем у инфузории.

Когда существо, оставаясь наружно подобным самому себе, увеличивается в размере, то это оказывается только тогда сносным, когда органы усложняются и совершенствуются. Только тогда их энергия не падает в такой быстрой степени, как при соблюдении подобия. Энергия тогда может даже оставаться постоянной, т. е. пропорциональной массе и даже более. В этом случае, если не выгодно, то возможно увеличение размеров. Наоборот, при уменьшении их, без нарушения подобия, энергия будет расти, что дает возможность таким регрессирующим в размерах животным упростить конструкцию их тела, без ослабления энергии.

Мы видим подтверждение всему этому в биологии: чем крупнее существо, тем строение его сложнее, и наоборот. Кроме того, уменьшение размеров, их микроскопичность не совместима со сложностью, так что упрощение произойдет поневоле. Напротив, большие размеры допускают и большую сложность, хотя последняя и необязательна.

6. Работа мускула при одном сокращении.

Число этих сокращений, или частота их

Работа мускула, при каждом его сокращении, равна (см. 3): $A_{M1} = R_M \Delta l_M$, где Δl_M — есть величина линейного сокращения мускула. Обыкновенно, она составляет около $1/3$ всей длины мускула и, следовательно, равна $\Delta l_M = 1/3 l_{M1} H$, где l_{M1} — есть длина мускула при росте животного в единицу. Итак, $A_{M1} = R_M \Delta l_M = \sigma_M F_{O1} 1/3 l_{M1} H^3$. Но $l_{M1}/3$ можем заменить Δl_M , т. е. величиною сокращения мускула при росте в единицу. Тогда $A_{M1} = \sigma_M F_{O1} \Delta l_M H^3$. Напомним, что σ_M — есть напряжение мускула при площади его поперечного сечения в единицу, а F_{O1} — площадь сечения мускула при росте существа в единицу.

Если число сокращений мускула в секунду обозначим через n , то работа мускула будет: $A_{Mn} = \sigma_M F_{O1} \Delta l_M H^3 n$. Но эта работа по предыдущему пропорциональна (в единицу времени) H^k ; так что будет равна $k_{p1} H^k$, где k_{p1} — есть работа мускула в секунду при росте H в единицу. Следовательно, $\sigma_M F_{O1} \Delta l_M H^3 n = k_{p1} H^k$. Отсюда получим

$$n = \frac{k_{p1}}{\sigma_M F_{O1} \Delta l_M} H^{k-3}.$$

Так как k близко к 3, то число сокращений в секунду для всех подобных организмов (с означенными ограничениями в подобии) будет одинаково. Но так как вообще k меньше 3 и может даже дойти до 2, то в последнем случае число сокращений в единицу времени будет обратно пропорционально размерам организма, т. е. чем меньше организм, тем мускульные вибрации будут чаще. Вообще, частота эта обратно пропорциональна H^{3-k} .

Так, при $k = 2,5$, эта частота обратно пропорциональна \sqrt{H} . Если, например, существо в 1 м ростом делает в секунду одно сокращение каким-либо мускулом, то подобное ему, но ростом в 1 см, делает в ту же секунду 10 ($\sqrt{100} = 10$) сокращений. Конечно, предполагается подобие мускулов.

Из того обстоятельства, что частота сокращений двигательных членов, например ног, крыльев и т. д., у разных размеров в животном мире тем больше, чем организм меньше, — уже отсюда видно, что энергия существ не постоянна, но уменьшается с увеличением размеров, что мы и вывели теоретически ранее. Не забудем, что когда энергия и другие величины, от которых она зависит, пропорциональна H^2 , то все органы существ подобны, например пищеварительные, дыхательные и т. д. Т. е. если они сложны у больших животных, то также будут сложны и у малых, — если примитивны у этих, то также просты и у громадных.

В биологии этого нет, не может быть и нет в том надобности.

7. Стояние, наибольший рост и наибольший груз

Кости, хитин, ствол или другие опорные части существа, при стоянии его, выдерживают тяжесть тела, при падении — удар о почву, при носке грузов — их тяжесть, при борьбе или работе — сопротивление материалов, подлежащих разрушению или обработке. Напряжение мускулов, при работе их, которое гораздо больше силы членов, тоже посягает на целостность костей и других опорных частей.

Рассмотрим стояние, наибольший рост и наибольший груз, зависящие от крепости опорных частей существа. Приравняем сопротивление дроблению костей тяжести тела. Получим уравнение:

$$\sigma_{\text{сж}} F_{01} H^2 : K = g V_{01} \rho H^3,$$

из которого найдем: $\sigma_{\text{сж}} F_{01} : k = g V_{01} \rho H$. Отсюда видно, что рост H пропорционален: коэффициенту дробления $\sigma_{\text{сж}}$, или крепости опорного материала сравнительной площади, поперечному сечению кости F_{01} при росте в единицу (это есть, собственно, относительная толщина кости). Значит, чем она сравнительно тоньше, тем рост меньше; при относительной ее тонкости сопротивление дроблению или, скорее, изгибу падает непропорционально, поэтому природа делает кости трубчатыми или заменяет их внешним твердым покровом, т. е. скорлупой, раковинной и т. д., также делает кости сложного строения, как башня Эйфеля. Впрочем и к этому прибегать природе почти не приходится, так как относительный вес опорных

частей и при всей простоте их строения будет ничтожно мал в сравнении с весом тела. Поэтому у самых малых позвоночных кости должны быть сплошны или с малой пустотой (вообще — самого элементарного строения). Далее, рост обратно пропорционален желаемой прочности K , т. е. чем кости или другой опорный материал мы желаем сделать надежнее, тем рост организма должен быть меньше; рост обратен относительному объему тела V_{01} , т. е. чем сравнительно тоньше, «эфирнее» существо, чем меньше на нем жира, мускулов и других органов, кроме костей, тем рост может быть в высоту больше. Рост обратен средней плотности тела ρ — смысл тот же. Рост обратен силе тяжести: так, на Луне организм при том же устройстве будет в 6 раз выше, на астероидах — в сто, тысячу раз выше, на Солнце — в 27 раз ниже, на Юпитере — в $2\frac{1}{2}$ раза меньше, чем на Земле; где нет тяжести, там он беспределен, если принимать во внимание одну борьбу с тяжестью.

Из той же формулы можем сделать еще другие выводы. Так, видно, что при одном и том же росте H сила тяжести g может быть пропорциональна прочности опорного материала $\sigma_{сж}$ и сравнительной площади сечения F_{01} опорного органа.

Крепость костей или хитина может быть выражена грузом, который может вынести существо. Мы определим кажущуюся или эффективную прочность опорного материала, сравнив его сопротивление с весом организма. Получим относительное сопротивление костей (σ_k). Оно будет равно сопротивлению дробления опорных костей, деленному на вес организма (см. 2 и 3): $\sigma_k = R_{сж} : G = \sigma_{сж} F_{01} H^2 : g V_{01} \rho H^3 = \sigma_{сж} F_{01} : g V_{01} \rho H$.

Формула выражает число поднятых животных такого же веса, как и данное, считая и его. Это число пропорционально крепости материала $\sigma_{сж}$ и относительной площади его сечения F_{01} . Оно, напротив, обратно пропорционально силе тяжести g и росту H существа. Последнее означает, что чем меньше его рост, тем больше может быть нагружено существо себе подобными и равными; если, например, организм в 2 м высоты поднимет себе равное (с собой — два существа), то подобный организм, в один миллиметр ростом, подымет равных ему по весу целых 4 тысячи, считая и самый организм, подымающий на своих плечах такой чудовищный груз. Напротив, существо в 4 м высоты подымет только единицу, т. е. самого себя — на плечах у него ничего не должно быть, иначе оно развалится.

Влияние же тяжести состоит в том, что чем она меньше, тем поднятый груз будет сравнительно больше. Если, например, организм в 1 м ростом на Земле поднимает только самого себя, то на какой-нибудь планете Атланта, где тяжесть в тысячу раз меньше, он будет держать на спине 999 существ, равных себе по весу. Напротив, где тяжесть, положим, в 2 раза больше, там он не вынесет тяжести собственного тела и упадет на четвереньки.

Можем указать на подтверждение наших выводов природою. Так, наибольшей высоты достигают водные существа (водоросли до 600 м высоты), где тяжесть ослабляется обратным действием воды. Возьмем еще для примера животных, хотя немного сходных по виду, например. птиц (ворона,

галка, воробей и т. п.). Мы увидим, что по мере уменьшения их роста одноименные кости становятся все более и более воздушными, т. е. вес их по отношению к весу тела становится все меньше и меньше, так же как и площадь поперечного сечения кости по отношению к длине ее. То же справедливо и для существ самых разнообразных. Но выразимся по обстоятельнее.

Прибавим тут две таблицы. Одна показывает сравнительную грузоподъемность подобных существ в зависимости от их роста, другая — нормальный рост в зависимости от силы тяжести планеты.

Относительная грузоподъемность подобных существ,
в зависимости от их роста

Размер, в см	1	10	50	100	200	300	400	600	800
Число несомых и равных существ	799	79	15	7	3	$1\frac{2}{3}$	1	$\frac{1}{3}$	0
	599	59	11	5	2	1	0,5	0	
	399	39	7	3	1	$\frac{1}{3}$	0		
	299	29	5	2	$\frac{1}{2}$	0			

Тут человек подымает от 3-х до $\frac{1}{2}$ себе равных. Это — нормальный субъект, принимаемый в 2 м ростом. Если человек нормальный подымал $\frac{1}{2}$ своего веса, то при 3 м высоты мы уже ничего не можем поднять. Если подымал троих, то при 8 м роста тоже ничего не подымет.

Нормальный рост в зависимости от силы тяжести планеты

Тяжесть		0,001	0,01	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4	5	10	100	1000
Рост	м	2000	200	20	10	4	2	1	0,67	0,5	0,4	0,2		
	см						200	100	67	50	40	20	2	0,2
Масса существа	кг	10^{11}	10^8	10^5	12500	800	100	12,5	3,7	1,6	0,8	0,1		
	г										800	100	0,1	0,0001
Масса мозга	кг	10^9	10^6	1000	125	8	1	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{125}$			
	г							125	37	16	8	1	0,001	1:10

Во сколько раз уменьшается тяжесть, во столько раз увеличивается рост, а масса мозга и тела возрастает при этом в кубе. Чем больше тяжесть, тем меньше рост, а масса тела и мозга при этом уменьшается в кубе.

8. Уклонение от подобия в толщине опорных органов

Вообразим, что рост в высоту подобно изменяющегося организма увеличивается. Его масса и давление на сопротивляющиеся части увеличиваются в кубе, между тем как это сопротивление увеличивается только в

квадрате. Если, например, рост увеличился в 10 раз, то объем, масса, вес и давление увеличатся в 1000 раз, а сопротивление дроблению, например, костей только в 100 раз. Если раньше, т. е. при малом росте, сопротивление опорных органов было достаточно, то теперь оно будет мало, и чтобы сделать его удовлетворительным, надо увеличить его в 10 раз. Как же это сделать? Можно прочность опорного материала увеличить в 10 раз или, когда таких материалов нет, то приходится площадь поперечного разреза кости увеличить во столько же раз или диаметр сечения почти в 3 раза. И отсюда видно, что для успешной борьбы с тяжестью невозможно соблюдение подобия: сравнительная толщина опорных органов должна расти с увеличением размеров животного в высоту.

Непропорциональное увеличение толщины опорных органов, увеличивая общий вес тела, еще более увеличивает их непропорциональность и неуклюжесть. В природе мы находим подтверждение этому выводу в кажущейся неуклюжести слонов, гипопотамов и других крупных наземных животных. Так стройный человек, если бы мог увеличиваться в размерах, то должен был бы утолщать свои кости тем более, чем размер его будет больше. Из Аполлона Бельведерского он превращается в неуклюжее существо, в противном случае ему грозит излом костей от собственной тяжести, бессилие в отношении поднятия грузов, относительное уменьшение или атрофирование других органов и общее ослабление всего тела вследствие отклонения от пропорциональности. Вот почему гиганты выходят неудачны.

Возьмем обратный случай: размер какого-либо существа уменьшается в 4 раза. Тогда сопротивление опорных частей будет в 4 раза больше чем нужно. Значит, диаметр сечения их может уменьшиться в 2 раза (а площадь, конечно, в 4 раза). Природа обыкновенно и пользуется тем, чтобы не израсходовать излишнего материала: делает ноги малых существ тем тоньше, чем размер их меньше. Это чересчур очевидно при взгляде на насекомых. Взвешивание суммы костей позвоночных дает в общем те же результаты: чем меньше существо, тем и относительный вес костей меньше.

Итак, увеличение размеров существ или невозможно, или должно сопровождаться неуклюжим утолщением опорных органов, или улучшением их строения, или увеличением прочности опорных материалов. Все это мы и видим в природе в большей или меньшей степени, когда восходим вверх по лестнице живых существ: коэффициент сопротивления материалов растет, сплошные кости заменяются трубчатыми, воздушными и решетчатыми, неуклюжесть и сравнительный вес костей увеличиваются. И, несмотря на весь этот прогресс, размер существ в высоту, конечно, ограничен, как ограничены высота гор и глубина морей.

Отсюда вытекает общая картина наземных организмов в отношении их опорных членов. Чем меньше существа, тем больше выдается их туловище и меньше их органы опоры, их ноги, которые делаются все незаметней и незаметнее, превращаясь у маленьких насекомых в какие-то паутинки, совсем незначительные в сравнении с солидным их корпусом. Наоборот, чем больше существо, тем более выдаются опорные органы. Человек при-

вык считать пропорции своего тела наиболее гармоничными; с этой точки зрения ни слоны, ни насекомые не гармоничны, т. е. ни большие ни малые существа не удовлетворяют его вкусу. Если же мы замечаем гармонию существ, то это значит, что соблюдается подобие, возможное только для животных меньшего размера, чем человек. Тогда наблюдаются особые, чрезвычайные явления, которые мы еще будем отмечать.

9. Ограничение 7 и 8 глав

Предыдущие главы (7 и 8) применимы более всего к растительному царству, где деревья составляют одно целое, тогда как опорный остов животного составлен из частей, только более или менее связанных между собою сухожильными связками, мускулами и т. д. Так проявляется трубчатость маленьких растений и другие ухищрения ради уменьшения веса опорного элемента. Напротив, у громадных растений трубчатость ствола — явление более редкое, так как сравнительная толщина дерева должна быть очень значительна (как ноги у слонов).

Формулы стояния были бы вполне применимы к нормальному стоячему положению животных, если бы сопротивление связывающих кости частей соответствовало сопротивлению самых костей, чего на деле нет. Но все же более всего наши выводы применимы к строго вертикальному стоянию. Тут сопротивление мускулов наибольшее, но все же меньшее сопротивления твердых опорных элементов. Поэтому при воображаемом увеличении роста существа, силы тяготения, при наваливании на животное груза оно стремится держаться в вертикальном положении, а при вынужденном движении, ходьбе, например, — как можно меньше от него уклоняться. Вследствие этого сильно нагруженный человек делает шаги тем короче, чем нагрузка больше. При известном ее максимуме животное уже не в состоянии сдвинуться с места; а при повышении его — падает и принимает положение коленопреклоненное, сидячее, лежащее и т. д., смотря по степени нагрузки. В таком случае существо в механическом отношении как бы дробится на несколько меньших существ более простого сложения. Так сидячее положение на Земле, с обхватыванием руками колен, содержит, как бы в раздельности: голень, бедро и сложную остальную часть тела. К бедру и голени наши формулы будут применяться полностью, при лежащем же горизонтальном положении — еще более. Применимы также наши формулы и выводы из них ко многим членистым, к раковинам и даже к мягкотелым без раковины, к простейшим с твердыми частями и без них.

Наши формулы делают понятными явления старости и болезни, когда силы мускулов слабеют, вследствие чего шаги тем более укорачиваются, чем слабость существа значительнее. В первом пределе животное теряет способность ходить и лишь придерживается нормального, например вертикального, положения. При втором пределе и нормальное положение становится непосильно и существо принимает лежащее положение, которому предшествует полулежащее и сидячее.

10. Цепкость

Когда существо цепляется костями или пальцами за дерево и находится в висячем положении, то пускается в дело сила сопротивления разрыву костей, сухожилий и т. п. Допустим, что вес тела равен сопротивлению их от разрыва. Получим уравнение (см. 2 и 3):

$$\frac{\sigma_z F_{01}}{K} H^2 = g V_{01} \rho H^3,$$

откуда найдем

$$\sigma_z F_{01} = K g V_{01} \rho H.$$

Отсюда можем сделать те же выводы, что и из подобного уравнения (см. 7), которое отличается только одним множителем $\sigma_{сж}$, т. е. коэффициентом дробления, который заменен тут коэффициентом разрыва σ_z . Также получим и число прицепленных существ, цепляющихся за хвост или ноги первого и составляющих висящую цепь равных по весу существ. Именно: $R_p : G = n = \sigma_z F_{01} : K g V_{01} \rho H$.

Следовательно, число всех членов цепи (или относительное сопротивление разрыву организма) или ее живых звеньев пропорционально прочности материала (например, сухожилий), крепости материала σ_z и относительной площади его сечения F_{01} . Напротив, число звеньев обратно желаемой прочности K , силе тяжести планеты (жидкостью эту тяжесть можем ослабить, а центробежной силой увеличить — на той же планете), относительному объему V_{01} и средней плотности существа ρ ; число членов цепи также тем больше, чем рост существа меньше. Это значит, что маленькие животные могут нести более длинные (сравнительно) цепи, чем большие, или что на маленьком существе может виснуть более ему подобных, чем на большем. Мы выразили последней формулой цепкость организма. Уменьшение тяготения планеты g увеличивает число звеньев цепи и обратно.

11. Падение с высоты и удар

Опорные элементы тела должны еще выдерживать удар от падения тела с высоты. Например, человек обрывается с высокого дерева и падает, положим, вертикально, становясь на ноги.

Рассмотрим такое падение на какую-либо опору, т. е. почву тех или других свойств. При падении, т. е. соприкосновении падающего организма с почвой, как то, так и другое сжимается до тех пор, пока не начнет разрушаться опора или организм, например, дробить кости, хрящи и т. д. Этот момент мы и должны уловить и отметить, найдя зависимость между высотой безопасного падения и упругими свойствами животного и почвы. Уравнение будет основано на том, что работа сжатия организма и почвы равна работе падения тела. Получим $\frac{1}{2} F_0 H \sigma_{сж}^2 (\sigma_{со} + \sigma_{сп}) = G H_{II}$.

Здесь мы выражаем, что работа сжатия пропорциональна площади среднего сечения (F_0) опорных частей организма, его росту (H), или длине опорного ствола, сумме коэффициентов сжимаемости организма (σ_{oc}) и почвы ($\sigma_{сп}$) (этот коэффициент показывает, на какую часть всей длины тела оно сжимается при своем поперечном сечении в единицу и при усилии в единицу силы) и квадрату коэффициента дробления ($\sigma_{сж}^2$). При сжатии, пропорциональном усилию, искомая работа равна половине произведения указанных величин. Вторая часть уравнения дает работу падения, которая пропорциональна весу (G) тела и высоте его падения ($H_{п}$). Замена в уравнении F_0 и G известными выражениями (см. 2 и 3), получим, сокращая:

$$\frac{1}{2} F_0 \sigma_{сж}^2 (\sigma_{oc} + \sigma_{сп}) = V_{01} \rho g H_{п}.$$

Отсюда прежде всего видно, что высота наибольшего безопасного падения $H_{п}$ не зависит от роста организма при соблюдении подобия. Значит, и для больших и для малых подобных организмов (конечно, в пустоте и при одинаковых условиях почвы) она одинакова — ну, положим, сто метров. Но впечатление этой высоты для разных размеров существ далеко не равнозначуще: нам будет казаться, что малые организмы крепче, выносливее при падении, так как свергаются безопасно с высоты, которая, по отношению к их росту, тем больше, чем сами они меньше. Кажущаяся безопасная высота падения будет обратно пропорциональна размеру подобно изменяющегося существа. Далее мы видим, что абсолютная высота падения пропорциональна относительной площади сечения опорного ствола и квадрату коэффициента дробления при крепости опорного материала; они также пропорциональны сумме коэффициентов сжимаемости опорного вещества организма и почвы. (Это значит, что чем мягче, сжимаемое почва и опорный ствол существ, тем высота безопасного падения больше.) Напротив, эта критическая высота тем меньше, чем полнее тело V_{01} , чем больше его средняя плотность ρ и чем сильнее тяготение планеты g . Следовательно, на планетах с малой тяжестью можно падать безопасно с большой высоты. На Луне, например, с высоты в 6 раз выше, чем на Земле, на астероидах — с высоты в сотни раз большей. Если почва очень мягкая, как мокрая земля, глина, вода, сено, пружина, громадная висящая сетка, то коэффициентом сжатия самого тела можно пренебречь — он уже не будет иметь почти никакого значения. Напротив, если почва представляет твердую неподатливую опору, вроде камня, чугуна и т. п., тогда главную роль играет упругость опорного столба животного и в нашей формуле можно выпустить $\sigma_{сп}$. Но огромное значение имеет также величина сопротивления опорного материала $\sigma_{сж}$ самого существа: если он ($\sigma_{сж}$) мал, то не поможет никакая мягкость почвы, и организм при падении разрушается. Итак, выгодно для организма, если его опорный столб весьма сжимаем (как хрящи) и прочен, как кость. Может быть поэтому позвоночный столб человека перестилается хрящами, как и вообще сочленения костей. Молодые животные более выносливы к ударам и падению, благодаря обилию хрящей и не вполне еще окостеневших костей. Напротив, на старости

лет кости и хрящи более содержат извести, коэффициент дробления и сжимаемости их уменьшается, отчего усиливается наклонность к разрушению костяка.

Мы можем применить нашу формулу к простейшему случаю: когда падает стальной закаленный куб на такой же куб, утвержденный на несжимаемой опоре. В этом случае: $F_{01} = 1$; $\sigma_{сж} = 10^6 \text{ кг/дм}^2$ (или 10^4 на см^2); $\sigma_{сж} = \sigma_{сж} = 1 : 2 \cdot 10^8$; $V_{01} = 1$; $\rho = 7,5$; $g = 1$; коэффициент сжатия материала есть относительное сжатие при давлении в 1 кг площади в 1 дм^2 или при давлении в 1 г площади в 1 см^2 ; он обратен модулю упругости при сжатии: для стали он равен $2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, т. е. $2 \cdot 10^9 \text{ г/см}^2$, или $2 \cdot 10^8 \text{ кг/дм}^2$. Теперь вычислим: $H_{\Pi} = 666,6 \text{ дм} = 66,7 \text{ м}$.

Значит, при падении (в пустоте) на несжимаемую опору с высоты в 67 м стальной куб произвольных размеров разрушается. Если куб падает на такой же куб, как он сам, стоящий на несжимаемой опоре, то разрушение начнется с высоты падения в 134 м .

Если материал способен деформироваться, как воск, свинец, мягкое железо, сырое дерево, то высота падения будет тем больше, чем больше может сплющиваться вещество. У живых существ в этом случае происходит разрушение; если оно поправимо, не смертельно, то, конечно, излечивается со временем.

У живых тел опорная часть составляет какую-либо двадцатую часть веса всего тела, т. е. $F_{01} = 1/20$, и высота падения при других равных условиях будет в 20 раз меньше, т. е. около $3,3 \text{ м}$ (более 4 аршин).

Это предельная высота при несжимаемой опоре. При падении на чело- века же высота будет $6,6 \text{ метра}$. При падении на мягкую почву она может быть гораздо больше. При падении в грязь или воду — еще значительно.

Вместо безопасной высоты падения можно узнать безопасную скорость удара живого тела в неподвижную опору или движущегося тела в живую опору. Для этого может послужить формула:

$$GH_{\Pi} = G \frac{v^2}{2g} \text{ или } v = \sqrt{2gH_{\Pi}}.$$

Тут скорость v мы узнаем по H_{Π} , высоте безопасного падения и силе тяжести, ускорению Земли. Вычислим: если $H_{\Pi} = 67 \text{ м}$, то $v = 36,5 \text{ м/сек}$, или $131,4 \text{ км/час}$.

Это для куба, ударяющего в несжимаемую опору. Для организма, ударяющего в такой же организм, $v = 41 \text{ км/час}$, а в несжимаемую опору — около 29 км/час . Выскакивая из поезда с такою скоростью, мы рискуем только при столкновении с каменной стеной, по земле же мы тогда катимся и редко расшибаемся.

Кроме ударов, продольных и поперечных, которым подвержены кости или другой опорный элемент, они еще подвергаются сдавливанию мускулов при их работе. Эта сила в несколько раз g больше силы члена, так как он обыкновенно выигрывает в пространстве или притяжении, проигрывая в силе. Положим, человек притягивает себя руками вертикально к палке-трапеции на высоту 8 дм с помощью мускулов, имеющих общую длину

в 9 дм. Их сокращение не более трети их длины, т. е. 2 дм. Напряжение же, в среднем, будет в 4 ($8:2=4$) раза больше преодоленного препятствия. Если оно равно 80 кг, то среднее натяжение мускулов составит 320. Это натяжение часто больше веса не только отдельных членов, но и веса всего тела. Опорная часть его должна выдерживать натяжение работающих мускулов. Ясно, что оно значительно меньше сопротивления опоры, которая подвергается нередко действию падения и другим толчкам, гораздо более опасным для целостности организма, чем натяжение мускулов.

12. Кажущаяся, или относительная, сила мускулов.

Уклонение от подобия

Перейдем к кажущейся, или относительной мускульной силе. Ее мы можем выразить: поднятием груза, высотой прыжка, наибольшим ростом и работою разрушения или созидания, т. е. разрывом сообразной с размером организма площади. Мы видели (3), что абсолютная сила члена, имеющего мускул, т. е. двигательного члена, выражается формулой $P = \sigma_m F_{01} H^2 (1/\eta)$.

Сравнивая или деля эту силу на вес организма, получим первое выражение для относительной его силы, выражаемой числом поднятых равных организму существ. Найдем: $P : G = \sigma_m F_{01} H^2 \eta : g V_{01} \rho H^3 = \sigma_m F_{01} \eta : g V_{01} \rho H$. Отсюда видно, что число поднятых существ, если пренебречь весом самого двигательного члена, пропорционально σ_m , или коэффициенту мускульного напряжения (напряжение на единицу площади поперечного сечения мускула) и относительной площади сечения F_{01} мускулов. Это число поднятых существ обратно пропорционально силе тяжести (чем она меньше, тем эффектнее проявляется кажущаяся сила организма), она обратна V_{01} и ρ , т. е. сравнительному объему или пухлости организма и его средней плотности, затем она обратна потере $1/\eta$ в силе вследствие удлинения движения члена и обратно пропорциональна росту существа (H) или его линейным размерам. Последнее показывает, что маленькие существа должны обладать громадной кажущейся мускульной силой, так как поднимают тем большее число себе подобных, чем размер их ничтожнее. Можно сравнивать двигательную силу члена не только с весом всего существа, но и с весом самого двигательного члена или с тяжестью любого органа животного. Результаты получим те же.

Допустим, что сила члена равна весу существа, т. е. существо своими членами, например ногами, подымает самого себя — ну, положим, ходит свободно по горам или лестницам. Тогда получим уравнение, как и раньше (из тех же данных):

$$\sigma_m F_{01} \eta = g V_{01} \rho H$$

или

$$H = \frac{\sigma_m F_{01}}{g V_{01} \rho \eta}.$$

Из него видно, что размер организма будет пропорционален коэффициенту мускульного напряжения (σ_m) и относительному сечению (F_{01}) мускула.

Напротив, этот размер тем меньше, чем больше потеря ($1/\eta$), сила тяжести (g) и средняя плотность организма (ρ). Если же тяжесть планеты уменьшается, то рост организма, который он может свободно носить по горам, возрастает. На Луне, например, такое свободно движущееся существо будет в 6 раз выше, чем на Земле, а на Юпитере в $2\frac{1}{2}$ раза ниже сравнительно с нашей планетой. Мы могли бы подобную формулу дать и для рук, поднимающих силою своих мускулов человека на трапедии или отвесном столбе. Выводы будут те же.

Представим себе, что организм человека или другого высшего животного уменьшается в размерах. Тогда относительная сила его мускулов становится больше, чем нужно для борьбы с тяжестью. Экономия природы заставляет тогда существо ослаблять и утоньшать свои мускулы, излишняя полнота которых была бы роскошью. Итак, спускаясь по животной лестнице, мы находим мускулатуру непрерывно регрессирующую, подобно регрессирующим опорным частям тела. Напротив, если какое-нибудь низшее существо, например насекомое, будет увеличиваться в размерах, то его мускулатура не одолеет тяжести собственного тела. Природа должна тут прийти на помощь усилением мускулатуры и опорных органов. Сравнительная толщина и масса двигательных органов должны расти или самые органы совершенствоваться. Все это мы видим в биологии, восходя и нисходя по лестнице живых существ. Произойдет неизбежное нарушение подобия. Сравнительный вес мускулатуры подчиняется тем же законам, что и вес опорных органов.

13. Прыжок

Рассмотрим вертикальный прыжок. Он состоит из двух частей: из поднятия тела без потери соприкосновения с почвой, так сказать из подготовки к прыжку, когда тело еще не поднялось над землей (h_3), и из поднятия на воздух (h_b). Сумма обоих работ приблизительно равна ($h_3 + h_b$) G , т. е. произведению высоты полного поднятия центра тяжести существа на вес его. С другой стороны, эта же работа должна равняться работе (A_m) мускулов, участвующих в движении. Для нее мы уже имеем выражение, также и для веса (2 и 6) организма (G). Итак, составим уравнение $(h_3 + h_b)G = A_m$, из которого получим: $h_3 + h_b = A_m/G = \sigma_m F_{01}$.

Т. е. полное поднятие или полный прыжок пропорционален коэффициенту мускульного напряжения (σ_m), относительной площади сечения (F_{01}) мускулов, участвующих в произведении прыжка, и величине относительного сокращения (Δl_{m1}) мускулов. Этот же абсолютный прыжок обратно пропорционален силе тяжести планеты (g), сравнительному объему тела (V_{01}) и его средней плотности (ρ). Чем меньше тяжесть планеты, тем прыжок выше. На Луне он в 6 раз выше, чем на Земле; на планете, где тяжесть в 100 раз меньше, поднятие будет в сто раз больше. Абсолютный прыжок для всех подобных организмов имеет одну и ту же величину. Но сравнительная его величина, например, по отношению к росту тела, т. е. величина $(h_3 + h_b) : H$, будет тем больше, чем организм меньше. Нам

представится, что маленькие организмы, прыжок которых во много раз превышает их рост, прыгают сравнительно гораздо выше и потому, как будто, гораздо сильнее больших существ. Видим, что это не более, как иллюзия. Величина первой части прыжка, подготовительной, очень мала для организмов малых или при малой тяжести. Если человек присядет для прыжка и потом тихо выпрямится, то получим примерную величину первой части прыжка. У человека она составляет около одной пятой всего его роста ($35 \text{ см} : 175 \text{ см} = 0,2$). Да подпрыгивает он на воздух, положим, на столько же. Полное поднятие составит 70 см или $0,4$ его роста (175 см). На Луне оно составит 420 см , на Аталанте $70\,000 \text{ см}$, или 700 м . Конечно, первая часть прыжка у людей сильных может быть вдвое больше (70 см), а вторая даже в 6 раз больше (210 см). Ограничиваясь Землей, для существ, подобных человеку, но в сто раз меньше ростом, полное поднятие будет такое же, как и для больших, например в 70 см или в 280 (почти 3 м). По отношению к маленькому человечку, менее 2 см ($1,75$) ростом, прыжок будет все же громаден и первую его часть можно пренебречь, как при нормальном росте, но при малой тяжести. Тогда можем принять $h_b = (\sigma_m F_{01} \Delta l_{m1}) : (g H V_{01p})$. Тут получим уже величину воздушного прыжка (h_b). По отношению к росту (H) полная величина прыжка выразится $(h_z + h_b) / H = \sigma_m F_{01} \Delta l_{m1} : g H V_{01p}$, т. е. при большей величине организма (H) или большей тяжести (g) (или того и другого) и, конечно, меньшем росте тела (1) относительный прыжок может быть меньше всякой величины. Но мы видели, что прыжок для человека не может быть менее спокойного его распрямления при подготовке к прыжку, т. е. не менее $0,2$. Итак, $(h_z + h_b) / H > 0,2$.

Если принять о распрямлении и прыжке вышеприведенные данные, то при увеличении тяжести планеты вдвое человек может только распрямиться без последующего поднятия на воздух. То же будет и при увеличении его роста вдвое и массы в 8 раз (например, вместо 4 пудов, 32 пуда). При большем увеличении роста (например, в 3 раза) или силы тяготения (например, в $2\frac{1}{2}$ раза), человек уже не в силах распрямиться и должен, при своем сокращении для прыжка, упасть. Все это легко видеть из последней формулы.

Впрочем, устройство организма очень сложно и способность распрямления у человека не постоянна; она тем больше, чем присел он меньше. Поэтому чем слабее человек, чем больше сила тяжести и больше его рост (H), тем подготовительная часть прыжка поневоле меньше. Она может быть поэтому меньше $0,2$ роста, даже может дойти до нуля — и по желанию и по необходимости.

Вот таблица, которая показывает высоту вертикального прыжка на Земле — абсолютного — и по отношению к росту существа.

Последняя строка выражает поднятие на воздух, причем рост существа принимается за единицу. Нормальный и, надо заметить, довольно сильный человек подымется только на $0,35$ (около $\frac{1}{3}$) своего роста (менее аршина). Только карлик в $\frac{1}{2} \text{ м}$ подпрыгнет на величину своего роста. Лилипут в 1 см высоты подымается в 52 раза больше своего размера.

Рост человека, в м	1 : 1000	1 : 100	1 : 25	1 : 16	1 : 9	1 : 4	1 : 2	1	2	4
Полный абсолютный прыжок, м	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Распрямление, м	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,09	0,17	0,35	0,70	1,4
Поднятие на воз- дух, м	1,4	1,4	1,39	1,38	1,36	1,31	1,23	1,05	0,70	0
Поднятие по отно- шению к росту	520	52	13	8,3	4,7	2,1	1,05	0,52	0,35	0,00

При большой силе нормального человека (принимаем для простоты его рост в 2 м) получим такую таблицу:

Рост существа, м	1 : 1000	1 : 100	1 : 25	1 : 16	1 : 9	1 : 4	1 : 2	1	2	4
Полный прыжок, м	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Распрямление, м	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,09	0,17	0,35	0,7	1,4
Поднятие на воз- дух, м	2,1	2,1	2,09	2,08	2,06	2,01	1,93	1,75	1,4	0,7
То же, но по от- ношению к ро- сту	2100	210	52,2	33,3	18,5	8,08	3,86	1,75	0,7	0,17

При такой силе распрямления, которая в три раза больше тяжести тела (прежде в 2 раза), даже гигант в 4 м высоты подымается над землей на 0,17 ($1/6$) своего роста. Нормальный — на 2 аршина, или на 0,7 своего роста. Карлик же в $1/2$ м уже подымается в 4 раза выше своего размера, а при высоте в 25 см уже на 8 своих ростов. Лилипут в сантиметр длиною прыгает в 210 раз выше своего роста.

Вот третья таблица, которая показывает величину прыжка при разной тяжести и разной силе прыгающих. Распрямление — от нуля до 70 см. Оно тем больше, чем больше сила мускулов и меньше тяжесть планеты.

Земная тяжесть (1) близка к тяжести на Венере, Сатурне, Уране и Нептуне. Тяжесть в 0,5 не далека от притяжения на Меркурии и Марсе. Тяжесть двойная (2) немного меньше тяжести на Юпитере. Тяжесть в 0,2 чуть более тяжести на Луне. Меньшие тяжести, приведенные в таблице, можно найти на спутниках и астероидах.

Наклонный прыжок сопровождается некоторым равномерным горизонтальным перемещением. Известно, что оно бывает наибольшим при направлении прыжка под углом в 45° к горизонту. При этом поднятие вертикальное вдвое меньше, чем при прыжке отвесном, а перемещение горизонтальное вчетверо больше высоты наклонного прыжка или в 2 раза

Тяжесть		0,001	0,01	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4
Прыжок, в м	Полный прыжок с распрямлением	1050	105	10,5	5,25	2,1	1,05			
	Поднятие в воздух	1049,3	104,3	9,8	4,55	1,4	0,35	Невозможен		
	Полный прыжок	1400	140	14	7	2,8	1,4			
	В воздухе	1399,3	139,3	13,3	6,3	2,1	0,7	0		
	Полный прыжок	2100	210	21	10,5	4,2	2,1	1,05	0,7	
	В воздухе	2099,3	209,3	20,3	9,8	3,5	1,4	0,35	0	
	Полный	2800	280	28	14	5,6	2,8	1,4	0,93	0,7
	В воздухе	2799,3	279,3	27,3	13,3	4,9	2,1	0,7	0,23	0

больше вертикального. Если прежде вычисленный чистый отвесный прыжок означим через $h_{\text{пр}}$, то вертикальное поднятие при наклонном прыжке под углом в 45° будет $h_{\text{пр}}:2$, а горизонтальное перемещение — $2h_{\text{пр}}$. Второе больше первого в 4 раза. Человеку и другим двуногим существам трудно сделать наклонный скачок, так как человек не может стать к горизонту под углом в 45° — разве на один момент. Тогда прыжок должен быть очень энергичен. Он тем осуществимее, чем меньше существо и меньше сила тяжести или чем сильнее прыгающее создание. Однако не только четвероногие и многоногие имеют возможность наклонять тело, но и двуногие с очень длинными пальцами, как птицы. Они часто то ходят, то прыгают, то применяют прыжок к началу полета. Даже мухи прыгают перед полетом, в чем можно убедиться, отрезавши им крылья.

Мы видели, что слабый человек легко делает прыжок, считая и распрямление, или сумму $h_z + h_v$, в 70 см. Наклонный (45°) прыжок даст поднятие в 35 см и горизонтальное перемещение в 70 см (около аршина). Если размер человечка уменьшится хоть в 100 раз, то абсолютное перемещение останется то же, но величина его сравнительно с ростом (2 см) будет уже в 35 раз больше. Отсюда — особый способ перемещения малых существ — прыжками. Вместо того, чтобы делать 70 шагов, не лучше ли раз хорошенько прыгнуть! Так поступают многие насекомые и птицы, не пренебрегая иногда и шаганием. Иногда одни задние конечности, снабженные хорошими мускулами, служат для прыжков, другие — для шагистики.

Двуногим удобнее горизонтальный прыжок с разбегом. Поэтому поговорим о беге.

14. Бег

Член, приводящий в поступательное движение тело, т. е. ногу, сравним с колесным пружинным маятником часов. Время одного колебания выражается формулой, подобной формуле простого математического маятника:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l_M}{g}}, \quad \text{где } \pi \text{ — есть отношение окружности к диаметру, } l_M \text{ —}$$

длина математического маятника, а g — ускорение, сообщаемое Землей свободно падающему телу в одну секунду. В применении к пружинному маятнику, g надо заменить силой пружины в динах, деленной на массу маятника, т. е. $F_{\Pi} : m_M$. Предполагается, что вся масса сосредоточена на

ободе маятника, как и сила, действующая на него. Значит, $t = \pi \sqrt{\frac{l_M m_M}{F_{\Pi}}}$.

Если эту же формулу приложить к двигательному члену, то $m_M = m_0 k$, $F_{\Pi} = P$ и $l = l_0 H$, т. е. масса равна массе органа перемещения m_0 , умноженной на поправочный коэффициент, меньший единицы, который зависит от распределения массы органа или его мускулов в члене и даже вне члена. Силу пружины мы замечаем силой члена (P), а длину члена выражаем длиной его при единице роста, умноженной на рост (H). Уже имели ранее (см. 2 и 3) $m_0 = V_{01} \rho H^3$ и $P = \sigma_M F_{01} H^2 \eta$.

Отсюда и из предыдущего получим:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l_0 H k V_{01} \rho H^3}{\sigma_M F_{01} H^2 \eta}} = \pi H \sqrt{\frac{l_0 k V_{01} \rho}{\sigma_M F_{01} \eta}}.$$

Число колебаний члена в течение секунды обратно времени t одного колебания, т. е. равно $(1/t)$. Пространство, пройденное при колебательном движении члена вперед, равно длине его размаха (амплитуда или a_1) при члене длиной в единицу, умноженной на длину члена (l) и умноженной еще на число колебаний органа в секунду $(1/t)$.

Полученное произведение и будет скоростью движения конечной точки органа перемещения. На основании сказанного она равна

$$F_{\Pi} = a_1 l_0 H \frac{1}{t} = \frac{a_1}{\pi} \sqrt{\frac{l_0 \sigma_M F_{01}}{k V_{01} \rho (1/\eta)}}.$$

Отсюда видно, что эта скорость, которую можем принять приблизительно за скорость бега в пустоте, не зависит от роста подобно изменяющегося существа. Это значит, что все подобные организмы должны бегать с одинаковой скоростью. Но это положение мы должны со временем ограничить.

Далее, в формулу не входит сила притяжения планеты. Как будто и она не имеет влияние при беге на горизонтальной плоскости, но и этот вывод ограничен. У всякого существа скорость бега пропорциональна амплитуде (a_1) или размаху колебания (углу его отклонения). Угол не может быть много больше 60° , т. е. a_1 близко к единице.

Затем формула показывает, что скорость бега пропорциональна квадратному корню из коэффициента мускульного напряжения, относительной площади (F_{01}) сечения мускулов и относительной длине члена (l_{01}). Та же скорость обратно пропорциональна квадратному корню из средней плотности члена (ρ), его объема (V_{01}), потере ($1/\eta$) в силе и коэффициенту k , который тем меньше (а скорость тем больше), чем далее от конечности члена расположен центр его массы, т. е. центр опорной массы и массы мускулов. С целью достигнуть этого и, значит, наибольшей скорости бега природа делает опорные части конечностей органов передвижения как можно менее массивными, а мускульные массы помещает как можно выше, ближе к туловищу, а иногда и в самом туловище, вне двигательного члена. По крайней мере, хоть часть мускулов двигательного члена располагается вне его.

Мы нашли, собственно, скорость вибрации члена, как скорость колебания пружинного маятника карманных часов. Эта скорость могла бы в сущности почти обойтись без расхода энергии, если бы сила мускулов могла быть замененной простой упругостью, подобной упругости закаленной стали или других упругих тел. Может быть природа и прибегает при этом отчасти к упругости сухожилий и других органов, мало известных и скрытых в двигательных членах существ. Но все же она не может обойтись и без постоянного расхода работы в виде мускульной энергии, как и ход часов требует еще гири или особой большой спиральной пружины. Однако в организме высших существ мы не находим значительного и ясного применения принципа упругости. Может быть, это зависит от того, что животному приходится взбираться на горы и опускаться с них, одолевая препятствие движению в виде тяжести трения, дурных дорог, сопротивления воздуха, воды и т. д.

Тут принцип упругости имеет очень ограниченное значение. Тут, напротив, требуется непрерывный расход работы. По таким, а может быть еще и по другим причинам, неистощимая упругость мертвых тел заменяется в животном мире непроизводительною работою мускулов, особенно непроизводительною при беге, который сопровождается колебанием члена. Как бы ни были малы другие сопротивления при движении, — огромная работа, даже при ограниченной скорости колебания ног, неизбежна для одоления их инерции при постоянной перемене в направлении движения. Этой излишней и большой работы не было бы, если бы колебательное движение было заменено вращательным, как у человеческих экипажей. Но природа, по крайней мере на Земле, еще не решила этой задачи, хотя ее нельзя считать абсолютно невозможной: мы и сейчас руками можем совершать непрерывные круговые движения в одном направлении.

Где-нибудь на планетах чуждых нам солнечных систем, может быть даже в иных млечных путях, наверное, уже давно в явлениях жизни природа применяет и круговые движения и принцип упругости. Итак, колебательное движение членов при беге требует непрерывного расхода энергии. Соответствует ли этот расход действительному обладанию ею животных? Решением других вопросов подготовим почву и к решению этого.

15. Относительная созидательная или разрушительная сила мускулов

Силу мускулов существо употребляет не только для бега, т. е. для достижения добычи или спасения себя от сильных, но и с целью созидательной работы и работы разрушения. Первая употребляется при обделке материалов на стройку, вторая для уничтожения или поедания врагов или просто для кормления себя растительными веществами. Для подобной работы иногда служат особые двигательные органы, например челюсти, а иногда органы движения и другие не вполне специализованные члены тела.

Мы видели (3), что сила какого-либо члена выражается формулой $P = \sigma_m F_{01} H^2 \eta$. Разрушительную силу существа мы выразим отгрызом квадратной площади какого-либо материала, линейный размер которой составляет определенную часть роста (H) существа. Требуется отгрызть (как ножницами) площадь величиною в l . Минимальное усилие, требуемое для такого отгрыза, равно $\sigma_z l^2$. Оно должно равняться силе члена (P). Поэтому имеем уравнение $\sigma_z l^2 = \sigma_m F_{01} H^2 \eta$, откуда найдем $\frac{l}{H} = \sqrt{\frac{\sigma_m F_{01}}{\sigma_z (1/\eta)}}$.

Мы нашли, что относительный размер (l/H) квадратной площади, возможной для разового отгрыза, не зависит от роста (H) животного, а только пропорционален квадратному корню из коэффициента мускульного напряжения (σ_m) и относительной площади (F_{01}) сечения мускула (т. е. от богатства мускулатуры отгрызающего члена). Этот же размер отгрыза обратно пропорционален квадратному корню из крепости данного (σ_z) для разрушения вещества и потере в мускульной силе от увеличения хода члена. Но в подобного рода органах, как челюсти, движение, напротив, сокращается и потому мускульная сила даже выигрывается ($1/\eta$ меньше единицы), в особенности при разгрызании или раздавливании частями, близкими к оси вращения, например челюстей.

Животные не только разрушают, побеждая врагов или поедая их и растительные материалы, но и создают таким же способом жилища, отделяют куски, которые потом служат длястроек и защиты от непогоды и т. д. Очевидно, и тут мы придем к совершенно такому же выводу: именно подобные существа всех размеров, по-видимому, обладают одною и тою же разрушительной или созидательной силой, так как способны отгрызать от материалов одну и ту же площадь по отношению к их размерам, например прут, квадратное сечение которого составляет по размеру сотую долю роста животного. Иными словами — размер площади разреза всегда пропорционален росту (H). В борьбе за существование организмов между собою, конечно, важны абсолютные, а не относительные величины. Абсолютная же сила челюстей тут растет пропорционально квадрату роста существа. Понятно, что эта сила дает громадный перевес большим животным во взаимной истребительной борьбе их с малыми. Поэтому, с одной стороны, естественный подбор способствует увеличению роста. Но, как мы видим, абсолютная быстрота бега, высота и длина прыжков одинаковы для больших

и малых существ. Так что, с этой стороны, увеличение их размеров как бы бесплодно.

В борьбе с природою, в особенности с силою тяжести, также не всегда увеличение роста выгодно: иногда даже, как увидим, наоборот.

16. Значение острия

Сила члена служит для поднятия тяжести с целью переноса пищи, материала для одежд, построек и других надобностей, также для нанесения ударов естественным или искусственным орудием. Она же служит для бросания камней и стрел. Абсолютная сила члена пропорциональна квадрату размеров существа и в борьбе с другими животными особенно способствует возвышению и распространению рода крупных существ. Но сила мускула, результат его действия зависят в высокой степени от орудия, которым снабжен член: когти, рога, острия ножа, кинжала и т. п.

Положим, что площадь острия рога, резца или ножа равна S_0 . Это величина весьма малая. Она меньше единицы площади в $1/S_0$. Если мускул с помощью члена делает на острие или на эту площадь (S_0) давление p , то на единицу площади придется давление p_1 , очень громадное и равное $p_1 = p(1/S_0)$. Из формулы видно, что чем кончик орудия острее или острая конечная площадка его меньше, тем давление на единицу площади разрушаемого предмета больше.

Поэтому степень заостренности — неопределимый даже для глаза — когтей, рог, резцов или искусственных орудий имеет громадную важность в борьбе за существование как с мертвой, так и в особенности с живой природой. Иногда меньший рост и меньшая абсолютная сила мускулов могут взять даже перевес в борьбе с более крупными существами, если у последних менее совершенные зубы, копыта или ножи.

17. Бросание

Разберем бросание камней, а именно: их скорость, высоту их полета и его дальность. Работа мускула при бросании камня со скоростью v равна в абсолютных единицах $\frac{1}{2} (m_k + m_{ч}k_{мр}) v^2$, где в скобках поставлена масса бросаемого камня и масса члена ($m_{ч}$), умноженная на некоторый коэффициент, меньший единицы и зависящий от момента инерции члена или от радиуса инерции. Но $(m_k + m_{ч}k_{мр}) = (m_{к1} + m_{ч1}k_{мр})H^3$, где $m_{к1}$ и $m_{ч1}$ — суть массы камня и члена при росте в единицу. Теперь, на основании (2), составим уравнение: $\frac{1}{2} (m_{к1} + m_{ч1}k_{мр}) H^3 v^2 = \sigma_m F_{01} \Delta l_{м1} H^3$,

$$\text{откуда } v = \sqrt{\frac{2\sigma_m F_{01} \Delta l_{м1}}{m_{к1} + m_{ч1}k_{мр}}}.$$

Силы тут должны быть выражены в эргах. Итак, скорость бросания камня пропорциональна квадратному корню силового свойства мускула (σ_m), относительной площади его сечения (F_{01}) и величине его относительного сокращения. Она увеличивается с уменьшением относительной массы бросаемого предмета и массы руки или другого бросающего органа. Но как

бы масса камня ни была мала, получаемая им скорость не увеличивается бесконечно, но имеет предел, зависящий от сравнительной массивности члена и равной $v_0 = \sqrt{2\sigma_m F_{01} \Delta l_{m1} : m_{ч1} k_m}$. С целью его увеличить природа стремится уменьшить массу члена (без уменьшения F_{01} , т. е. относительной массы мускулов) и k_m или момент его инерции помещением мускулов как можно ближе к центру вращения члена и даже частью вне его.

Передача силы требует сухожилий, масса которых совсем незначительна. Чтобы не тратить большой энергии на быстрое движение массивного члена при бросании маленького тела, ум человека придумал употребление метательных орудий, основанных на упругости мертвых тел. Так натягивают тетиву лука и она уже сообщает движение небольшому телу. Тут масса руки заменяется гораздо меньшей массой лука, которому сообщают значительный запас работы, иногда больший того, который выделяется при одном сокращении мускулов. Такую же цель имеет бросание камней бечевкой или лопаткой.

Приобретенная камнем живая сила передается на известное расстояние, поражая врага или разрушая его сооружения и имущества.

Наибольшее вертикальное поднятие будет равно $H_0 = v^2 : 2g$, а наибольшее горизонтальное перемещение вдвое больше этой высоты. Бросание дает возможность производить разрушение на расстоянии тем большим, чем бросаемая масса меньше; но с помощью метательных орудий она не только приобретает большую кинетическую энергию, но и, благодаря скорости, очень дальний бой. Уменьше бросать было большим шагом в приобретении прав на существование и оно еще усилилось с изобретением метательных орудий и бросания заостренных и ядовитых стрел.

18. Сила удара

Сила удара пропорциональна величине разрушения, т. е. площади и глубине раны, и потому выражается живою силою или работою одного сокращения мускулов, а именно: $(1/2)(m_{K1} + m_{ч1} k_m) H^3 v^2 = \sigma_m F_{01} \Delta l_{m1} H^3$.

Значит, абсолютная сила удара пропорциональна кубу роста или массе существа, но она не зависит от массы взятого камня и даже массы руки, а только от коэффициента мускульного напряжения и относительной массы мускулов (F_{01} и Δl_{m1}).

Верно, что кинетическая энергия удара не зависит от массы камня, но давление при ударе, его разрушительная сила зависит, как мы видели, от сжимаемости или мягкости сталкивающихся тел. Сжимаемость хрящей, мускулов, их податливость, мягкость кожи, жира и других ударяющих тканей громадна. Вот почему удар кулака так слаб и производит слабое, хотя и длительное давление. Но что толку в его длительности! Давите хоть столет на один предмет с недостаточной для его разрушения силой — и он останется цел. Когда же мы берем молот с посильным для нас весом, молот стальной, закаленный, неподатливый и сообщаем ему почти всю энергию наших мускулов, так что на движение руки остается только очень малая часть, действием которой даже можно смело пренебречь, — то получим

наисильнейшее, хотя и кратковременное, т. е. моментальное, давление при ударе. Действие его, однако, совершенно почти уничтожается, если разрушаемый предмет имеет под собой мягкую или сжимаемую опору. Чем она тверже, неподатливее, тем давление при ударе значительнее. В случае мягкости опоры нужна или чрезвычайная быстрота орудия или значительная масса разрушаемого тела. Тогда его инерция предоставит достаточное сопротивление орудию. Заострение последнего также может возместить недостаток давления при ударе. Быстрота орудия заставит быстро двигаться разрушаемую массу или мягкую опору, что вызовет усиленное ее сопротивление от инерции. Итак, при мягких опорах сильной сжимаемости разрушаемых тел быстрота орудия выгоднее его массивности.

Действие острия такое. Положим, что давление на него при ударе равно килограмму, а конечная площадка острия составляет квадратный сантиметр. Тогда давление на см^2 , положим, кожи и будет кг . Если конечная площадка острия будет мм^2 , то на см^2 уже придется 100 кг давления. При площадке острия в микрон давление на см^2 будет уже 100 000 000 кг , и т. д. Действие острия становится ясным.

Вот почему каждому случаю разрушения и его условиям необходимы: подходящее орудие, его масса и быстрота движения. Одно нужно для мясника, другое для косаря, третье для кузнеца, четвертое — для дровокола. Инстинктивно, опытом или вычислением, мы подбираем подходящее средство и прием работы для успеха дела.

Естественный подбор в борьбе между существами вырабатывал возможно большие размеры организмов, которые давали им преимущество и победу для уничтожения соперников меньшего размера, так как давал наибольшую абсолютную силу мускулам и естественным орудиям борьбы: копытам, когтям, рогам, зубам, клыкам, бивням и т. д. Только сила тяготения и некоторые другие условия останавливали прогресс роста и полагали ему предел. Вообще, борьба с силами природы (не про одушевленных соперников говорю) нередко шла в обратном направлении, т. е. стремилась не к увеличению линейных размеров и массивности существ, а к уменьшению их. Такова борьба с тяжестью. Чем, например, меньше были размеры животных, тем безопаснее для них было падение, легче движение, сравнительно громадные прыжки, возможнее или осуществимее, как увидим, полет по воздуху, проще устройство тела, легче обмен веществ и больше относительная энергия организмов. Вот пример подобного антагонизма: борьба с живыми врагами требует твердости, неподатливости опорных частей существа, борьба же с опасностью от падения от разного рода столкновений, напротив, требует незначительного модуля упругости, или мягкости и сжимаемости тканей.

19. Относительная работа живых существ

В борьбе существ с силою тяжести и другими силами природы — работою мускулов выделяется в единицу времени определенное среднее количество энергии. Мы называли эту работу мощностью существа. Но эта работа зависит отчасти и от быстроты движения мускулов, или от числа со-

кращений каждого в единицу времени. Если, например, число их сокращений в секунду утроилось, то и мощность увеличилась втрое. Поэтому мощность может сильно колебаться, изменяясь от нуля до некоторой максимальной величины, выделяемой животным под влиянием страха, страстей, смертельной борьбы с животными или с природой — в самую трагическую минуту жизни. Излишне выделенная мощность утомляет организм, представляет своего рода опасность, граничащую с болезнью или даже смертью. Полезна и необходима средняя величина мощности. Мы видели, что она выражается формулой (5) $N_1 H^k$, которая определяет и число сокращений мускулов в единицу времени и где N_1 — есть работа мускулов при росте (H) в единицу. Число сокращений будет тем больше, чем показатель k выше. При подобии организмов k равно двум, и число колебаний обратно пропорционально линейному размеру тела. При идеальном уклонении от подобия, когда $k = 3$, число колебаний в секунду постоянно для всех ограничено или наружно подобных организмов. В среднем случае, более близком к жизни, k составляет около $2\frac{1}{2}$, и тогда число колебаний обратно пропорционально квадратному корню из размера животного.

Примем эту энергию $k = 2,5$ за среднюю. Она определяет абсолютную и относительную, или кажущуюся, мощности организма. Абсолютная мощность, очевидно, возрастает с размерами или массой существа и потому ему особенно выгодна в борьбе с иными видами животных, а также и с соперниками того же вида. Полезна она и в борьбе с природой. Но в последнем случае дело не вполне ясно. Так, мы видели, что с возрастанием размера существа, оно уже не одолевает веса собственного тела, поднимает груз все меньший и меньший. Вся сила мускулов поглощается в борьбе с тяжестью; для борьбы же с остальной природой и врагами ничего не остается. Такой организм погибает в борьбе с существами гораздо меньшего линейного размера и массы, благодаря тому, что у последних остается избыток сил, не вполне поглощенных тяготением.

Вот почему надо иметь в виду еще относительное понятие о работе животного или его мощности. Таково представление об энергии или работе существа в единицу времени, приходящейся на единицу его массы. Мы видели, что она равна $w = N_0 : m_0 (N_1 / V_{01} \rho) H^{k-3}$. А так как в наиболее вероятном случае $k = 2,5$, то $w = N_1 / V_{01} \sigma \sqrt{H}$.

Значит, энергия, с увеличением роста не возрастает, а убывает. При непрерывном усложнении и усовершенствовании организма, когда $k = 3$, энергия только постоянна, т. е. не изменяет своей величины, несмотря на уменьшение или увеличение роста. Наконец, при полном соблюдении подобия, когда $k = 2$, энергия будет обратно пропорциональна росту. Так, если рост (H) увеличится в 10 раз, то во столько же раз уменьшится энергия или работа, приходящаяся на единицу массы тела (удельная работа в двигателях).

В борьбе с природой существо строит жилища, норы, перетаскивает грузы и пищевые запасы. За относительную единицу его работы в борьбе с тяжестью, или за единицу его относительной работы, примем ту величину ее, которую существо совершает, поднимая самого себя на высоту

своего роста. Эта единица, на основании (2), равна $GH = gV_{01\rho}H^4$. Это сильно должно охлаждать пыл природы и ее пристрастие к большим размерам животных.

Если тут работу хотим выразить в абсолютных единицах (эргах), то $g = 98$, если в грамм-сантиметрах (гсм), то $g = 1$.

Принятой единицей мы выражаем пользу организма при борьбе с тяжестью при поднятии на горы, при копании нор, поднятии соответственных грузов и т. д.

Разделив полную среднюю мощность животного на эту условную единицу работы, получим новое понятие об относительной мощности ($N_{от}$) существа.

Именно: $N_{от} = N_1/GH = N_1/gV_{01\rho}H^{4-k}$. В наиболее возможном случае $k = 2,5$. Следовательно, относительная мощность будет обратно пропорциональна росту в степени (1,5), т. е. обратна $\sqrt[3]{H}$. Если, например, рост увеличивается вдвое, то мощность уменьшается в 2,8 раза, если рост увеличивается в 4 раза, то кажущаяся мощность уменьшается в 8 раз. Если, наоборот, рост уменьшается в 9 раз, то эффективная мощность увеличивается в 27 раз.

Этот закон дает выгоды малым существам и ограничивает размеры больших, потому что сильно затрудняет их борьбу с силой тяжести. Теперь перейдем к работе обделочной, к работе разгрызания, разрезывания, обтеске камней и тому подобной.

20. Относительная мощность созидания или разрушения

За единицу такой работы примем отрыв от какого-либо вещества квадратной площади (H^2) величиною в рост организма. Если отрыв этот производится растяжением по длине тела перпендикулярно к отрывной площади, то работа этого отрыва будет не постоянна, а пропорциональна самой длине, так как разрушаемое тело прежде разрыва должно быть растянуто до предела упругости или сопротивления. Растяжение же, а значит и работа, будет тем больше, чем тело длиннее, так что она будет не только пропорциональна площади разреза тела, но и длине его по направлению разрывающей силы. Такая работа не производительна и не употребительна в технике. Выгоднее скалывание, разрезание ножницами, разгрызание зубами и т. д. Тогда работа разрыва становится почти постоянной и пропорциональной только коэффициенту сопротивления материала и площади отрыва, отгрыза, или отреза.

Она, приблизительно, равна $(\sigma_z^2/E)H^2K_T$, где σ_z — есть коэффициент разрыва или раздробления; E — модуль упругости и K_T — поправочный коэффициент, зависящий от толщины разрезаемого материала, от совершенства орудий скалывания и т. д. Вообще, эту работу мы полагаем пропорциональной квадрату сопротивления материала (σ_z^2), площади (H^2) разрыва и обратной упругости (E). Предполагается материал совершенной упругости, не деформирующийся, как свинец. Разделив теперь абсолют-

ную мощность существа на эту условную единицу созидательной или разрушительной работы, получим $(N_1 E / \sigma_z^2 K_T) H^{k-2}$.

В крайнем случае, при внутреннем и внешнем подобии, когда $k = 2$, эта созидательная работа постоянна для всех организмов, т. е. независима от их линейных размеров. В этом случае все организмы имеют одни и те же преимущества или поставлены в одинаковые условия, так что тут природа относится безразлично или равнодушно к линейным размерам организмов. При усовершенствовании внутренних органов и их усложнении с сильным нарушением внутреннего подобия относительная работа разрушения будет пропорциональна росту (H). Также и в наиболее вероятном среднем случае, когда $k = 2,5$, эффективная работа обделки материалов пропорциональна квадратному корню из роста (\sqrt{H}). Так что и тут рост дает громадные преимущества большим существам, и если бы не тяжесть, то это обстоятельство сильно способствовало бы развитию массивности существ. Если сделаем поправку по «Hütte» и положим, что работа разрыва, примерно, возрастает пропорционально квадратному корню из толщины H разрезаемого слоя, то эффективная работа созидания выразится формулой

$$\frac{N \cdot E}{\sigma_z^2 K_T \sqrt{H}} H^{k-2} = \frac{N_1 E}{\sigma_z^2 K_T} H^{k-2,5},$$

где коэффициент K_T уже имеет постоянную величину. В среднем случае, когда $K_T = 2,5$, увидим, что относительная работа созидания не зависит от роста (H) организмов, уклоняющихся от внутреннего подобия в сторону умеренного усовершенствования и усложнения. При его же отсутствии, когда $k = 2$, выигрывают небольшие организмы. При подобии $k = 3$, мало возможном, имеют преимущество большие организмы. Итак, в среднем и наиболее вероятном случае относительная созидательная и разрушительная работа почти не зависит от размеров существ.

21. Температура животных

Механическая энергия мускулов вырабатывается в организме из химической энергии; последняя же, вообще, сопровождается выделением тепла. Но множество и других процессов в организме сопровождаются химической деятельностью и выделением тепла. Таковы — пищеварение, дыхание, нервная деятельность, преобразование веществ.

Благодаря этому тело существа всегда имеет температуру хоть немного высшую, чем окружающая среда. Более крупные организмы даже поддерживают свою собственную самостоятельную и постоянную температуру, несмотря на окружающий холод или жар. Такие животные находятся в наиболее благоприятных условиях для успеха своей деятельности разного рода. Действительно, успешная химическая деятельность, к каковой сводятся в конце концов все процессы жизни, требует строго определенной температуры, которой и стараются достигнуть организмы высшего устройства. Напротив, уклонение от нее, в сторону понижения или повышения, влечет ослабление хода жизни, если не полное или временное прекращение

его. Тогда как организмы, не приспособленные к сохранению постоянной температуры, принуждены в некоторых случаях умирать или впадать в спячку, в апатию, в бездеятельность, — организмы высшего сорта всегда деятельны и могут, между прочим, великолепно расправиться со своими сонными соперниками. Животные с неизменной температурой могли также оставить тропические страны и вести борьбу с холодом умеренных и полярных стран и завоевать таким образом новые пространства суши для своего обитания и распространения.

Сейчас мы рассмотрим условия, которые благоприятствуют сохранению животными постоянной и самостоятельной температуры своего тела, т. е. мало зависящей, до известных пределов, от температуры окружающей среды. Обратим сначала внимание на значение линейных размеров подобно устроенных организмов на их температуру.

Мы уже разбирали, от чего зависит мощность организма. От того же зависит и количество выделяемой животным в единицу времени теплоты. Поэтому мы можем принять теплопроизводительность Q_n равной $Q_n = Q_{n1}H^k$, где Q_{n1} есть теплопроизводительность организма при его росте (H) в единицу. Этой формулой мы хотим выразить, что теплопроизводительность пропорциональна мощности организма. Разделив полное количество тепла Q_n на поверхность тела, узнаем количество тепла, получаемое единицей поверхности. Именно (см. 1):

$$Q_n : S_0 = Q_{n1} H^k : S_{01} H^2 = \frac{Q_{n1}}{Q_{n1}} H^{k-2}.$$

В среднем, наиболее возможном случае k больше 2. Следовательно, количество тепла, приходящееся в секунду на единицу наружной охлаждаемой или нагреваемой средой поверхности тела, возрастает с линейными размерами подобных хотя бы наружно существ. Если допустим, что $k = 2,5$, то количество тепла на единицу будет возрастать пропорционально квадратному корню из роста. Так, если одно существо имеет размер в 1 мм, а другое, подобное ему, в $2^{1/2}$ мм, то второе будет на каждый мм² своей наружной поверхности получать тепла в 50 раз больше, чем первое. Но потеря теплоты при охлаждении приблизительно, для небольших разностей температур, пропорциональна, по Ньютону, этой разности между температурами живого тела и окружающей среды. Отсюда видно, что повышение температуры существа, сравнительно с температурой среды, тем больше, чем размер тела значительнее. Если существо в 1 мм ростом имеет температуру на $1/2$ градуса выше среды, то существо в $2^{1/2}$ мм будет иметь температуру на 25° выше окружающей среды. Итак, маленькие существа могут иметь температуру только чуть-чуть превышающую температуру среды. Они бессильны бороться как с внешним охлаждением, так и с нагреванием их тела. Не говоря уже про воду, они даже в воздухе имеют его температуру: если холодно, то и тело их охлаждается и жизнь приостанавливается, превращается в спячку или погибает; если тепло, то и жизнь оживает, существо радуется и совершает свои жизненные функции; чересчур жарко — организм и его деятельность вянет, животное забивается в норы,

в глубину воды и там предается спячке, если не погибает в минуту слабости от соперников. 1) Колибри, величиною со шмеля, имеют самостоятельную высокую температуру. Но она поддерживается благодаря покрову из пуха и перьев, а главное, благодаря высокой температуре экваториальных стран, где живут эти пчмен птичьего царства. 2) Другие маленькие теплокровные поддерживают свою высокую температуру также и громадным пожираанием пищи, дающей теплоту.

Напротив, большие размеры тела животного дают ему возможность поддерживать высшую температуру своего тела. Но и в этом мало толку, если нет уравнивателя температуры (регулятора). Когда очень жарко, потеря тепла поверхностью тела животного должна быть большей, когда кругом холодно — потеря тепла, или охлаждение тела должно замедляться. Только тогда температура животного будет постоянна и наиболее благоприятна для развития его жизненных отправлений.

В самом деле, если разность остается постоянной, тогда при теплой погоде или нагревании тела солнцем температура существа будет чрезмерно велика и неблагоприятна для его жизненных отправлений, в противном случае — организм переохлаждается, что также не выгодно ему.

Регуляторы теплоты тела были выработаны высшими существами и чересчур известны, чтобы стоило о них распространяться. Мы только напомним о некоторых из них. Против быстрых дневных изменений температуры тела от влияния среды служат накожное и легочное испарение воды или потение: при жаре оно усиливается, при холоде — почти прекращается. Для того же служат кровеносная система, сердце и вазомоторные нервы: при внешней жаре кровь приливает к наружным покровам тела и способствует этим большей потере им тепла, кроме того деятельность всех органов и сердца замедляется, что ограничивает внутреннее образование теплоты. Напротив, при внешнем холоде эта деятельность усиливается, кровь отливает от наружных покровов и уменьшает тем потерю ими тепла. Но все имеет предел: чрезмерное охлаждение существа средой добирается понемногу и до внутренних его органов, деятельность которых от того замирает; после всего начинается охлаждение мозга, его спячка и гибель в некоторых случаях, в особенности животных, неподверженных спячке. Против годовых изменений температуры, организмы накаплиют в своем теле жир, — дурной проводник тепла, препятствующий охлаждению тела; они покрываются более густою и длинною шерстью, мало-помалу усиливают деятельность органов, в особенности органов пищеварения и дыхания, и приспособляются к пониженной температуре среды. Разумные существа прибегают еще к искусственным покровам тела, т. е. к одежде, к жилищам, и их отоплению, к более обильной пище.

Несмотря на выработку природою регуляторов, главное основание для сохранения повышенной самостоятельной температуры все-таки — значительный размер тела. На экваторе, где средняя температура немного ниже теплоты человеческого тела, нетрудно было животным поддерживать самостоятельную температуру, в холодных странах это значительно труднее и возможно только при значительных размерах тела. Водные животные,

кроме млекопитающих, не в силах были выработать постоянную температуру тела даже при значительных его размерах, так как охлаждение в воде в сотни раз сильнее, чем в воздухе. В воде самостоятельная высокая температура возможна была только при очень больших размерах существа или при особенно обильном снабжении его жиром, предохраняющем от охлаждения. Млекопитающие, выработавшие еще в воздухе собственную повышенную температуру, сумели удержать ее и при переходе в водную среду, благодаря своей значительной величине, огромному количеству жира, волосанному покрову и прожорливости.

22. Мозг и мыслительная сила

Огромное значение в борьбе за существование имеет головной мозг — вместилище идей, памяти, рассудочной способности, настойчивости, энергии и всяких целесообразных действий — в высшем смысле слова. Но сила мозга, кроме его устройства или способа комбинации нервных узлов, — зависит еще и от числа последних. Так как величина нервных узлов не пропорциональна размерам тела и не подчиняется подобию, а, приблизительно, постоянна и ни в каком случае не зависит от размеров существа, то и силу мозга или умственную его силу мы можем принять пропорциональной числу ганглий, т. е. объему головного мозга. Без сомнения, два человеческих мозга одинаковой массы и, может быть, даже одинакового числа нервных узлов, могут бесконечно разниться по своей умственной силе, так как она еще зависит от качества мозга, т. е. от способа сочетания и соединения ганглий, от их качеств, от кровеносной системы, вазомоторных нервов и т. д.; но мы подразумеваем пока качество мозга всех существ средним и постоянным. В таком случае животным как будто выгодно иметь мозг наибольших размеров. Мы видим на человеческом примере, какое значение имеет мозг среди существ.

Вот что еще побуждало естественный подбор не только улучшать строение нервного аппарата, но и увеличивать его абсолютный объем. Принимая подобие организмов, кроме, конечно, их микроскопических частей, можем написать, что в среднем умственная сила существа (ω) равна $\omega = \omega_1 H^3$, где ω_1 — есть умственная сила мозга при росте животного в единицу. Может быть, показатель три (при росте) несколько велик ввиду усложнения органа вследствие увеличения его абсолютных размеров. Основательнее принять $\omega = \omega_1 H^k$ как для энергии, где k более двух и менее трех. Но и в таком случае ясно, как важно для существа увеличение его линейного размера. Это увеличивание дает ему возможность увеличить объем, а вместе с тем и силу своего мозга. Не только в борьбе с себе подобными, но в одинаковой мере и с мертвой природой, абсолютная сила ума имеет первенствующее значение.

Есть животные, размер и масса которых несравненно больше, чем человеческие; однако нет существа, абсолютная величина мозга у которого была бы больше, чем у человека. Природа не только увеличивает до последней возможности рост существ, но и стремится относительную вели-

тину мозга сделать наибольшей. Мы ту же формулу можем написать так: $\omega = \lambda_m V_{m1} H^k$. Тут λ_m — есть качество мозга или его сила при единице его объема. Может быть, она зависит от числа нервных узлов (и обратна величине их до известной степени), их комбинации и других их свойств. Естественный подбор прежде всего улучшает качество единицы объема. V_{m1} есть вместимость мозга при росте в единицу. Это есть относительная величина головного мозга по отношению к объему тела. Эта относительная величина у некоторых животных, например у мыши, больше, чем у человека; но не от нее одной зависит сила мозга: она еще пропорциональна, для подобных организмов, кубу размеров тела. У животных огромного размера как раз величина мозга по отношению к телу (V_{m1}) так мала, что не может быть даже заглажена большими размерами существа. Итак, естественный подбор, трудясь над совершенством своих любимцев, усиливал до последней возможности три свойства мозга: его качество, относительный объем и рост животных, который позволял носить тяжелый орган души и увеличивал его абсолютную силу. Наибольшим счастливым оказался человек. Абсолютная величина и сила его нервного аппарата оказалась наибольшей. Хотя громадные животные почти сравнялись, даже, может быть, превзошли абсолютной величиной головного мозга человека, однако качество этого мозга гигантских животных осталось далеко позади человеческого. Также многие небольшие животные относительным размером (V_{m1}) мозга сравнялись и даже превзошли человека, но зато абсолютные размеры оказались много меньше, благодаря малому размеру животных.

Но что мешает сейчас повышаться относительному объему (V_{m1}) нервного аппарата у человека? Что мешает увеличиваться также и его росту? Будь человек, например, вдвое выше, объем мозга мог бы быть в 8 раз больше, а следовательно, и его сила. Но мы уже знаем, что такой великан не справился бы с тяжестью собственного тела, — он едва бы волочился и у него не оставалось бы ни малейших сил для носки грузов и других работ. Однако вполне возможно умеренное увеличение роста (H) и относительной величины (V_{m1}) органа души. И то и другое, может быть, и увеличиваются в слабой степени, но что-то мешает расти им в более значительной степени.

Возможно, что обилие идей, умственной силы, познание самого себя и своих ближних, отвлекают человека от заботы о пропитании себя и своей семьи, от целей размножения, разочаровывают, отнимают энергию, половую силу, порождают борьбу с себе подобными, с узостью окружающего, делают гения непонятым, возбуждают насмешки, даже преследования, мешающие занять хотя бы среднее место в обществе и заработать кусок хлеба для себя и семьи. Происходит, одним словом, трагедия — «Горе от ума», и человек, если не погибает лично, то не оставляет потомства. Дело сложное, не совсем ясное, но заслуживает рассмотрения и устранения причин этого печального явления.

В такой же степени это непонятно и среди низших существ... Природа имеет силу преобразования и усовершенствования, но видно величина

этой силы ограничена. Однако, когда в это дело вмешаются высшие умы человечества, то дело может пойти иным ходом. Биологи давно находят, что образование новых видов требует их изолировки и других условий. Также справедливо это и для человека при его усовершенствовании и переходе к высшему типу.

Скажем еще несколько слов о влиянии умственного развития — памяти, воображения, познания природы и логической способности — на жизнь и устойчивость родов. Животное не имеет никакого представления о смерти, у него даже не возникает мысли о разрушении тела и небытии. Оно по инстинкту бессмертно, да и есть таково, как показывает высшая мыслительная сила, дошедшая до высокой степени. Первобытный человек уже задумывается о смерти, но очень мало; воображение и память у него слабы; они не представляют ему ясно картины смерти и небытия, он не может их понять, он близок к животному, он не верит смерти, как не верит ей ребенок. Ограниченность его умственных способностей предохраняет его от страха могилы. Постоянная забота о еде, удовлетворение инстинктов, умственный сон, жизнь минутой, беззаботность, отсутствие представлений о завтрашнем дне — обеспечивают и предохраняют его от печальных идей о небытии, о разрушении. Мы говорим пока о состоянии человека, близком к животному, когда еще почти отсутствует понятие о времени.

Но вот память, воображение, рассудочная способность начинают расти вместе с объемом мозга. Сначала они направлены в пользу жизни. Их усиливает борьба за существование. Они сохраняют жизнь родов. Они заставляют думать о будущем, т. е. о завтрашнем дне, заставляют приберегать запасы пищи, изготовлять орудия, строить безопасные жилища, приручать и эксплуатировать животных, заниматься земледелием, наблюдать время, представлять будущее — его возможные явления. Это было полезно и спасительно для родов в материальном отношении. Но воображение, поднявшееся с утилитарными целями в защиту жизни, задело и самую жизнь. Оно устремилось и на посмертную жизнь. Стали возникать картины существования в темной могиле, без чувств, без впечатлений, без мысли. Они ужаснули первобытного человека с его первобытной мыслью. Он затыкал, как ребенок, уши, закрывал глаза, старался представить себе свое разрушенное тело и приходил в ужас. Множество людей и сейчас находятся в этой стадии развития. И это иногда очень умные, знающие и талантливые люди. Они так выражают свое представление о смерти: самая ужасная жизнь, в муках и неволе, лучше смерти. Или как Соломон: живой собаке лучше, чем мертвому льву. И это еще хорошо — это сравнительно высшая стадия. Ей предшествовала низшая, когда человек не мог еще отрешиться от мысли о потере сознания; тогда ужас был гораздо больше: он представлял себя в могиле чувствующим, но беспомощным...

Но сначала у человека эти мысли были в зачатке, являлись мельком, слегка его тревожили и уходили бесследно. По мере же развития памяти, воображения и способности представления отдаленного будущего, разъедающее влияние их сказывалось все сильнее и сильнее. Принося в одном направлении, в направлении устройства и сохранения жизни, огромную

пользу, они же обессиливали человека ужасом предстоящего небытия или страдания. Таким образом, развитие мозга с этой стороны было минусом в жизни — таким минусом, который мог служить причиною гибели и, следовательно, не мог вознаградить выгод воображения и предусмотрительности, выработанных естественным подбором для сохранения жизни и победы над мертвой и живой природой.

Но на помощь этому разъедающему пессимизму явилась, так называемая, вера. Сначала она была продуктом мысли, логической способности немногих избранных людей, потом извращена была их последователями и приняла форму бездоказательной веры и надежды на бессмертие, далеко не твердой. Начало проявления этой надежды на вечное существование при малых знаниях сил природы и ее явлений было очень слабым и мало обоснованным, даже ложным, — особого рода заблуждением, как полное отсутствие представления животных о их разрушении и смерти. Однако и тут оно, как у животных и младенцев, было, точно в насмешку, истинным.

Сны, иллюзии слуха, зрения, непонятные явления, которые всегда были, как и теперь, — как бы говорили о существовании жизни помимо тела.

Смерть без малейших повреждений организма также изумляла первую пробудившуюся человеческую мысль. Почему же существо не двигается, не говорит, не живет, если оно цело? И теперь-то, при развитии анатомии и микроскопии, иногда не находят ни наружных, ни внутренних повреждений у мертвого тела. Чего же можно было ждать тогда?! Возникшая мысль искала причины этого явления и нашла ее в представлении о душе, которая распоряжается телом и оживляет его. Есть она в существе — оно живо, двигается, мыслит и говорит, нет ее в теле — оно мертво. Повторяю, эта гипотеза с точки зрения современных знаний была заблуждением, однако большинство человечества и теперь еще до нее не доросло. Та же часть его, которая доросла до этой идеи, получила большое утешение. Она хоть отчасти прикрыла рану, нанесенную воображением человека, представлением об ужасах могилы, вечном молчании и бесконечном небытии. Одним, более сильным мыслию, небытие не казалось мучением, а лишь подобным крепкому сну или обморочному состоянию, с которым нет надобности считаться, так как оно было ничем, или нулем. Ужасала лишь вечная разлука с жизнью, печальное и невозвратимое прощание с ней. Другие же, более слабые умы, никак не могли себе представить полное отсутствие чувствительности, и потому мысль о могиле приводила их в отчаяние, ослабляла, влекла к болезни и чуть не к самоубийству. Этап мысли о существовании души, управляющей телом, был отраден и полезен для сохранения и продолжения жизни. Естественный подбор сначала укреплял полное отсутствие представлений о смерти, но человек попал в западню невольно: развитие ума и памяти, имевшее другое назначение, невольно — нет мысли, испорчен — неправильная мысль, сумасшествие, слабость ума, галлюцинации слуха, зрения и всех чувств. Чем меньше мозг человека или другого существа, тем ограниченнее оно. Малейшее повреждение мозга сопровождается каким-нибудь дефектом в движении тела, чувствах, инстинктах,

памяти, уме, речи и т. д. То, что приписывалось таинственной душе, принадлежит в сущности смертному мозгу, составляющему часть смертного же тела. Устройство тела такое-то, его приводит в движение мозг — головной, спинной и т. д.

Изменения в умершем животном всегда бывают, но они иногда могут быть рассмотрены только в микроскоп. Смерть — есть порча машины. Как остановка часов не может быть без полома или деформации каких-нибудь их частей, так и остановка жизни. Нет машины, которая бы перестала действовать без причины; так и человеческая машина останавливается не потому, что из нее вылетает душа, а потому, что она испортилась. Разрушено тело, разрушен мозг, и нет жизни; материя рассеивается по всей вселенной, и жизнь навеки исчезает. Где же душа, где бессмертие, говорят натуралисты? Жизнь дается однажды. Умерший! простись с ней навсегда, она не вернется, ты обречен на беспредельное небытие. Молчание могилы — твой удел!...

И в этих словах мало утешительного.

И эти мысли не дают человеку спокойно спать, работать и жить. Эта отчаянная мысль о бесконечном небытии отравляет и ученого человека хуже яда и неученого, который верит ему или сам имеет настолько сведений, чтобы верить тому же.

Неужели таково последнее слово науки, слово современного знания? Правда, философы, ученые профессора и множество мыслителей теперешних времен и древности признавали существование мысли и души, отдельной от тела, но в сущности, надо признаться, эти взгляды были основаны или на бессилии древней науки, или на одностороннем образовании и развитии современных ученых.

Мы, со своей стороны, скажем, что естественные науки на верном пути: с их выводами мы согласны, но они пропели часть своей песенки, и по началу ее нельзя судить о самом конце. Конец же очень хорош и несколько не подтверждает пессимистических выводов. Напротив, он оказывается, хотя это и странно, близок к представлению о жизни и смерти галилейского учителя.

Но тут мы умолкаем в надежде когда-нибудь высказаться на эту тему в других наших сочинениях... Возвратимся же к теме этого труда. Мы, ведь, хотели показать, что развитию разума и увеличению его объема не благоприятствуют современные условия жизни. Сейчас мы показали, что и последнее слово науки безотрадно и убивает жизнь. Также убивают жизнь всеобщий мираж о невозможности счастья, о бесцельности жизни, даже о невозможности быть полезным в силу несовершенства наших ближних, по крайней мере, главной массы человечества. Ум всюду натывается на тупики и не находит в них выхода. Потеряна и вера в высшее существо и в таинственные благодетельные силы. И все это дает разум, развитие мозга, увеличение его объема!...

Вот как мы объясняем отсутствие его дальнейшего развития... Неразвитый мозг, близкий к животному, дает преимущества: здоровье, бодрость, веселость, потомство, трудоспособность, вообще — сохранение родов.

Чрезмерное же развитие анализа — разложение жизни, гибель родов. Развитие души останавливается на известной стадии, далее это развитие становится вредным для продолжения рода.

Но, опять повторяю, — современные выводы науки верны, но не закончены. Они подобны песне, первая часть которой говорит о неудачах, несчастьях, а вторая, неизвестная современным умам, все дело поправляет — неудачи переходят в удачи, несчастье — в счастье. Если я и еще, может быть, очень немногие, знают продолжение печального начала песенки, и это продолжение оказывается очень утешительно, то каково же окончание ее, и немногим недоступное!! Ведь не может же быть никем прочтена вся книга природы от начала до конца! Вот цель бытия: читать ее как можно больше, прочитать как можно дальше. Чем больше перевертываем страниц, тем она интереснее и отраднее для всего чувствующего и мыслящего!

Возвратимся к современным тупикам мысли, которые я обещаю опровергнуть.

Давно поэты и мыслители считают счастье недостижимым. Зачем же тогда родиться, зачем хлопотать, трудиться и мучиться! Действительно, как будто они правы. Детство и молодость приятны, но какова старость, болезни и смерть. Хороши — семья, привязанности, любовь, но каковы потери близких, разочарование! Чем сильнее любовь, тем страшнее и горести от невозможности ее удовлетворения. Приятно пить, есть, но каково алкать и жажда! Если вы наслаждаетесь едой, то это только вознаграждает вас за голод. Чем он значительнее, чем более и продолжительнее мучил вас, тем приятнее и его удовлетворение. За ваш аппетит, как и за всякое ваше удовольствие, вы уже заплатили мукой. Вы иногда ее мало замечаете, потому что она растягивается на большой промежуток времени и как будто не соответствует роду ваших удовольствий, как бы независима от них. Эта предварительная мука, обуславливающая наслаждение, носит название тяжести жизни и называется то нетерпением, то аппетитом, то скукой, то тоской, то жаждой, то холодом, то голодом и т. д.

Если нет счастья, если за него строго платят мучением независимо от богатства, бедности и всяких внешних условий, то зачем же жизнь? Тем более, что и за нею, т. е. за ее пределами, ученый натуралист ничего не видит. Животное, первобытный человек, неанализирующий ум берет наслаждения, не думая о расплате. Но мыслящий, предвидящий, сознающий течение времени и ход последующих событий говорит: не надо мне радостей, если за них я должен неизбежно заплатить равным количеством мучений. И пропадает охота к жизни, опускаются руки, человек делается бессилён и сам себя убивает прежде смерти. Как же будет природа развивать мозг на собственную его гибель?! Она, напротив, окружает его иллюзиями, заблуждениями для завлечения и привязанности к жизни. Поэтому большинство современных людей не сознают правду жизни, невозможность счастья и не доходят до этого печального этапа мысли. Чаще больные, старые, измученные жалуются на жизнь более, чем она того заслуживает, не сознавая все же, что их мучение лишь расплата за радости жизни, которыми они пользовались в детстве, юности и зрелом возрасте.

Они считали их случайными и бесконтрольными дарами природы и в своих теперешних муках не считают по-прежнему платными и строго связанными с их настоящим страданием. Если же есть сознание этой связи, то они говорят: лучше бы мы не испытали счастья молодости, лишь бы не мучиться теперь.

Отсюда видно, что иллюзии, сопряженные с ограниченным количеством мозга, спасительны. Особенно подвержена этим иллюзиям молодость. Жизнь ей представляется вечным пиршеством, манит, обещает громадные радости, удерживает и привязывает к себе всячески. Несмотря на непрерывные разочарования, она все же вновь обманывает и обманывает до самого конца. Не только в старости она еще влечет к себе, но даже в болезнях и муках.

Глубокое и обширное научное развитие, требующее, между прочим, и большого объема мозга, разобьет эти иллюзии, приведет к отчаянию, к ослаблению организма, к роковому вопросу: зачем жить? К отрицательному решению его и к смерти.

Таков сейчас ближайший этап развития мысли и мозга. Он пока губителен и не вырабатывается поэтому естественным отбором. Что приходит к этому этапу, то гибнет, ослабляется и побеждается более ограниченными соперниками с низшим иллюзорным развитием мозга.

Но найдутся люди, которые перейдут и этот этап, сделают скачок и достигнут других выводов утешительных и заставляющих крепко держаться за жизнь. Но только как перенести печальный период развития мозга? Как перепрыгнуть через эту широкую пропасть? Отыщутся люди, которые это сделают, которые сумеют перенести все пессимизмы и выйти на широкую дорогу, свободную уже от них. Для этих счастливых засветит новый огонек, в который они будут твердо верить, хотя и нельзя будет ручаться, что это настоящая истина, а не новая иллюзия. Как бы то ни было, но она сыграет свою роль, чтобы удержать жизнь и способствовать новому развитию мозга.

23. Влияние среды на падение, движение, охлаждение существ, их питание и т. д.

Мы до сих пор рассматривали движение организмов и другие явления в пустоте, — по крайней мере пренебрегали влиянием воздуха или другой окружающей животных среды. Для очень малых существ этого нельзя принять в воздушной среде, а для такой плотной среды, как вода, этого совсем нельзя принять — ни для малых, ни для больших существ.

Мы, собственно, ни в каком случае не можем пренебрегать влиянием среды: так или иначе, для больших или для малых существ, для больших или для малых скоростей, при тех или других условиях, в большей или меньшей степени оно всегда сказывается. Приведем примеры. Охлаждение в эфире не зависит от поступательного движения существа или среды, а в воздухе зависит и даже в сильной степени. Для маленьких тел воздух представляется таким же густым, как вода для крупных рыб. Все тела в воздухе уменьшаются в своем весе, а в воде, большею частью, совсем его те-

ряют. Среда дает возможность полета или плавания. Не отрицает того же и пустое пространство, хотя и в совершенно иной форме. Частичные силы для малых существ проявляются в грандиозном виде и дают им иногда возможность ходить и бегать по воде, как по твердой земле.

Дальнейшее положение мы поэтому предполагаем вести в таком порядке. Охлаждение и нагревание — в эфире, в воздухе и воде. Законы сопротивления среды — в воздухе и воде. Ветер. Падение в воздухе. Самостоятельное движение в воздухе, во время бега, по земле. Летание. Явления в воде. Плавание. Молекулярные силы. Волосность.

24. Температура тел.

Температура на разных расстояниях от Солнца

Очень важно знать потерю теплоты животными и растениями и условия сохранения желаемой температуры. Мы сначала рассмотрим простейший случай, когда тела имеют черную как сажа поверхность, находятся в пустоте, т. е. в эфире, и имеют вид плоскости, одна половина которой зачернена — абсолютно черна, а другая высеребрена и абсолютно отражает все лучи, т. е. непроницаема для лучей и, значит, не выпускает тепла из самой пластинки.

Основываясь на законах Стефана и Вина, имеем:

$$T_1 : T_2 = \sqrt[4]{\Delta Q_6} : \sqrt[4]{\Delta Q_m}$$

или

$$T_1^4 : T_2^4 = \Delta Q_6 : \Delta Q_m,$$

где мы обозначили большую и меньшую абсолютную температуру одного и того же тела и потерю им тепла в единицу времени при этих разных температурах. Абсолютная, или истинная, температура равна обыкновенной по Цельсию, сложенной с 273° . Формула показывает, что потеря тепла от лучеиспускания пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела или что температура одного и того же тела пропорциональна корню четвертой степени из потерянной им в единицу времени теплоты.

Если, например, абсолютная температура тела увеличится в 2 раза, то потеря им тепла в одну секунду усилится в 16 раз, если она возрастет в 3 раза, то потеря тепла увеличится в 81 раз. Наоборот, если то же тело стало терять тепла в 256 раз больше, то это значит, что его абсолютная температура только учетверилась, если — в 16 раз, то удвоилась.

С помощью этой формулы можем решить вопрос о степени нагревания черной пластинки на разных расстояниях от солнца, предполагая, конечно, что она нормальна к его лучам. Для этого напишем:

$$T_1 : T_2 = \sqrt[4]{\Delta Q_6} : \sqrt[4]{\Delta Q_m} = \sqrt[4]{r_6^2} : \sqrt[4]{r_m^2} = \sqrt{r_6} : \sqrt{r_m},$$

где еще означено меньшее расстояние пластинки от Солнца и большее от него же. Известно, что при температурном равновесии, т. е. когда температура установилась и потеря сравнялась с приобретением тепла, эти

потери при разных расстояниях относятся как приобретения, или как r_6^2 к r_m^2 , на основании чего мы и дали нашу новую формулу. Можно воспользоваться для этих формул известными коэффициентами, но можно поступить иначе, применив формулы к частному случаю: положению нашей пластинки на расстоянии Земли и у самой поверхности Солнца. Примем его температуру в 6000°C или абсолютную температуру в 6273° ; далее, отношение $r_6 : r_m = 214$, потому что расстояние от центра Солнца до Земли в 214 раз больше радиуса Солнца, или расстояния его поверхности от центра. Теперь вычислим с помощью последних формул:

$$T_2 = T_1 \sqrt{r_m/r_6} = 6273 : \sqrt{214} = 428.$$

Следовательно, температура пластинки, по Цельсию, на расстоянии Земли, будет $428 - 273 = 155^\circ\text{C}$. Если положим вообще, что $T_2 = T_3$ и $r_m = r_3$, т. е. что первая температура и расстояние соответствуют земным, вторую же температуру и расстояние обозначим без указателя — просто T и r , то получим $T = T_3 \sqrt{r_3/r}$. Если r будет меньше r_3 , то температура пластинки будет выше, а если r больше, то T будет меньше, чем на расстоянии Земли. Так можем дать таблицу для наивысших температур на расстоянии Юпитера, Марса, Венеры и т. д. Для этого в формуле $T = 428 \sqrt{r_3/r}$ нужно последовательно класть отношение расстояний равными 0,163, 0,478, 1,38 и т. д. Вычитанием из полученных абсолютных температур 273 получим обыкновенные температуры по Цельсию.

1. Конкретный смысл этой таблицы, например, такой. Представим себе куб любой величины. Одна сторона его абсолютно черна и обращена нормально к лучам солнца; прочие 5 граней высеребрены и абсолютно непроницаемы для лучей. Тогда куб понемногу примет означенные в таблице температуры, смотря по расстоянию его от Солнца. При большой величине, массе и теплоемкости куба на это может понадобится много времени. При наклонении черной грани куба к лучам температура будет понижаться до абсолютного нуля, или 273° холода по Цельсию.

2. Какая бы малая часть грани блестящего и непроницаемого для лучей куба ни была зачернена, температура останется та же.

3. Вместо куба может быть взято тело другой любой формы или наша пластинка, которая быстро нагревается.

	Меркурий	Венера	Земля	Марс				Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
$r : r_3$	0,39	0,723	1	1,524	2	3	4	5,2	9,5	19,2	30,0
$r_3 : r$	2,56	1,38	1	0,658	0,5	0,33	0,25	0,192	0,105	0,0521	0,033
T	685	500	428	347	304	248	214	182	137	98	77
$T_{\text{ц}}$	+412	+227	+155	+74	+31	-25	-59	-85	-136	-175	-193

Определим потерю теплоты поверхностью, предполагая отсутствие Солнца и других источников теплоты, каковы Земля, Луна, звезды и т. п. хотя бы и очень малые тела.

По Ланглею, на расстоянии Земли $см^2$ поверхности в минуту получает от Солнца 3 малых калорий. Вычерненная поверхность при этом, мы видели, нагревается до 428° абс. темпер. Следовательно, она столько же и теряет в минуту. В 1 сек это составит 0,05 малых калорий. Итак, потеря теплоты квадратным сантиметром черной поверхности вообще, т. е. при другой температуре T , будет $Q_t = 0,05 (T/428)^4$.

По этой формуле можем точно вычислить потерю теплоты в одну секунду квадратным сантиметром абсолютно черной поверхности при всякой температуре по Цельсию.

Потеря в сутки будет в 86 400 раз больше, для $м^2$ еще в 100^2 раз больше, а если выразить ее в больших калориях, то она даст число в 1000 раз меньше. Тогда к последней формуле коэффициент будет 38 600. Чтобы получить вместо больших калорий то количество углерода, которое выделяет такое же число больших калорий, мы делим этот коэффициент на теплопроизводительность угля, которую принимаем в 8000. Тогда найдем, что потеря тепла выразится $4,825 (T/428)^4$ кг угля. Так, при нуле Цельсия, чтобы вознаградить потерю тепла одним $м^2$ абсолютно черной поверхности, надо сжигать в кислороде, в течение суток, почти 5 кг угля, что соответствует 10 кг муки, или 40 кг картофеля. Практическое значение этого вывода такое. Представим себе черное существо в виде шара с поверхностью в $1 м^2$. Чтобы содержать свое тело в эфире при абсолютной температуре в 428 или 155° по Цельсию, т. е. чтобы вознаградить свою потерю тепла от лучеиспускания в эфире, оно должно сжигать около 5 кг углерода, или съедать 10 кг муки, или 40 кг картофеля.

Представим себе, что тот же черный шар покрыт непроницаемыми для лучей блестящими поверхностями. Тогда потеря тепла совсем прекратится. На практике она может сильно замедлиться, как в бутылке Дьюара.

Если будет вычернена только, положим, десятая часть блестящей непроницаемой для лучей поверхности тела, то и потеря тепла уменьшится в 10 раз, т. е. она, конечно, пропорциональна величине абсолютно черной поверхности. В данном случае углерода понадобится только $1/2$ кг. Всякая замена черной поверхности поверхностью иного свойства, иного цвета уже замедлит потерю тепла. Итак, потеря тепла пропорциональна площади однородной поверхности тела и ее лучеиспускающей силе. При разнородных поверхностях потеря будет равна сумме потерь всех поверхностей тела.

По формуле видим, что потеря теплоты быстро возрастает с температурой тела и также быстро уменьшается с падением температуры. Дифференцируя формулу, найдем: $dQ_t = 4,8 \left(\frac{T}{428}\right)^3 d\frac{T}{107}$. Значит, приращение потери тепла не только пропорционально изменению температуры, но и в сильной степени зависит от величины этой самой температуры. Для приращения в 1° С приблизительно найдем увеличение потери на $1/107$ (при 155° С или 428° абсол.). При абсолютной температуре вдвое большей, т. е. в 856, это приращение потери уже возрастет в 8 раз и составит на 1° С

$1/14$ от 4,8 кг. Можем вычислить полный суточный расход угля на m^2 черной поверхности при разных температурах.

T 0	100	2000	300	400	500	600	700	800°
T_c 273	—173	—73	+27	+127	+227	+327	+427	+527
$T/428$ 0	0,003...	0,049...	0,24	0,764	1,88	3,84	7,24...	15,0
$4,8 (T/428)^4$ 0	0,0144	0,235	1,15	3,67	9,02	18,4	34,7	72,0

Значит, при экваториальной температуре тела (27°C) требуется только 1,15 кг угля, или 2,3 муки, или 9,2 кг картофеля. Конкретное выражение этого таково. Человек с абсолютно черной поверхностью (вроде негра) при поверхности в $1 m^2$ где-нибудь в междумлечном пространстве должен съедать 8 кг картофеля (20 фунтов), чтобы вознаградить свою потерю теплоты от лучеиспускания и иметь только 27°C на поверхности тела.

Замечательно, что при низких температурах животного требуется ничтожное количество топлива. Так, при абсолютной температуре его в 100° , или при 173° холода по Цельсию, нужно только $1/7$ кг углерода, или $2/7$ кг муки (менее фунта), или $8/7$ кг картофеля (3 фунта). При 50° , или при 223° холода,— еще в 17 раз меньше. Следовательно, если бы живые организмы могли существовать при низкой температуре своего тела, то они бы тратили очень малое количество пищи для сохранения теплоты тела. Но только едва ли принятый закон лучеиспускания (Стефана) строго оправдывается при очень низких или очень высоких температурах. Разумеется, иной цвет и свойства поверхности тела, его покров, одежда еще бы могли замедлить потерю тепла и суточный расход топлива или пищи. По формуле вычислим, что для сохранения температуры человеческого тела, т. е. 37°C , или 310° абсолютной температуры, надо 1,32 кг углерода в сутки, или 2,64 кг муки (около 9 фунтов хлеба), или 10,5 кг (26 фунтов) картофеля. Но не забудем, что это количество можно свести почти к нулю, если одеть существо непроницаемым для лучей блестящим покрывалом (серебрение).

Влияние пустоты на земную температуру

Теперь сделаем некоторое применение к Земле, исключая влияние соприкосновения воздуха, т. е. положим, что тело, имеющее температуру T_t , окружено со всех сторон средою, имеющею температуру T_c . Среда эта не касается тела, а находится в некотором удалении от него. Спрашивается, какое суточное количество топлива оно должно тратить при черной поверхности в 1 кв. метр? Потеря будет равна в кило углерода

$$Q_t = 4,8 \left\{ \left(\frac{T_t}{428} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{428} \right)^4 \right\} = \frac{4,8}{4,28^4} \{ (T_c + \Delta_{t.c})^4 - T_c^4 \} =$$

$$= \frac{4,8}{4,28^4} \{ 4T_c^3 \Delta_{t.c} + 6T_c^2 \Delta_{t.c}^2 + 4T_c \Delta_{t.c}^3 + \Delta_{t.c}^4 \}.$$

Тут $\Delta_{т.с}$ — есть разность температур тела (T_t) и среды (T_c). Если $\Delta_{т.с}$ будет мало в сравнении с 428, то можно ограничиться одним или двумя членами в скобках. В последнем случае получим:

$$Q_t = 4,8 \left\{ 4 \left(\frac{T_c}{428} \right)^3 \frac{\Delta_{т.с}}{428} + 6 \left(\frac{T_c}{428} \right)^2 \left(\frac{\Delta_{т.с}}{428} \right)^2 \right\} = \\ = 9,6 \left(\frac{T_c}{428} \right)^2 \frac{\Delta_{т.с}}{428} \left\{ 2 \frac{T_c}{428} + 3 \frac{\Delta_{т.с}}{428} \right\}.$$

Положим, что абсолютная температура тела будет 310° , или 37° по Цельсию. Далее, вычисляя по точной формуле, составим таблицу:

Температура среды (абсолютная)	300,	290,	280,	270,	260
То же по Цельсию	+27	+17	+7	—3	—13
Климат	Жаркий	Теплый	Умер.	Холод.	Очень хол.
Разность	10	20	30	40	50
Суточный расход угле- рода, кг	0,17	0,31	0,44	0,57	0,70
Муки	0,34	0,62	0,88	1,14	1,4
Картофеля	1,36	2,48	3,52	4,56	5,6

Значит, в тропическом климате на одно лучеиспускание идет около $\frac{1}{3}$ кг, или около фунта печеного хлеба; в климате теплом уже надо около 2 фунтов печеного хлеба, в умеренном — около 3, в холодном 4, а в очень холодном около 5. Конечно, светлая кожа и подходящая одежда, как и солнечные лучи, значительно умеряют расход пищи, но соприкосновение воздушной среды и ясное небо его увеличивают. Воздушная среда путем теплопроводимости увеличивает вычисленный расход тепла, в особенности, если она находится в быстром движении (ветер).

Большую важность имеет применение законов лучеиспускания к выбору подходящей одежды, к устройству жилищ и разных сооружений с желаемой температурой. Сначала обратимся к простейшему случаю безвоздушного, вообще пустого пространства, т. е. к случаю жизни в эфире при лучах солнца. Мы до сих пор только определяли потерю тепла при данной температуре и соответственное разное вознаграждение для сохранения постоянной температуры. Теперь примем за источник теплоты лучи Солнца, т. е. внешний источник тепла.

Температура всякого тела, организма, камеры, жилища, снаряда, горна, пластинки и т. д. зависит от количества теряемого ими тепла и количества получаемого. Чтобы получить высшую температуру, надо уменьшить до последней возможности расход тепла от лучеиспускания и увеличить в высшей степени приход тепла от сияния Солнца. Наоборот, если нужно получить минимальную температуру какого-либо тела, надо как можно сильнее увеличить расход тепла и уменьшить приход его защитой от проникновения к телу солнечных лучей.

Наглядные примеры, основанные на всем предыдущем, лучше всего уяснят сущность дела.

1) Тело имеет блестящую, идеально непроницаемую для внутренних и наружных лучей поверхность. Тогда температура внутри его, несмотря на действие или бездействие внешних лучей солнца, остается неизменной, как бы высока или низка она ни была. Если, например, будем иметь хорошо высеребренную снаружи и внутри полую сферу, то температура заключенных внутри ее тел будет очень медленно изменяться, несмотря на отсутствие или присутствие внешних лучеиспускающих источников. Мы приблизимся к идеалу, если сферу покроем еще рядом таких же концентрических блестящих, хотя бы и очень тонких, сфер, хорошо задерживающих лучистую энергию. Между концентрическими сферами должна быть пустота, внутри же центральной сферы — какие угодно тела. При свете множества блистающих близких солнц, при свете звезд, при полном его отсутствии где-нибудь между млечными путями при высокой или низкой температуре самой сферы — ее тепловое состояние может изменяться только очень медленно. Мы тут сохраняем теплоту, но и не приобретаем ее, несмотря на окружающие ее источники; все лучи их отражаются от блестящих поверхностей сфер и не проникают внутрь их, как и не выходят наружу из запаса тепла центральной сферы. Это нечто вроде шведской кухни или сосуда Дювара.

Мы можем применять такое явление, когда хотим сохранить температуру организма, снаряда, жилища, какого-либо сооружения без всякого внутреннего источника тепла, независимо от присутствия или отсутствия внешних источников лучистой энергии. Пользоваться их светом мы уже в таком случае не можем, они для нас как бы не существуют. Если тело как организм имеет внутренний источник теплоты, то температура его будет повышаться, пока от этого повышения не остановят свое действие источники внутренней энергии, например химические процессы.

2) Противоположный случай: тело покрыто идеальной черной поверхностью. Если нет кругом источников лучеиспускания, т. е. нагретых тел, то наше черное тело будет только терять теплоту и потому быстро охлаждаться до абсолютного нуля, или до 273° холода по Цельсию. То же будет и при всякой другой поверхности, хоть сколько-нибудь проницаемой для лучей; только время полного охлаждения тогда замедлится. Вообще, время охлаждения зависит от степени — или температуры желаемого охлаждения, от массы тела, от его теплоемкости, от величины наружной поверхности, от ее формы и лучеиспускающей способности. На практике все поверхности, как бы они блестящи ни были, обладают хоть в малой степени лучеиспускающей силой. Поэтому все тела, рано или поздно, при отсутствии внутреннего или внешнего источника энергии, охлаждаются до абсолютного нуля. Защита от лучеиспускания рядом блестящих слоев только замедляет процесс охлаждения, но не может его совсем остановить.

3) Теперь положим, что мы имеем внешний источник тепла в виде Солнца. Тогда охлаждение замедлится и остановится на определенной температуре. Она зависит от силы лучеиспускания внешнего источника, от величины лучеиспускающей способности поверхности тела, от формы, величины и устройства этой поверхности.

Мы видели, что при черной пластинке, обращенной нормально к лучам Солнца, на расстоянии Земли температура нагревания составит 155°C (428 абс.), если задняя блестящая сторона не теряет совсем тепла.

4) То же будет, когда тело будет иметь вид куба какой угодно массы, величины, теплоемкости и внутреннего устройства, если одна только его сторона, обращенная нормально к солнечным лучам, будет идеально черной, а прочие — идеально непроницаемыми для лучей.

5) То же справедливо и для тела любой поверхности, непроницаемой для лучей, кроме черной площадки любой величины и контура, обращенной нормально к лучам Солнца. В самом деле, положим, что черная площадка увеличилась в 100 раз. Тогда приход тепла увеличится во столько же раз; но одновременно во столько же раз увеличится и потеря тепла через лучеиспускание этой самой черной площадки, так что тепловое равновесие не нарушится. Принимать же в расчет непроницаемые блестящие части поверхности, как бы велики они ни были, мы не можем. То же будет и при уменьшении черной площадки. Кажется, поэтому, что невозможно получить температуру выше 155°C в каком-либо помещении действием солнца. Но зато легко получить низшую, вплоть до абсолютного нуля, стоит только поворачивать наше тело, чтобы наклон лучей к черной площадке уменьшился. По мере уменьшения этого угла температура будет понижаться и дойдет до 273° холода, когда этот угол обратится в нуль, т. е. лучи Солнца будут только скользить вдоль черной площади. То же будет при всяком положении ее, лишь бы лучи теплового источника на нее не падали.

Так мы обеспечиваем организмам, всяким телам, жилищам и сооружениям любую температуру от абсолютного нуля (-273°C) до 428° , или 155°C . Надо только обставить или «одеть» тело рядом блестящих пластинок, мало проницаемых для лучей, и оставить черную площадку, поглощающую лучи Солнца.

6) Для растений и животных нужны не только тепло, но и свет и газовая атмосфера подходящего состава. Так что необходимо закрытое помещение, удерживающее газы и пропускающее свет. Вообразим цилиндр или усеченный конус, закрытый двумя полусферами. Вся поверхность его непроницаема для лучей, кроме одной полусферы, прозрачной стеклянной, обращенной нормально к лучам Солнца. Для получения наивысшей температуры и лучшего химического действия лучей в растениях нужно, чтобы прозрачная полусфера как можно лучше пропускала лучи Солнца и как можно меньше их выпускала обратно из конуса или цилиндра. Для этого надо, чтобы лучи внутри конуса падали на поглощающие темные или зеленые поверхности. Превратившись в лучи тепловые малой преломляемости и большой длины, они должны задерживаться внутри тою же стеклянной полусферой. Таким условиям в некоторой степени удовлетворяет простое стекло. Кварцевое хорошо пропускает лучи химические высокой преломляемости (ультрафиолетовые), но зато меньше задерживает и тепловые (инфракрасные) малой преломляемости с длинной волной. Ни для животных, ни для растений не нужна очень высокая температура.

Напротив, высокая температура, как и очень низкая, убивает все живое. Каждое животное, каждое растение требует для своего наиболее успешного развития совершенно определенной температуры. Поэтому важнее всего устроить так, чтобы растения получали наиболее нужные для них лучи светила. Кварцевые стекла наиболее подходят пока для этой цели. Они же и крепче, в особенности когда в них выплавлена прочная стальная решетка или сетка. Нужно искать и другие составы стекол для растений, еще более для них выгодные. Впрочем, для каждого растения — свое стекло и своя температура.

7) Для технических целей (мы ставим дело очень широко, предполагая возможность существования растений и животных не только на планетах, но и между ними, в свободном эфирном пространстве) важно иметь высокую температуру без большого расхода солнечных лучей. Конечно, с помощью параболических зеркал или прозрачных сферических стекол можно получить любую высокую температуру, вплоть до температуры Солнца. Но это не достаточно экономное средство, хотя оно дает очаг любой величины и любой температуры. Вот средство более экономное. Надо впустить в камеру много света через небольшое отверстие. Тогда мы получим много энергии, между тем как потеря тепла ограничится этим небольшим отверстием. Но как же ухитриться впустить много света через малое отверстие? Представим себе куб, закрытый со всех сторон непроницаемыми для лучей поверхностями, с небольшим отверстием на середине одной из блестящих его граней, обращенной нормально к лучам светила. Перед кубом на солнечной стороне укрепим к нему собирающее сферическое стекло так, чтобы фокус его лучей пришелся в отверстие грани. Отсюда будет расходиться пучок лучей, который осветит поверхность противоположной стороны куба или находящиеся там растения и предметы так же обильно, как если бы вся сторона куба была открыта. Таким образом, мы получим много света и энергии через крохотное отверстие. Приход тепла будет велик, расход же ничтожен. Поэтому температура внутри куба будет повышаться, пока расход не сравняется с приходом. Получим температуру много выше 155°C . Для растений в этом нет надобности, но для других целей, где нужна высокая температура при ничтожном расходе лучистой энергии, это весьма хороший способ. Куб может быть перегороден пополам, нормально к лучам, черной перегородкой. Она и будет воспринимать лучи. Теплота их будет нагревать заднее отделение куба, где могут поместиться и тела, подлежащие нагреванию. Стеклоянная чечевица может быть заменена параболическими зеркалами. Именно, передняя грань куба может иметь форму параболического зеркала. Отраженные лучи встречают другое небольшое зеркало, отражаясь от которого, дают фокус лучей в отверстии куба. Прием, состоящий из пропуска в малое отверстие камеры большого количества лучистой энергии, может быть с успехом применен для получения достаточной температуры для растений и животных в удаленных от Солнца пространствах солнечной системы, где, например, находятся Юпитер и Сатурн. Растения могут довольствоваться тамошней слабой солнечной энергией, но они не могут жить при свойственной тем ме-

стам очень низкой температуре. Температура и повышается в камерах описанным способом.

Также возможно применение этого способа к умеренным широтам Земли, для получения более высоких температур внутри оранжерей и жилищ, по крайней мере там, где есть обилие ясных дней. В теплых или жарких пустынях, при избытке солнца, можно тем же пользоваться с технической или кулинарной целью, когда нужно получить высокую температуру для печенья, варева или обработки какого-либо материала.

В обоих случаях надо как можно лучше предохранить камеру от охлаждающего влияния воздуха, вследствие его теплопроводности и движения. Было бы довольно нескольких слоев блестящих поверхностей с пустотой между ними; но безвоздушное пространство нелегко получить в атмосфере, особенно для больших помещений; а потому его нужно заменить мало проводящими тепло порошками, войлоком или чем-нибудь подобным. Можно также употребить несколько слоев блестящих покровов с воздухом между ними.

Когда получаем высокую температуру в эфирной пустоте, то отверстие, конечно, должно быть заделано прозрачной пластинкой, если нужно удерживать в камере газы или пары. Однако можно обойтись и без этого, т. е. без стекла, закрывающего отверстие, если перегородить внутри камеру непроницаемой черной перегородкой, как описано. За ней уже могут находиться и газы.

25. Давление ветра на организм

Определим давление ветра на организм. Известно, что давление равномерного потока жидкости или газа приблизительно выражается формулой $p_c = 0,5C_x dF_n v^2$, которая показывает, что это давление пропорционально коэффициенту сопротивления (C_x), зависящему от формы тела, площади (F_n) проекции тела на плоскость, нормальную к направлению потока, плотности жидкости (d) или газа и квадрату скорости потока. Формула относится к абсолютным единицам. Для плоскости коэффициент C_x немного более единицы и по исследованиям Кальсте и Колорда близок к 1,2. Эти опыты заслуживают наибольшего внимания, так как производились с пластинкой, движущейся прямолинейно, а не по кругу, как у других ученых, которые доводят этот коэффициент до двух (2). Для цилиндрических поверхностей, к которым часто близки по форме члены организма, C_x меньше в два раза, если высота цилиндра такая же, как диаметр; при большой же длине, превышающей ширину в 5—10 раз, в 1,5 раза меньше.

В предыдущей формуле для подобных существ можно положить: $F_n = F_{n1} H^2$, где F_{n1} — есть площадь проекции при росте существа в одну единицу длины. Выключая F_n , найдем: $p_c = 0,5C_x d F_{n1} H^2 v^2$. Это давление можно сравнивать с весом тела, с крепостью его органов и с силой мускулов. Сравним сначала с весом организма. Мы уже знаем, что $G = g V_{o1} \rho H^3$. Значит $p_c : G = (C_x d F_{n1} H^2 v^2) : (2g V_{o1} \rho H)$. Отсюда видно, что давление текущей жидкости или ветра по отношению к тяжести тела обратно про-

порционально размеру организма, т. е. чем меньше существо, тем давление на него ветра или течения составляет большую часть его тяжести. При достаточно малых размерах не только течение воды, но и ветер сносит животное, несмотря на трение между ним и почвою, происходящее от тяжести существа. Из формулы также видно, что относительное давление потока пропорционально плотности среды и квадрату его скорости. Оно же обратно пропорционально плотности организма и силе тяжести планеты.

Отвесный поток, например восходящий, определенной скорости, который почти незаметен для человека, подымает вверх существо, подобное ему, но достаточно маленькое.

Если нет потока и среда неподвижна, но животное бежит в ней, то оно испытывает сопротивление среды, или давление ее на свое тело, согласное последним формулам, где означает уже не скорость среды, а скорость бегающего существа. Относительная величина этого давления, незаметная для крупных существ, становится для мелких животных тем значительнее, чем они меньше по линейным размерам. Например, воздух для человека кажется редким и незначительным, между тем как для малых существ он кажется тем гуще, чем они сами меньше. Для воображаемого лилипута (2 мм) ростом в 800 раз меньше нормального человека, атмосфера так же густа, как вода для человека; а для микроскопических существ она гораздо гуще, чем вода для рыб.

Те же формулы пригодны для определения наибольшей постоянной скорости падения тел в какой-либо среде. При падении тела от его тяжести скорость становится постоянной, когда вес тела равняется давлению на него среды, т. е. когда $p_c : G = 1$. Из этого условия и последних формул получим:

$$v = \sqrt{2gV_{01}\rho H : C_x dF_{\text{пл}}}.$$

Следовательно, скорость падения тем меньше, чем меньше падающее существо, а именно: она прямо пропорциональна квадратному корню из его размеров. Так, если размер организма при соблюдении подобия и позы падения уменьшается в 100 раз, то скорость падения ослабляется в 10 раз. Могут быть размеры столь малые, что падение таких существ с любой высоты становится совершенно безопасным. Таковы насекомые и еще меньшие существа. Небольшие зверьки гораздо безопаснее при падении в воздухе, чем человек или крупные животные.

Мы видели (11), что высота наибольшего безопасного падения в пустоте не зависит от размера подобно изменяющегося организма, а стало быть и скорость этого падения. Если же эту критическую постоянную скорость обозначим через v_k , то из последней формулы найдем:

$$H = C_x dF_{\text{пл}} v_k^2 : 2gV_{01}\rho.$$

Это значит, что мы всегда можем подыскать такой размер организма, при котором его падение в среде будет совершенно безопасно, несмотря на угрожающие условия. Нужно только, чтобы этот размер был тем меньше, чем

больше сила тяжести планеты, чем больше плотность организма, чем меньше плотность среды и меньше коэффициент сопротивления тела.

Если даже организм нежно, непрочно устроен и критическая (безопасная) скорость его (v_k) от этого чересчур мала, то мы все же можем достигнуть равномерного падения в атмосфере именно с этой малою скоростью, уменьшая достаточно размер организма. Действительно, из формулы видно, что размер H прямо пропорционален квадрату скорости v_k , т. е. если скорость в 4 раза меньше, то размер существа при условии безопасного падения (или безопасной скорости удара) будет в 16 раз меньше.

Мы нашли сопротивление среды по отношению к тяжести существа и силе сцепления его с почвой в силу трения, зависящего от тяжести и пропорционального ей. Теперь сравним то же сопротивление с крепостью членов животного, — его костей, пальцев, мускулов и других удерживающих на месте органов животного. Обратимся для этого к формулам сопротивления разрыву членов и мускульного напряжения (3). Имеем $R_p = \sigma_z F_{01} H^2 : K$. Отношение абсолютного давления среды (25) к сопротивлению члена разрыву (R_p) будет:

$$p_c : R_p = 0,5 C_x dF_{п1} v^2 K : \sigma_z F_{01}.$$

Значит относительное сопротивление среды по сравнению с цепкостью и крепостью членов не зависит от размеров подобно изменяющегося организма. В этом отношении все размеры равны при условии подобия. Если, например, большое существо не может быть отцеплено и сорвано бурей с дерева, то и самое маленькое — также.

Такие результаты получим и при сравнении сопротивления среды с силою мускулов или с силою членов (3). Найдем:

$$p_c : P = 0,5 C_x dF_{п1} v^2 (1/\eta) : \sigma_m F_{01}.$$

И тут все существа независимо от их размеров при подобии в устройстве вооружены одинаково. Если, например, большое животное может бежать против сильного ветра, то точно также и маленькое, подобной формы. Но так как организмы в силу других условий уклоняются от подобия и малые имеют сравнительно тонкие органы движения и цепкости, то такие труднее выдерживают давление ветра, чем большие. Зато меньшие ближе к почве, где скорость движения среды гораздо меньше.

Теперь сравним работу, потребную для движения с известною скоростью в среде, — с абсолютною мощностью животного (см. 4).

Работа эта не только пропорциональна давлению среды на животное, но и скорости его бега. Предполагаем для простоты неподвижность атмосферы. Итак, на основании сказанного — мощность, или секундная работа одоления сопротивления среды, выразится:

$$p_c v = 0,5 C_x dF_{п1} H^2 v^3.$$

По отношению к мощности организма (4), она будет:

$$p_c v : N_0 = 0,5 C_x dF_{п1} v^3 : H^{k-2}.$$

Значит, относительная работа пропорциональна кубу скорости движения, плотности среды и зависит от размеров организма (H). Так как k в среднем составляет около 2,5, то относительная работа сопротивления будет уменьшаться с увеличением размеров организма пропорционально $\sqrt[3]{H}$, т. е. квадратному корню из линейных размеров животного. Если, например, его рост увеличился в 100 раз, то сравнительная работа его движения уменьшится в 10 раз. Экономия весьма существенная. Наоборот, если подобно изменяющийся зверь уменьшился в своих размерах в 9 раз, то относительная работа рассеяния им воздуха увеличится в 3 раза. Мы видим тут некоторое преимущество крупных существ в сравнении с мелкими. Но в воздухе это ярко обнаруживается только при резкой разнице в размерах и более для существ малых, чем для больших, так как лишь для них сопротивление воздушной среды играет заметную роль в общем расходе сил. В плотной же среде, как вода, и крупные существа в полной мере чувствуют преимущество в увеличении роста и массивности. Конечно, на сопротивление среды при беге тратится только часть присущей животному мощности. Приравняем часть этой мощности работе рассеяния атмосферы.

Получим:

$$N_1 H^k K_M = 0,5 C_x d F_{\Pi 1} H^2 v^3,$$

откуда найдем:

$$v = \sqrt[3]{K_M N_1 H^{k-2} : 0,5 C_x d F_{\Pi 1}}.$$

Отсюда видим, что при одной и той же относительной трате мощности скорость движения в среде зависит от размеров существа и она тем больше, чем существо крупнее. Тут, например, ясно видно преимущество крупных рыб перед малыми подобного же устройства; крупные не только успешнее истребляют малых, благодаря абсолютной силе мускулов, но и легче их достигают. Однако это преимущество очень медленно растет с размерами животного, а именно: предполагая, что $k = 2,5$, найдем, что скорость движения будет пропорциональна корню шестой степени из увеличения размеров тела. Так, если размер увеличится в 64 раза, то скорость увеличится только в 2 раза. Гораздо большее значение имеют C_x (зависящий от формы тела, его размеров и коэффициента трения) и плотность среды (d).

С увеличением размеров тела сильно уменьшается коэффициент сопротивления (C_x), так что крупные существа в воде много выигрывают в скорости благодаря своим размерам.

26. Энергия существа по отношению к трению и восхождению его

Мощность можно еще сравнить с трением при движении по горизонтальной поверхности и со скоростью вертикального поднятия по лестнице или горе. Пренебрегаем сопротивлением воздуха, что можно принять для ограниченной скорости существ значительной величины в воздушной среде.

Величина трения мало зависит от скорости движения: она даже при начале движения и при малой скорости больше, чем при значительной. Обозначим силу трения коэффициентом трения μ , который показывает, какую часть тяжести всего тела нужно употребить как горизонтальную силу, достаточную для равномерного движения тела на горизонтальной же плоскости.

Трение бывает разного рода, сообразно чему и величина его коэффициента. Оно облегчается тонкими осями, большими колесами, длинными членами; оно соединяется с трением при катании, очень незначительным. В общем величина коэффициента изменяется примерно от одной тысячной до $1/3$ и более. Работа трения в единицу времени выразится так (см. 2):

$$A_{\text{т}} = \mu G v = \mu v g V_{01} \rho H^3.$$

Сравнивая эту работу с мощностью (4) существа, получим

$$A_{\text{т}} : N_0 = \mu v g V_{01} \rho H^{3-k} : K_{\text{мр}} N_1.$$

Здесь $K_{\text{м.р}}$ — означает определенную часть мускулов, идущих на движение. Отсюда видим, что относительная работа трения на горизонтальной плоскости в безвоздушном пространстве пропорциональна силе тяжести планеты, скорости движения, совершенству движущегося механизма (μ) и зависит от размеров тела, именно она (предполагая $k = 2,5$) увеличивается с размерами тела животного пропорционально квадратному корню из увеличения этих размеров. Так что, если подобно изменяющееся существо увеличило свой рост в 25 раз, то относительная работа трения возрастет в 5 раз. Наоборот, если рост животного уменьшился в 100 раз, то работа трения при той же скорости движения сравнительно уменьшится в 10 раз. Тут мы видим преимущество малых существ.

Ту же формулу можно применить и к вертикальному поднятию (по лестнице, например) организма. Тогда надо только принять коэффициент трения μ равным единице. Также применима наша формула и к движению по наклонной плоскости или по горе. Тогда коэффициент трения останется меньше единицы. Выводы сделаем те же: преимущества будут у существ малых. Так, например, преследование их будет затруднительно для их больших пожирателей, если, конечно, принять в расчет одно трение или движение по горе.

Если вся определенная часть ($K_{\text{м.р}}$) мощности организма идет на работу движения, то получим (воздух и вода исключаются):

$$g V_{01} S_0 H^3 \mu v = K_{\text{м}} N_1 H^k,$$

откуда

$$v = K_{\text{м}} N_1 : \mu g V_{01} S_0 H^{3-k}.$$

Отсюда ясно, что скорость поднятия, а также горизонтального или наклонного движения у малых существ значительнее, чем у больших. Она еще увеличивается с уменьшением тяготения (g).

27. Общий вывод о трате работы на перемещение

Итак, организм тратит работу на трение, восхождение, рас-
сечение среды и колебательное движение членов. Относительный
расход мощности на преодоление трения или тяжести выражается (см. 26):
 $A_T : N_0 = \mu g V_{01} \rho H^{3-h} : K_{\text{мр}} N_1$.

В среднем, наиболее вероятном случае $H = 2,5$. Значит, относительный
расход на преодоление тяжести или трения при одной и той же скорости пря-
мо пропорционален квадратному корню из размеров организма. Для боль-
ших животных он больше, чем для малых. Последние имеют преимущество
тем большее, чем они меньше. Напротив, большие организмы должны тер-
петь от тяжести. При значительных размерах рост их должен остановиться,
иначе наличная мощность не справится с трением и тяжестью или скорость
поступательного движения будет замедляться с размерами существа.
И наоборот, малые организмы, расходуя ту же энергию, будут двигаться
быстрее больших. Так было бы в безвоздушном пространстве или для зна-
чительных размеров животных, когда сопротивлением воздуха можно пре-
небречь. Только особое усовершенствование органов пищеварения, дыха-
ния, движения, соображения и т. д., а также возрастание абсолютной мощи
мускулов и органов разрушения, позволило крупным животным конкури-
ровать с меньшими и побеждать их.

Теперь обратимся к сопротивлению атмосферы. Относительный расход
на преодоление этого препятствия выражается формулой (см. 25):
 $p_{cv} : N_0 = 0,5 C_x F_{\text{пл}} v^3 : H^{h-2}$. Значит, при одной и той же скорости этот рас-
ход уменьшается с увеличением размеров существ и, наоборот, увеличи-
вается с уменьшением. Ввиду малой плотности воздуха он вообще мал для
больших животных, каковы наземные позвоночные, и тут он не имеет боль-
шого значения в экономии расхода мускульных сил. Напротив, для очень
малых существ он много значит. Если принять в среднем для мощности
животных $H = 2,5$, то расход энергии на сопротивление среды будет обрат-
но пропорционален квадратному корню из линейного размера существ. Так
что для очень малого их роста он окажется громадным, и тем больше, чем
размер их меньше. Это обстоятельство побуждало природу на первых по-
рах, когда организмы были еще чересчур микроскопичны, быстро увели-
чивать их рост и тем давать им большую скорость движения. Но это долж-
но было скоро прекратиться, так как для порядочных размеров сопротив-
ление воздуха оказывалось незначительным. Еще остается расход на коле-
бательное движение членов или органов перемещения. Мы видели (14),
что он один и тот же при определенной скорости движения. Так что рост
тут не причем. Но все же этот расход может быть очень сокращен при при-
менении упругости тел. Маятник, качающийся силою тяжести или упру-
гостью пружины, требует очень незначительного расхода энергии для под-
держания своих качаний. Напротив, они бы потребовали очень много ра-
боты, если бы маятник пришлось качать в среде без тяжести или без
применения упругих тел: надо такой маятник привести в движение, потом
остановить, потом опять привести в движение и т. д. до бесконечности.

В первом случае это проделывает сила тяжести или упругости пружины, во втором, например, наша непрерывно работающая рука. В первом — колебательное движение маятника или другого тела могло бы продолжаться вечно, если бы пружина была совершенна; но так как таковых нет, то приходится употреблять незначительный расход сил для уравнивания этого дефекта пружин. Не мог ли бы также быть устроен орган движения животного? У высших животных он не устроен так — это очевидно, но у низших и малых, ввиду более тонких ног, легкой борьбы с тяжестью, оно могло бы быть. Все же у нас еще нет никаких оснований утверждать это. Тогда бы малые существа еще получили преимущества, которые сэкономили бы им расход энергии или увеличили скорость их поступательного движения.

Я думаю, очень медленно, миллионы лет шел прогресс роста животных параллельно с их усовершенствованием, которое уравнивало скорость их поступательного движения с малыми их собратьями, а может быть и превышало ее.

Мы предполагали абсолютную ровность пути для всех существ. Но относительная ровность, от которой в громадной степени зависит скорость передвижения по суше, совсем не одинакова для больших и малых животных. Именно для больших — относительная ровность пути несравненно больше, а расход на одоление ее меньше или скорость больше при том же расходе мощности. В самом деле, что значит для оленя высокая густая трава или рыхлый снег? Между тем, для насекомого не летающего она представляет неодолимое препятствие (даже густой мох). В рыхлом снегу тонут ноги зайца или других мелких позвоночных и млекопитающих, тогда как у лошади или быка погружаются одни копыта. Камни, песок, бугорки, помимо трав, более останавливают и затрудняют мелюзгу, чем крупных животных. Вот еще громадные преимущества размеров, помимо развития ума, хитрости, абсолютной силы мускулов и органов разрушения: превосходство будет даже и в скорости поступательного движения.

Итак, вот это обстоятельство — сравнительная ровность пути, громадная для больших животных, дает несомненное преимущество в скорости движения крупных существ. Для них не представят большого препятствия также мелкие воды, лужи, сырость, дожди, грязь и т. п. Мелкие существа, каковы насекомые, изловчились приобрести крылья: это облегчило им путь, сделало мало недоступными для нелетающих существ, но не спасло от пагубного влияния дождей и ветра. Потом изощрились и позвоночные: передние конечности преобразовать в крылья. Так они нашли способ борьбы с мелюзгой. Тут уже величина имела огромное преимущество, так как давало усиленную скорость. Размер же насекомых не мог расти, в силу их наружного твердого покрова и других дефектов организации.

28. Потеря веса в среде.

Влияние потери на явления и на рост существа

До сих пор мы не упоминали, что существа в среде не только испытывают затруднение в своем движении, но и облегчение, так как теряют часть своего веса, а иногда и весь свой вес и даже приобретают обратный, т. е.

подымаются кверху и ходят по потолку вниз головой. Это уменьшение веса облегчает борьбу существа с тяжестью. Не только оно само становится легче, но и все перемещаемые им грузы.

Вес организма в среде, как и всякого мертвого тела, будет

$$G_{\text{в с}} = G - G_{\text{с}} = gV_{01}\rho H^3 - gV_{01}dH^3 = gV_{01}(\rho - d)H^3.$$

Из веса существа мы вычитаем вес такого же объема среды. Для воздуха можно пренебречь плотностью среды, так как она составляет около одной восьмисотой средней плотности организма. Для воды — обе плотности почти одинаковы, так что водные существа теряют всю свою тяжесть в реках и океанах. Сильно соленая вода, как, например, в Мертвом море, дает ей перевес и существа получают обратную весомость, как и во всех других жидкостях, которые плотнее средней плотности организма. Впрочем, Мертвое море очень бедно жизнью.

Из формулы мы видим, что в отношении борьбы с тяжестью, т. е. ходьбы, поднятия грузов, несения своего тела, прыжков и т. д., организмы и в жидкостях подчиняются тем же законам, как и помещенные в пустоту, только надо ввести поправочный коэффициент к силе тяжести, которая как бы сокращается. Этот коэффициент равен $(\rho - d)/\rho = 1 - d/\rho$. Для воздуха он близок к единице, а для воды — к нулю. В последнем случае все выведенные ранее законы о борьбе с тяжестью устраняются. Тело как бы совсем теряет тяжесть и борьба с ней прекращается: организм может поднять какие угодно громадные грузы, может иметь любые громадные размеры и члены; каждый толчок, если бы не могучее сопротивление среды, уносил бы существо вверх, вниз — куда ему угодно; движение это никогда бы не прекращалось и было бы вечно, равномерно и прямолинейно. Однако на деле всякая попытка приобретения движения в жидкости кончается быстрым его затуханием, и тело скоро останавливается, несмотря ни на какую скорость, приобретенную им в начале движения порывистым усилием мускулов. Это усилие должно быть непрерывным, чтобы получить непрерывное движение. Так что, хотя, с одной стороны, тело в плотной жидкости и теряет свой вес, но с другой, — встречает в плотной среде врага, который сильно тормозит всякую попытку существа к быстрому движению. Зато среда такой же плотности, как и живущие в ней существа, не препятствует неограниченному развитию их линейных размеров. Как увидим, животные даже выигрывают от этого, не говоря уже про возможность увеличения мозга и вместе с тем умственной силы. По-видимому, печальна картина эволюции организма, находящегося в пустоте, или живущего в такой мало плотной среде как атмосфера. По мере увеличения линейных размеров подобно изменяющегося существа оно все более и более теряет способность поднятия грузов. Далее эта способность совсем исчезает. Тогда оно уже не выносит веса собственного тела. Гигант падает, но еще сохраняет достаточно силы, чтобы шевелить руками и двигать пальцами. При дальнейшем увеличении массы и эта способность пропадает, и великан умирает от разрушения своих органов их весом. Совершенно застрахованы от подобной гибели животные, обитающие в море. Но и там,

как видно из биологии, есть какие-то препятствия развитию линейных размеров. Хотя они и больше, чем у существ сухопутных, но все же имеют довольно тесные границы. Напротив, с уменьшением размеров существа, его средства в борьбе с тяжестью как бы растут непрерывно: он подымает все большие сравнительные грузы, он прыгает все выше и дальше, живость движений его растет и т. д. Становится понятной живость карликов.

29. Перемещение в среде при полной потере веса. Водные существа

Итак, в воде борьба с тяжестью отпадает. Остается сопротивление среды. Это большой враг не только для водных существ, но и для живущих в атмосфере, если дело касается приобретения больших скоростей, необходимых человеку. Действительно, мы получили формулу:

$$v = \sqrt[3]{K_m N_1 H^{k-2} : 0,5 C_x d F_{n1}},$$

которая сильно ограничивает скорость поступательного движения организма. Эта скорость не зависит от силы тяжести, как в среде, свободной от нее. Отсюда практический вывод: когда тяжесть очень велика, так что борьба с ней невыносима, особенно при сложности и большой величине животного, то выгоднее всего устранить ее, окружая существо средою такой же плотности, как оно само. По формуле видно, что скорость увеличивается с размерами животных и дает им преимущества быстроты. Коэффициент сопротивления (C_x) среды для мелких животных не может быть мал, потому что трение для малых размеров существа и малой его скорости тем значительнее, чем размеры и скорости меньше. Для них преобладающее влияние получает величина трения: сопротивление от инерции среды становится сравнительно незначительным, так что хорошая рыбообразная форма тела теряет свое значение. Поэтому существа малых размеров часто шарообразны или имеют самую разнообразную и как бы дурную форму в отношении рассеечения ими жидкой среды. Но природа редко ошибается: им плавная кораблеподобная форма и не нужна. С другой стороны — водные существа вырабатывают лучшие органы плавания и покрываются слизью, уменьшающей трение и сопротивление среды, что особенно важно для малых размеров и удлиненных тел. В последней формуле мы должны сделать поправку: формула пригодна, когда водное существо при своем движении имеет твердую опору, т. е. когда оно передвигается по дну водного бассейна, опираясь или цепляясь за него когтями, присосками или другими приспособлениями. Свободно движущиеся, или плавающие животные часть работы тратят напрасно благодаря зыбучести водной стихии, на которую они опираются своими плавниками или хвостом. В формулу нужно ввести коэффициент, меньший единицы и зависящий от совершенства плавательных органов. Чем они лучше, тем коэффициент будет ближе к единице, никогда, однако, ее не достигая. Но лучше ввести эту поправку

в формулу относительной мощности существа, необходимой для получения в среде желаемой скорости. Получим:

$$p_c v K_{\Pi} : N_0 = 0,5 C_x K_{\Pi} d F_{\Pi} v^2 : H^{k-2},$$

где в первое произведение из давления среды и скорости движения мы вставляем поправочный множитель K_{Π} , зависящий от степени совершенства пропеллеров, т. е. плавательных органов животного. Тут он больше единицы и тем далее уходит от нее, чем несовершеннее органы плавания. В недостижимом идеале он приравнивается к единице.

Из формулы мы видим, как быстро растет работа с увеличением скорости движения. Так, если скорость увеличится в 3 раза, то работа возрастет в 27 раз. Если скорость будет в 10 раз больше, то работа в 1000 раз. Мы видим также, что она пропорциональна плотности среды. А так как она равна приблизительно плотности водных животных, то раз в 800 больше плотности воздуха. Во столько же раз больше и работа движения водных животных сравнительно с сухопутными, считая только одно сопротивление атмосферы. Эта относительная работа уменьшается с увеличением роста существ и сопряженного с ним уменьшения коэффициента сопротивления рыбообразного тела (C_x). Для водных существ почти вся их мощность (N_0) может идти на работу рассеивания им среды, между тем как у сухопутных только часть ее может тратиться на это дело, а другая идет на борьбу с тяжестью и трением, зависящим от нее.

Если положить $k = 2,5$, то относительная трата мощности на рассеивание среды будет пропорциональна квадратному корню из линейных размеров (\sqrt{H}). Так, при увеличении линейных размеров в 100 раз относительная работа уменьшается в 10 раз. Но она еще сильно падает от уменьшения коэффициента сопротивления (C_x) среды.

30. Летающие существа. Крылья. Их относительная масса

Многие абсолютные величины для организмов всех размеров приблизительно одинаковы. Но относительные величины оказались часто тем больше, чем организм меньше. Так, чем меньше существо, тем борьба его с тяжестью победоноснее. Маленькие животные прыгают на громадную высоту, поднимают сравнительно огромные грузы. Относительная сила их мускулов чрезвычайна. Тяжесть для этих лилипутов существует тем меньше, чем сами они незначительнее по размерам. Напротив, атмосфера для них тем гуще, чем они меньше; также и сопротивление ее при их движении. Однако относительная сила мускулов, возрастающая по мере уменьшения их роста, вполне соответствует сравнительно усилившемуся сопротивлению среды. Повторяем, чем меньше рост тела, тем более ступеневывается сила тяжести. В пределе, для микроскопических существ, можно сказать, что она для них не существует. Но даже и для насекомых она настолько мала, воздух же представляет такую солидную опору, что шаги их превращаются в громадные прыжки, а прыжки — в полет. Для этого доволь-

но, как показывают вычисления, самых незначительных площадей крыльев и ничтожной затраты энергии. Как видно, малые организмы в отношении к тяжести как бы приравниваются к водным животным всех размеров. Даже и формы тех и других в некоторых случаях сближаются.

Итак, обратимся сначала к крыльям, а потом к полету. Вообразим для простоты крылья в виде прямоугольных пластинок постоянной толщины. На том основании, что статический момент сопротивления излому крыла равен статическому моменту давления на крыло воздуха, которое при правильном полете равно половине веса организма (пренебрегая весом крыльев), составим уравнение:

$$b \left(\frac{c}{2} \right)^2 \frac{1}{3} \frac{\sigma_z}{k} 2 = \frac{G}{2} \frac{l}{2}$$

или

$$\frac{2}{3} \frac{\sigma_z}{k} b c^2 = l G,$$

где видим коэффициент разрыва, желаемую прочность крыльев, ширину крыла по направлению длины тела (например стрекозы или коромысла), толщину крыла, его длину и вес организма. Для подобных организмов $b = b_1 H$, $l = l_1 H$ и $G_0 = g V_{01} \rho H^3$ (см. 2). Но толщину крыла мы не будем считать пропорциональной размерам организма, а примем ее только достаточной для того, чтобы выдерживать вес животного при его полете.

Следовательно, выключая l , b и G , получим:

$$\frac{2}{3} \frac{\sigma_z}{k} b_1 c^2 H = l_1 g V_{01} \rho H^4,$$

откуда

$$c = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{k l_1}{\sigma_z b_1} g V_{01} \rho H}.$$

Можно найти и относительную толщину крыла, сравнив его с толщиной крыла, пропорциональной и равной $c_1 H$. Получим $b : b_1 H = \sqrt{\frac{3 k l_1 g}{2 \sigma_z b_1 c_1^2} V_{01} \rho H}$ и умноженной на плотность крыла. Значит, толщина крыла возрастает, сверх подобия при увеличении размеров пропорционально \sqrt{H} , т. е. она будет уклоняться от подобия в сторону массивности, или будет составлять все большую и большую часть веса всего организма по мере его увеличения. Действительно, масса крыла будет $m_{кр} = l b c \rho_k = l_1 b_1 c \rho_k H^2$. Выключая отсюда c , найдем:

$$m_{кр} = H^3 l_1 \sqrt{\frac{3 k}{2 \sigma_z} l_1 \rho_k^2 g V_{01} \rho H}.$$

По отношению же к массе организма (m_0) она будет (так как $m_0 = V_{01} \rho H^3$):

$$m_{кр} : m_0 = \sqrt{\frac{3 k l_1^3 \rho_k^2}{2 \sigma_z V_{01} \rho}} b_1 g H.$$

Отсюда ясно, что сравнительный вес крыла тем меньше, чем меньше сам организм. Так, крылья несколько не обременяют насекомых, мало затрудняют мелких птиц, более — крупных и еще более — аэропланы, поднимающие человека. Относительный вес крыла пропорционален квадратному корню из размеров летающего существа. Если для комара (ростом в 2 мм) он составляет, положим, один процент, то для подобного летающего существа в 2 м ростом он уже составит около 32% веса всего тела (G).

В последней формуле положим, что относительная длина крыла равна длине тела ($l_1 = 1$), а относительная ширина равна половине этой длины ($b_1 = 1/2$), $g = 1$ (полет на Земле), $\rho_k : \rho = 1$, т. е. крыло и организм имеют одну среднюю плотность, относительный объем животного $V_{01} = 0,1$, коэффициент разрыва, положим равным самой лучшей стали, деленной на ее плотность и умноженной на плотность крыла, т. е. $\sigma_z = \frac{\sigma_p}{\gamma} \rho_k$. Этой формулой мы выражаем, что крепость строительных материалов самая благоприятная и пропорциональна их плотности.

$$\text{Тогда получим: } 2m_{кр} : m_0 = \sqrt{30 \frac{k}{\sigma_p} \frac{d}{\rho} \rho_k H}.$$

Наконец, положим тут $k = 10$; $\rho_k = 1$; $H = 1$ см, $\sigma_p/\gamma = 10^7/8$ г/см². Теперь вычислим: $2m_{кр} : m_0 = 0,0155$. Это значит, что вес двух крыльев составляет для животного в 1 см размером около полутора процентов веса всего существа.

Если же плотность крыла не равна плотности организма, то:

$$2m_{кр} : m_0 = 5,48 \sqrt{\frac{k}{\sigma_p} \frac{\gamma}{\rho} \rho_k H},$$

а вообще

$$2m_{кр} : m_0 = 2,45 \sqrt{\frac{k}{\sigma_p} \frac{\gamma}{\rho} \frac{b_1}{V_{01}} l_1^3 g \rho_k H}.$$

Из формулы видно, что если летающее существо достигнет длины (H) одного метра, то относительный вес крыльев будет в 10 ($\sqrt{100} = 10$) раз больше, или 15%. Возможно, что у живых существ он больше вычисленных процентов. Может быть, это потому, что материал крыльев гораздо слабее, а может быть, природа рассчитывает на большую их прочность. Возможно, что и длина крыльев гораздо больше положенной, а ширина, напротив, меньше. Если, например, принять $l_1 = 2$, а $b_1 = 0,25$, то процент массы крыльев увеличится в 4 раза и станет 6%. Тогда станет понятным, почему насекомые с их примитивно устроенными крыльями не могут быть длиннее нескольких сантиметров. Действительно, при удлинении насекомого хотя бы до 16 см длины массовый процент крыльев возрастет уже до 24%, что невыносимо для экономии животного. Мы также приняли чересчур идеальный материал для строительства. Даже сталь бывает редко так крепка. Если для материала крыльев уменьшить крепость в 4 раза, то вот уже % крыльев насекомого еще увеличится в 2 раза и достигнет 12% для роста в 1 см, а для 16 см будет уже 48%, что совсем немыслимо. Но не

одни крылья ограничивают размер летающего существа, а также и сравнительно больший расход энергии, необходимый для полета, между тем как энергия существ с увеличением их размера падает (4). Но обратимся к сравнительному весу крыльев. Он может еще уменьшиться с усовершенствованием их. Из формул мы видим, что он уменьшается с уменьшением плотности крыла (ρ_k). Следовательно, чем рыхлее употребленный материал при неизменной крепости на единицу плотности крыла, тем крылья поглощают меньший процент. Птицы достигают этого в своих крыльях с помощью трубчатого строения перьев, что уменьшает среднюю плотность и, следовательно, относительный вес крыльев. Момент инерции сечения их зависит не только от площади сечения, но и от формы его. Так, сечение может быть решетчатым, трубчатым, изогнутым, как у жуков (жесткие крылья кривой поверхности). Хотя они и неподвижны при полете, но играют огромную роль, сильно облегчая полет, так же, как и неподвижные крылья аэроплана; — все это увеличивает момент инерции сечения, а следовательно, и сопротивление крыльев излому. В предыдущие формулы мы должны бы ввести под знак радикала момент инерции сечения.

Для трубчатых, решетчатых и цилиндрических крыльев он может возрасти в десятки раз, независимо от площади их поперечного сечения. Это дает возможность природе увеличивать рост летающих существ сравнительно с ростом насекомых, в десятки раз. Но и тут мало одного усовершенствования в строении крыльев: нужна и большая механическая энергия для полета и другие улучшения в конструкции крыльев. Итак, множество малых существ может иметь крылья, так как они не обременят животное, составляя ничтожную долю его веса. У самых малейших существ эти крылья очень простые, плоские. У больших — они уже частью искривлены, как у жесткокрылых, у еще больших — они трубчатые и устройства более или менее сложного.

В последней формуле $\sqrt{b_1 l_1^3} = l_1 \sqrt{b_1 l_1}$. Следовательно, при постоянной площади ($l_1 b_1$) крыльев их сравнительная масса обратно пропорциональна длине (l_1). Поэтому выгоднее делать крылья короткими и длинными вдоль тела, но такие крылья невыгодны в отношении подъемной их силы.

31. Полет в покоящейся среде

Полет существа может совершаться в покоящейся среде, в движущейся равномерно и горизонтально, в движущейся равномерно и вертикально, равномерно и наклонно, и, наконец, — в движущейся неравномерно. Тут три главных случая, остальные — ветки (см. мое: Устройство летательного аппарата птиц и насекомых).

Рассмотрим полет в покоящейся среде.

Начало полета совершается при усиленном махании крыльев вверх и вниз. Подымаясь, крылья или их перья, имеют вертикальное направление, просвечивают и при своем движении не встречают (почти) сопротивления воздуха. Напротив, при опускании, они же принимают горизонтальное

положение и встречают наибольшее сопротивление. При этом часть перьев смыкается в одну пластинку, имеющую обыкновенно внизу вогнутую сложную форму. Давление воздуха на крылья при их опускании уменьшает веса тела и может даже заставить его подняться на воздух. Это будет тогда, когда давление среды будет значительно больше веса животного. Если бы давление на крылья равнялось весу тела, или было немного больше его, то птица бы больше опускалась во время поднятия крыльев, чем поднималась во время их опускания — и животное бы, в общем скачками, летело вертикально вниз или подпрыгивало бы на земле, смотря по тому, опирается оно на почву при попытке полета или находится высоко в воздухе, не имея твердой опоры. Чтобы было хотя бы стояние в воздухе, надо чтобы давление на крылья было гораздо больше веса тела, чтобы птица поднималась каждый раз настолько же, насколько в последующий раз опускается.

Наконец, может быть махание настолько слабое, что существо не тронется с места, а будет только испытывать периодическое уменьшение веса при каждом опускании крыльев.

Очевидно, каждое летающее существо должно для поднятия на воздух, проявить известную минимальную энергию, ниже которой полет не может состояться.

Описанным способом совершается, собственно, не полет, а стояние в неподвижном воздухе. Так держатся в тихую погоду птицы у гнезда или насекомые у цветка, прежде чем уцепиться за него лапками.

Чтобы получить полет с поступательным движением, летающее существо располагает при опускании свои крылья наклонно, передним их краем вниз. Тогда давление на них воздуха также будет наклонно (нормально к крылу). Вертикальная составляющая этого давления будет поднимать тело или уравнивать его тяжесть, а горизонтальная — толкать его вперед. Рядом таких толчков птица или насекомое приобретет скоро быстрое поступательное движение. Когда оно есть, летающее существо уже и при поднятии крыльев будет испытывать на них снизу давление, которое также будет поддерживать насекомое в воздухе. Нужен только надлежащий наклон крыльев уже передним их краем вверх. Тогда при достаточной величине наклона, встречный воздушный поток будет давать на крылья нормальное к ним давление. Оно будет наклонным, но близко к отвесному. Горизонтальная его составляющая будет противодействовать полету и замедлять поступательную скорость существа, а отвесная составляющая сила будет поддерживать тело на весу, несмотря на одновременное поднятие крыльев. Таким образом, насекомое, летучая мышь или другое существо, как при поднятии, так и при опускании крыльев в атмосфере будет иметь постоянную, непрерывную опору, уравнивающую тяжесть его тела. При быстром поступательном движении птица не будет почти качаться вверх и вниз, полет будет ровен и прямолинеен, крылья почти горизонтальны, перья крыла не расщепляются, сливаясь даже при поднятии крыльев в одну поверхность. Только при опускании они дают телу ускоренное движение вперед, а при поднятии — замедленное. Но как то, так и другое ввиду быстроты поступательного движения мало заметно, т. е. движение го-

горизонтальное почти равномерно. При начале полета горизонтальные толчки вперед сильнее, для чего крылья при опускании сильнее наклоняются передним краем вниз, и поступательное движение от этого быстро ускоряется. Затем, после приобретения достаточной скорости, этот наклон становится мало заметным и крылья становятся почти горизонтальны. Напротив, при поднятии их в самом начале полета перья размыкаются, принимают вертикальное положение, крылья сквозят, затем, после немногих ударов, все же перья смыкаются в одну поверхность, которая сначала сильно наклоняется передним концом вверх, а потом, по мере ускорения движения, наклонение становится все слабее и слабее и при быстром поступательном полете делается близким к горизонтальному.

Иногда птица почему-либо желает ускорить свое поступательное движение, например в догонке за добычей или от страха преследования. Тогда совершаются те же явления, т. е. наклон крыльев увеличивается, энергия растет, потому что часть ее должна идти на ускоренное поступательное движение.

При остановке или замедлении полета, напротив, махание ослабляется, наклон крыльев к горизонту уменьшается. Махание может и совсем прекратиться, крылья принимают неподвижную позу, как у аэроплана. Наклон их, как у него же, передним концом вверх. Давление встречного потока будет уравнивать тяжесть птицы, но будет быстро замедлять и поступательную ее скорость. Поэтому вертикальное давление становится меньше веса птицы, и она спускается. Чтобы избежать этого, она увеличивает наклон своих крыльев к горизонту; но это возможно только до известного предела. Далее его наклон не достигает цели, т. е. вертикальная составляющая, несмотря на большой наклон, вследствие уменьшенной скорости движения оказывается меньше веса птицы, и тогда она неизбежно спускается и может разбиться о землю, если вовремя, маханием крыльев, не остановит это падение. Большей частью, птицы ловко и своевременно останавливают махание и спускаются почти без толчка на почву при сильном наклоне крыльев к горизонту. Но бывает и так, что расчет животного не совсем верен и птица при самом спуске должна махнуть несколько раз крыльями, чтобы ослабить толчок.

Если летающему существу нужно подняться без ускорения поступательного движения, то наклон крыльев несколько уменьшается, но возрастает сила ударов, зависящая от напряжения грудных мышц птицы. И наоборот, эта сила ослабляется, если существу нужно снизить свой полет. Вообще, поступательное движение зависит от наклона крыльев к горизонту и некоторого увеличения энергии, если полет ускоряется, и уменьшения ее, если он замедляется. Поднятие же и опускание проявляется главным образом при усилении или ослаблении напряжения мускулов. Когда существу нужно одновременно подняться и ускорить полет, то усиливается и сила ударов и наклон крыльев, и наоборот — если надо снизить полет и замедлить движение. Вертикальное поднятие и такое же опускание сопровождается, как и стояние на воздухе, горизонтальным положением крыльев, их маханием и отвесным положением крыльев или их составляющих

частей, т. е. перьев. Не забудем, что мы подразумеваем все эти явления совершающимися в спокойной атмосфере. Поднятие возможно и без ударов крыльями — одним усиленным их наклоном. Вертикальная составляющая тогда увеличивается, и летающее животное подымается. При уменьшении наклона без махания — происходит опускание птицы.

Простейшее устройство крыльев находим у двукрылых насекомых, затем у четырехкрылых, далее у жесткокрылых (тоже с 4 крыльями) и, наконец, у птиц. У летучих мышей (рукокрылых) сущность полета — как у двукрылых насекомых, но мускулатура сложна. Я не описываю тут направляющее действие хвоста птиц или задней части насекомых как чересчур понятное и подобное действию руля у водных судов.

Возьмем простейшее двукрылое насекомое. Когда оно расправит крылья для полета (если они уже заранее не расправлены природой), то крылья естественной упругостью и своим строением почти горизонтальны с легким наклоном передними их частями кверху; так что если подует ветер, то насекомое должно подняться. Теперь, если оно (подразумевается покой среды) будет усиленно опускать их вниз, то давлением встречного воздуха задняя их более тонкая часть отогнется кверху, и наклон получится обратный. Отвесная составляющая подымет животное на воздух, а горизонтальная будет подгонять его вперед и даст поступательное движение.

При умеренной силе поднятия насекомым крыльев давления на них сверху нет, а снизу оно не очень сильно, и потому крылья, естественным образом, т. е. благодаря упругости и форме их, обращены передним краем кверху. Давление встречного воздушного потока будет их подымать. Может быть это поднятие слабо и не уравнивает вполне тяжесть насекомого (почему оно во время поднятия крыльев несколько опускается), но зато усиленный удар их о воздух при опускании поднимает настолько же насекомое и вознаграждает тем за снижение.

Число ударов в секунду у маленьких существ так много, что неровность полета почти незаметна. Но все же полет насекомых в силу простоты устройства их крыльев не может быть так ровен, как птиц. Неровность полета более заметна у бабочек с большими крыльями (махаон, боярышник и т. п.), когда число ударов крыльями в секунду невелико. Полет насекомых упрощен благодаря несложности их мускулатуры. У птиц же и рукокрылых наклон крыльев регулируется особыми мускулами, а не упругостью только пластинок, заменяющих у насекомых крылья. У них при вертикальном поднятии крылья принимают отвесное направление, а у птиц то же положение получают составные элементы крыльев, т. е. маховые перья.

Рукокрылые, имея одну пластинку в каждом крыле, труднее начинают полет, так как приводить в отвесное положение большую поверхность не так удобно, как узкие перья птиц. Летучие мыши, как известно, для начала полета вползают на высоту и оттуда уже бросают вниз; приобретают от тяжести скорость и тогда уже летят. Это же обстоятельство заставляет природу давать и насекомым две пары узких крыльев, которые удобнее приводить в отвесное положение, чем одну широкую. При ветре, ко-

нечно, иное дело. Но об нем мы пока молчим. У жесткокрылых (жуки) четыре крыла. Передняя пара работает как описано, а задняя распускается для полета, но остается во все его время неподвижной, т. е. в одном и том же положении относительно тела. Она имеет ясно выпуклый сверху вид, а внизу, конечно, вогнутый.

Неподвижные крылья передним краем слегка приподняты. Встречный поток воздуха, ударяясь о их внутреннюю нижнюю вогнутую поверхность, производит на них постоянное давление, как на детский змей или на крылья аэроплана. Это давление и поддерживает отчасти насекомое на весу. Но и передняя пара функционирует с тою же целью, как уже описано. Однако она может играть только и единственную роль — толкателя вперед. В таком случае их спокойное положение будет горизонтально, и только при махании задний их более гибкий край то подымается, то опускается на одну и ту же величину в обоих случаях, давая поступательное движение насекомому. При поднятии этих пропеллеров происходит давление встречного потока сверху, а при опускании — снизу.

Все же такое исключительное назначение передней пары — только толкать вперед, а не поднимать, — хотя и вполне возможно ввиду существования задних неподвижно установленных крыльев, но не выгодно для существа, как не вполне выгодно употребление с такою же специальною целью горизонтального толкателя (гребного винта) у аэропланов. Во всяком случае у жуков роль махающих крыльев, роль поднимателя, уже может быть значительно ослаблена и передана отчасти задним крыльям. В этом отношении жуки близки к аэропланам, где передняя пара крыльев заменена гребным винтом так же, большей частью, с одною парюю лопастей. Понятно, что животному не удобно употребление вращающихся частей. Напротив, машины избегают качающихся частей, требующих излишней работы на одоление инерции, которых пока не могут избежать живые существа в своих механизмах.

32. Расчеты, касающиеся полета

Теперь мы сделаем расчет движения летающего существа. Наиболее экономный пропеллер, толкающий вперед, — это крылья птиц. Но расчет на такой механизм затруднителен. Расчет полета жесткокрылого — проще, но еще проще расчет аэропланного полета с неподвижно установленною парюю крыльев и гребным винтом, подобным корабельному. Благодаря употреблению как горизонтального толкателя — винта ли, крыльев ли — часть энергии существа пропадает. Она была бы меньше, если бы летающее существо или аэроплан могли тянутся за бичеву, как детский змей или баржа.

Итак, для упрощения вычислений будем подразумевать самый обыкновенный аэроплан; т. е. мы себе представляем организм в роде майского жука с неподвижно установленными крыльями и горизонтальным толкателем в виде пароходного гребного винта (вместо прозрачной махающей передней пары крыльев того же жука).

Крылья той или другой продолговатости, той или другой формы и устройства несколько приподняты передним краем. Атмосфера неподвижна, но если организм имеет поступательное движение, то встречный поток воздуха ударяет в крылья и поднимает аэроплан. Давление воздушного потока приблизительно нормально к крыльям и рождает две составляющих силы: вертикальную, поддерживающую аэроплан в воздухе, и горизонтальную, препятствующую его движению, которую нужно одолеть. Эта преодолевающая сила развивается тягой гребного винта (или махающими передними лопастями жука, или надлежащим наклоном крыльев птицы и т. д.). Величину подъемной силы крыла при единице его поверхности, определенном наклоне и форме, при секундной скорости аэроплана в 1 м назовем коэффициентом подъема (C_y).

Тогда сила, поднимающая аэроплан (или существо), будет: $Y = C_y S_K v^2$. При подобии существ, поверхность крыла можно принять $S_K = S_{K1} H^2 = l_1 b_1 H^2$, где S_{K1} , l_1 и b_1 — суть поверхность, длина и ширина при размере H аэроплана в единицу.

Если аэроплан летит горизонтально, не поднимаясь и не опускаясь, то вес (G) его или организма должен равняться подъемной силе крыльев. Поэтому получим (2): $G = g V_{o1} \rho H^3 = C_y l_1 b_1 v^2 H^2$. Откуда $g V_{o1} \rho H = C_y l_1 b_1 v^2$. Мы тут оба крыла принимаем за одно длиною (перпендикулярной к корпусу) в l и шириною (размер вдоль корпуса) в b . Горизонтальное сопротивление движению крыльев будет:

$$X = C_x l_1 b_1 v^2 H^2.$$

Здесь, как и в предыдущей формуле, произведение $l_1 b_1 = S_K$ означает площадь обоих прямоугольных крыльев при $H = 1$; C_x означает горизонтальный коэффициент сопротивления крыльев. Есть еще другое сопротивление, которое также должен одолеть гребной винт, — это сопротивление корпуса аэроплана с его частями или тела организма с его членами (кроме крыльев). Это сопротивление можно выразить удвоенною величиною трения корпуса о воздушную среду. Разумные основы требуют, чтобы сопротивление от инерции воздуха, происходящей от раздвигания его корпусом птицы, приблизительно равнялось трению того же корпуса об окружающую его среду. Сопротивление от трения более известно, чем сопротивление от инерции, и вот почему мы полное сопротивление корпуса выражаем величиною удвоенного его трения. В таком случае оно приблизительно будет пропорционально коэффициенту трения (μ) и поверхности корпуса; оно будет равно:

$$R_T = \mu_1 S_{T1} v^2 = \mu S_{T1} H^2 v^2,$$

где S_{T1} означает поверхность подобно изменяющегося корпуса при размере аэроплана или птицы в единицу ($H = 1$). Полное горизонтальное сопротивление, преодолеваемое винтом, будет:

$$X + 2R_T = (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_{T1}) H^2 v^2.$$

Теперь можем выразить потребную мощность мотора, или работу его в секунду. Именно

$$N_m = (X + 2R_T) v K_v$$

или

$$N_m = (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_{T1}) H^2 v^2 K_v.$$

Здесь K_v — есть коэффициент, зависящий от употребления винта. Он больше единицы. При хорошей его форме и достаточной поверхности он меньше двух и немного превышает единицу.

Если бы устранить винт и ограничиться маханием крыльев, как у птиц и насекомых, то мы еще более приблизили бы этот коэффициент к единице. Для живых аэропланов мы и будем его принимать таковым. Выключая из последнего уравнения скорость (v), получим:

$$v = \sqrt{g V_{01} \rho H : C_y l_1 b_1}.$$

и

$$N_m = (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_{T1}) K_v H^{3.5} (g V_{01} \rho : C_y l_1 b_1)^{1.5}.$$

Эти формулы относятся как к аэропланам, так и к живым летающим существам. Только у последних, как более совершенных, коэффициент K_v чуть только больше единицы, между тем как у искусственных птиц, шаблонного устройства, он достигает $\frac{4}{3}$ и более до 2. Из первой формулы видно, что скорость полета подобных организмов разных размеров увеличивается (при достаточной для полета мощи, которой у животного может и не хватить) с возрастанием тяжести планеты, плотности существа и его размера — и с уменьшением коэффициента подъемной силы (C_y) крыльев и относительной их площади.

Из второй можем сделать выводы относительно потребной для полета работы в секунду, или мощи организма. Эта абсолютная сила, выделяющаяся в единицу времени, увеличивается быстро с размерами ($H^{3/2}$) существа — быстрее, чем его масса (см. 5) и тем более его естественная мощь. (Поэтому размеры летающих существ должны быть очень ограничены.) Она возрастает также: с увеличением горизонтального сопротивления (C_x) крыльев, коэффициента трения (μ), относительной поверхности корпуса (S_{T1}), силы тяжести (g) планеты и плотности (ρ) существа; мощность уменьшается с увеличением коэффициента подъемной (C_y) силы крыльев.

Можно придать той же формуле вид:

$$N_m = \left\{ \frac{C_x}{V l_1 b_1} + \frac{2\mu S_{T1}}{V l_1^3 b_1^3} \right\} \frac{K_v}{C_y^{3/2}} H^{3/2} (g V_{01} \rho)^{3/2}.$$

Тогда становится очевидным, что абсолютная мощь полета возрастает с уменьшением относительных размеров крыла, и наоборот. Для действительного полета существа, очевидно, эта требуемая мощь должна равняться мощи организма.

Приравняв необходимую мощность имеющейся мощности организма (4), найдем:

$$H = \frac{N_1 C_y^{3/2}}{K_B (g V_{01} \rho)^{3/2}} : \left(\frac{C_x}{V l_1 b_1} + \frac{2 \mu S_{T1}}{V l_1^3 l_1^3} \right) = \frac{N_1 C_y^{3/2} V l_1 b_1}{K_B (g V_{01} \rho)^{3/2}} : \left(C_x + \frac{2 \mu S_{T1}}{l_1 b_1} \right).$$

Отсюда видно, от чего зависит размер летающего существа. Он (H) возрастает: с коэффициентом мощности (N_1) организма, коэффициентом подъемной силы крыльев, их относительных размеров и с уменьшением K_B коэффициента горизонтального сопротивления (C_x) крыльев, коэффициента трения (μ) корпуса и относительной его поверхности (S_{T1}). Так как мощность организмов вообще чрезвычайно мала, то и размер летающего существа должен быть чрезвычайно мал (см. формулу).

Итак, не только относительная легкость крыльев делает малых существ крылатыми, но и вообще малая механическая энергия животных. Коэффициент подъемной (C_y) силы также мал вследствие малой плотности атмосферы. Это тоже уменьшает размер летающих существ. Напротив, усиленная энергия существ, улучшение формы крыла, а вместе с тем увеличение его коэффициента подъемной силы, увеличение плотности среды, возрастание крепости крыла с увеличением его поверхности и уменьшением массы — способствовало бы возвышению размеров и массивности пернатых животных.

Природа, совершенствуя их крылья, облегчая их сравнительный вес, улучшая мускулатуру, кровообращение и дыхание и возвышая вместе с тем выделяемую ими механическую энергию, — выдвигала все более и более крупных существ, способных к полету. Человек, изобретши двигатель необыкновенной мощности (N_1), также перешел от летающих игрушек и значительных моделей к большим аэропланам, поднимающим несколько человек.

Положим для последней формулы: $N_1 H^* = 10 \text{ кгм} = 10^6 \text{ гсм}$ (применяясь к человеку), $k = 2,5$, $H = 180 \text{ см}$. Следовательно, $N_1 = 2,3 \text{ гсм}$, $C_y = C_{y1} (h_B/h_{B1})$, $h_B = h_{B1} = 0,0012$, $C_{y1} = 25 : 10^8$ (для плоского квадратного крыла), $K_B = 1,2 : l_1 = 1$ (два крыла составляют один квадрат в длину тела), $b_1 = 1$, $C_x = C_{x1} (h_B/h_{B1})$, $C_x = 7,5/10^8$, $\mu = 1 : 10^8$ (так как существо окажется около 2 см длины), C_x , C_y и μ взяты из моих таблиц в сочинении «Аэрост. и Аэропл.»*, $S_{T1} = 0,5$, $V_{01} = 4 : 480 = 1 : 120$, $\rho = 1$ (для человека еще меньше). Тогда вычислим: $H = 3,7 \text{ см}$.

Значит, размер (в длину при горизонтальном положении тела, как у насекомого) летающего существа с плоскими крыльями, составляющими вместе квадрат, близок к 4 см. Существа меньшего размера, конечно, или выделяют меньшую энергию, или уклоняются от условий, поставленных при нашем вычислении. При расчете мы заметили, что μ даже для малых су-

* Циолковский имеет здесь в виду свою работу «Аэростат и аэроплан», напечатанную в журнале «Воздухоплаватель», 1905, №№ 1, 3, 7 и 10; 1906, №№ 4, 5 и 11; 1907, №№ 3, 4 и 8; 1908, №№ 5 и 8 (Ред.).

ществ не имеет большого влияния на размер H , тем более он не важен для больших размеров существ; поэтому приблизительно можем принять:

$$H = \frac{N_1 \sqrt{l_1 b_1} C_y^{3/2}}{K_B (g V_{01\rho})^{3/2} C_x} = \frac{N_1}{K_B C_x} \left(\frac{C_y}{g V_{01\rho}} \right)^{3/2} \sqrt{l_1 b_1}.$$

Действительно, энергия волочения наклонных к горизонту крыльев или борьба с тяжестью организма, его падением к земле, весьма значительна в сравнении с сопротивлением движению самого корпуса летающего существа.

Но размер организма, поднимающегося на воздух, может расти и быть больше 4 см, если согласно формуле будет возрастать энергия (N_1) организма вследствие усовершенствования мускулатуры, дыхания, кровообращения, пищеварения и т. д. Это учесть довольно трудно. Но предельная величина пернатого может еще расти и при улучшении формы крыльев, т. е. при возрастании коэффициента подъемной силы (C_y) и уменьшении горизонтального сопротивления (C_x). То и другое дается удлинением крыльев в поперечном к телу направлении и некоторою наивыгоднейшею их вогнутостью. У тяжелых жуков V_{01} , т. е. относительный объем тела велик, но за то вознаграждает вогнутость жестких крыльев (надкрылий). Продолговатость крыльев всех насекомых дает им возможность или уменьшить мощность (N_1), или увеличить рост тела или его относительный объем. Это еще возможнее и шире, если к продолговатости крыльев присоединится и их вогнутость. Из формулы видим, что размер увеличивается пропорционально $\sqrt{C_y^3} : C_x = \frac{C_y \sqrt{C_y}}{C_x}$. Из моих таблиц для квадрат-

ных цилиндрических крыльев видно («Аэростат и Аэроплан»)*, что это выражение будет наибольшим при наклоне крыльев в $12\frac{1}{2}^\circ$ и при кривизне их в $1/15$. Оно окажется больше, чем для плоского квадратного крыла в 1,63 раза. Значит, размер летающего существа увеличится в 1,6 раза и будет уже 5,9 см, т. е. около 6 см длины. Из той же моей работы видно, что крыло продолговатое и лучшей (переменной) кривизны (спереди кривизна больше, чем сзади крыла) дает возможность еще увеличить коэффициент подъемной силы (C_y) в 3,6 раза, причем C_x очень мало изменяется. Это обстоятельство дает размер летающих существ еще больше, в 3,6 раза, т. е. этот размер дойдет до 21 см. Такой размер уже превосходит размер мелких птиц, каковы колибри, воробьи, ласточки и т. д. Но наши опыты не дали идеального крыла. Природа может дать больше. Однако и такие размеры летающих существ заставляют переменить конструкцию крыла, которая при таком устройстве, как у насекомого, становится чересчур (сравнительно) тяжелой. Дальнейшее увеличение летающих существ достигается природой через увеличение их мощности (N_1). Так как размер летающих существ на практике достигает 1 м и более, то мощность их должна возрасти в 5 раз ($100 : 20 = 5$). Не забудем, что по нашим соображениям при постоянстве коэффициента мощности (N_1) энергия существ вообще

* См. примечание на стр. 226 (Ред.).

возрастает не так быстро, как масса их, и уменьшается с уменьшением размеров их не так быстро, как та же масса (см. 4).

Имели формулу:

$$v = \sqrt{\frac{gV_{01}\rho}{C_y l_1 b_1} H},$$

по которой можем определить скорость полета летающего существа. Она, как видно, уменьшается с уменьшением малости организма — пропорционально квадратному корню из его роста (H). Так, если рост уменьшится в 900 раз, то поступательная скорость уменьшится в 30 раз. Это большой недостаток малых существ. Они имеют легкие крылья и легко приобретают полет, но скорость его чересчур мала и невыгодна для борьбы с ветром и преследованием более крупных летающих врагов. Положим по предыдущему: $g = 1$; $V_{01} = 1 : 120$; $\rho = 1$; $l_1 b_1 = 1$ (это произведение есть площадь крыльев для размера, равного единице, т. е. когда $H = 1$). Тогда найдем $v = \frac{1}{11} \sqrt{\frac{H}{C_y}}$. C_y для плоского и квадратного крыла равен $25 : 10^8$, для продолговатого и плоского $= 50 : 10^8$, для продолговатого и лучшей формы $= 140 : 10^8$. Итак, с улучшением крыла C_y все увеличивается, а скорость пернатого все уменьшается — и вот разгадка плоских крыльев насекомых — это есть желание природы возвысить чересчур малую скорость их движения. Мы дали численные коэффициенты подъемной силы (C_y) при наклоне крыла в $12\frac{1}{2}^\circ$, но ведь наклон может быть меньше и тогда скорость будет больше. Поэтому нужно ждать, что мелкие существа дают небольшой наклон своим крыльям ради большей скорости и в ущерб потраченной энергии. Но вычислим скорости для наклона наивыгоднейшего, т. е. в $12\frac{1}{2}^\circ$ (в отношении экономии энергии). Положим еще размер организма в 1 см, т. е. $H = 1$. Тогда найдем: $v_1 = 180 \text{ см/сек} = 1,8 \text{ м/сек}$, $v_2 = 1,3 \text{ м/сек}$, $v_3 = 0,75 \text{ м/сек}$.

Первая скорость относится для плоского квадратного крыла, вторая — для плоского продолговатого, а третья — для продолговатого лучшей вогнутости. Такова выйдет скорость насекомого размером с комара. При 4 см размера эта скорость удвоится, т. е. будет 3,8 м, 2,6 м и 1,5. И эта скорость недостаточна для борьбы с природой. Для усовершенствованных крыльев и для больших существ она также невелика. Если в формуле $H = 100 \text{ см}$, то для скоростей получим числа только в 10 раз больше, чем для размера в 1 см, а именно: 18, 13 и 7,3 м/сек, или 65, 47 и 27 км/час. Последнее число придется на самые лучшие продолговатые крылья с великолепной переменной кривизной и наклоне их к горизонту в $12\frac{1}{2}^\circ$.

Мы сделали по формулам наши вычисления при условии траты наименьшей мощности в единицу времени. Но получение наибольшей скорости движения, согласно двум последним формулам, подчиняется иным законам. Кстати, вычислим эту наименьшую мощность для разных размеров пернатых существ. Нет ничего легче этого, так как мы обусловили ее формулой $N_0 = N_1 H^k$ и находили вероятным принять $k = 2,5$. Только с такой мощностью размер существа, способного к полету, не может превышать

20 см при $V_{01} = 1 : 120$. Для существ, подобных птицам, эту величину надо возвысить по крайней мере в 4 раза и принять $V_{01} = 1 : 30$. Тогда размер пернатого еще уменьшится в 8 раз, т. е. будет равен $2\frac{1}{2}$ см. Птицы в своей мускульной энергии (N_1) должны сделать огромный скачок вперед, чтобы достигнуть полета при их величине (H) и сравнительной полноте (V_{01}). Мы вычислили при $H = 1$ см, $N_1 = 2,3$ гсм; для 2,5 см найдем $N_0 = 23$ гсм. Для изучения условий, при которых получается наибольшая скорость летающих существ и машин, мы должны сосредоточиться на двух известных нам формулах:

$$N_0 = \left(\frac{gV_{01}\rho}{C_y l_1 b_1} \right)^{3/2} H^{7/2} (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_T) K_v.$$

и

$$v = \sqrt{gV_{01}\rho H : C_y l_1 m_1}.$$

(Во всех формулах, применяемых к аэроплану, полезно заменить $V_{01}\rho$ величиною, равною m_1 . Действительно, $m_0 = m_1 H^3 = V_{01}\rho H^3$. См. 2.)

Эти формулы уже не считаются с тем, какой мощностью в действительности обладают организмы, а с тою, которою они должны обладать при тех или других условиях полета.

Мы видим из последней формулы, что наибольшая абсолютная скорость возрастает с увеличением тяготения планеты, сравнительным объемом тепла, плотностью его, размерами и с уменьшением коэффициента подъемной силы крыла и его площади. Выводы как бы совершенно парадоксальные и обратные основам экономии расхода механической энергии. По этой формуле возрастание поступательной скорости не имеет границ. Но, по первой формуле, тогда также безгранично возрастает и мощность организма (или механизма), требуемая для полета.

Можно искать секундную мощь снаряда, приходящуюся на единицу пройденного им пути и на единицу его массы. Это, так сказать, будет техническая, или скорее экономическая, оценка полета в сравнении с другими способами сообщения. При такой оценке провоза килограмма на метр или тонны на километр можно решить вопрос, какие товары выгодно перевозить и на какое расстояние. Это коммерческая оценка передвижения по воздуху.

Мы будем искать $N_m : vm_0$. Тут $m_0 = V_{01}\rho H^3$. Мы имеем все данные, чтобы найти желаемое. Получим:

$$\frac{N_m}{vm_0} = \frac{gK_v}{C_y} \left(C_x + \frac{2\mu S_{T1}}{l_1 b_1} \right).$$

Из формулы видно, что эта экономическая работа не зависит от размера летающих существ или аэропланов. Она одна и та же для всех масс. Значит, в отношении ценности пути малые летательные машины как будто не имеют преимуществ перед большими, или наоборот. Но на практике дело обстоит иначе. Действительно, с возрастанием размера снаряда быстро растет его скорость и еще быстрее мощность, что технически затрудняет построение чересчур легких и сильных двигателей, помимо поглощения массы снаряда массивностью его крыльев (30).

Из формулы также видно, что работа единицы пути уменьшается с увеличением площади ($l_1 b_1$) крыльев, уменьшением коэффициента трения (μ) и относительной поверхности корпуса ($S_{т1}$). Впрочем, влияние тут незначительное, так как второй член в скобках мал в сравнении с первым.

При обыкновенных условиях вторым членом в скобках даже можно пренебречь, в особенности для существ не очень малых и с крыльями обыкновенных размеров. Тогда найдем:

$$\frac{N_m}{vm_0} = g K_v \frac{C_x}{C_y}.$$

Отсюда видно, что работа продвижения на один метр не очень мала в сравнении с другими способами передвижения. Так, полагая $g = 1$, $K_v = 1,5$, получим

$$N_m : vm_0 = 1,5 \frac{C_x}{C_y}.$$

Чем меньше последнее отношение, тем работа единицы пути будет меньше. По моим таблицам («Аэростат и Аэроплан») * увидим, что это отношение для квадрата плоского и цилиндрически изогнутого (кривизна $1/12$) почти одно и то же и в лучшем случае (при наклоне в 10°) близко к $1/4$, так что искомое будет не меньше 0,4. Для изогнутых цилиндрических крыльев (кривизна $1/12$), длина которых в 4 раза больше ширины, это отношение при 10° наклона достигает $1/9$. Искомая величина будет 0,17. Переменная, наиболее выгодная кривизна таких же продолговатых крыльев еще может уменьшить это отношение до $1/15$, и тогда искомое будет равно 0,1. Работа единицы пути не зависит также от размеров крыльев и площади их, так что стоимость единицы пути очень затруднительно уменьшить. Только уменьшение тяготения планеты ее пропорционально уменьшают. Но это обстоятельство не в наших силах.

Итак, для наиболее совершенных (хоть и не предельно) крыльев можно надеяться, что работа единицы пути не будет более 0,1. Это значит, что для перелета грамма на 1 см нужна работа, не меньшая поднятия того же грамма на 0,1 см высоты. Одним словом, для продвижения любой машины или летающего существа на 1 м, надо потратить работу в 10 раз меньшую, чем при вертикальном его поднятии на то же расстояние.

Этот вывод очень утешительный для авиаторов. Работа продвижения телеги по мостовой только раза в два меньше. Конечно, эта работа в десятки раз меньше для велосипеда, железных дорог и тихоходных судов. Но, например, для пароходов, движущихся со скоростью 15 м/сек или 54 км/час, она даже раза в два больше. Следовательно, хорошо устроенные аэропланы в коммерческом отношении выгоднее очень быстроходных пароходов, движущихся со скоростью, большею 50 км/час.

Отношение C_x/C_y несколько не зависит от плотности среды. Это в высшей степени интересный вывод. Он означает, что ни воздушные высоты, где воздух реже в тысячи раз, ни такая плотная среда, как вода или даже

* См. примечание на стр. 226 (Ред.).

ртуть, не имеют никакого влияния на работу прохождения единицы горизонтального пути. (Если не считать потерю веса в плотных средах. Этой потери, впрочем, и нет в «летающих» лодках, главная масса которых находится в воздухе и только «крылья» в воде.) Это значит, что летает ли наш снаряд в разреженной среде или в плотной, расход на единицу пути один и тот же; плотная атмосфера нисколько не облегчает эту задачу, как и разреженная — не затрудняет. Отсюда вытекает отрицательное наше отношение к «летающим» лодкам или, по крайней мере, равнодушие к ним — в коммерческом отношении. Но при мелководьи они могут быть полезны. На практике, конечно, дело не совсем так. В самом деле, при плотных средах, скорость будет гораздо меньше, а потому и секундная мощность двигателя будет ничтожна и легко осуществима. Как для животных, так и для аэропланов это имеет огромное значение. Мы как раз сейчас переходим к этому вопросу, т. е. к определению работы летательного мотора, приходящейся на единицу массы организма в единицу времени. Она равна на основании предыдущих уравнений

$$\frac{N_0}{m_0} = \left(\frac{g}{C_y}\right)^{3/2} \left(v + \frac{2\mu S_{r1}}{l_1 b_1}\right) \sqrt{\frac{V_{01}\rho H}{l_1 b_1}} \cdot K_v.$$

Тут мы уже видим, что эта относительная работа в секунду, в течение которой живой или мертвый снаряд проходит расстояние v , возрастает с размерами H прибора и находится в сложной зависимости от разных условий. Конечно, при исполнении летательных машин выгодно, чтобы эта мощность или энергия мотора, приходящаяся на единицу его массы, была не очень значительной, и, следовательно, осуществимой.

Если пренебречь в формуле вторым членом в скобках, то найдем:

$$\frac{N_0}{m_0} = K_v \sqrt{\frac{g^3 V_{01}\rho H}{l_1 b_1} \frac{C_x}{C_y^{3/2}}}.$$

Положим тут $K_v = 1,3$, $g = 1$ (Земля), $V_{01} = 1/72$, $\rho = 1/6$. (Для получения последних двух чисел мы приняли сечение корпуса в 1 м^2 , длину его в 6 м , объем в 3 м^3 , массу в полтонны, или в 500 кг ; тогда $V_{01} = 3 : 216 = 1/72$; $\rho = 0,5 : 3 = 1/6$). Конечно, размер корпуса переменный, но подобный приведенному. Тут даны только отношения, а не абсолютные величины. Можно в формулах положить, что $m_0 = m_1 H^3$; следовательно $V_{01}\rho = m_1$. Последняя равна (в граммах на 1 см) $500\,000 : 600^3 = 1/432$ и $V_{01}\rho = (1/72) \cdot (1/6) = 1/432$; $H = 6 \text{ м} = 600 \text{ см}$; $l_1 m_1 = 1$. Теперь вычислим:

$$\frac{N_0}{m_0} = 1,533 \frac{C_x}{C_y^{3/2}} = 1,533 : \frac{C_y}{C_x} \sqrt{C_y}.$$

По данным моих таблиц в «Аэростате и Аэроплане» составим новую таблицу, определяющую работу по последней формуле и другие величины, означенные в предлагаемой таблице. (См. таблицу, следующий лист).

Из последних строк таблицы мы видим, что аэроплан в 500 кг веса при двигателе в 100 кг выделяет разную работу, в зависимости от устройства

совокупности крыльев. Абсолютная мощность изменяется от 61 до 10 лошадиных сил, т. е., при наилучших условиях (но не идеальных, которые еще неизвестны) уменьшается в 6 раз. Так, при крыльях, составляющих вместе один плоский квадрат, она составляет минимум (при наклоне около $12\frac{1}{2}^\circ$) в 61 лошади. силу. Давая ровное искривление им в $\frac{1}{12}$, найдем нужным уже только 38 сил. При лучшем искривлении того же квадрата крыла, когда передняя часть вогнута несколько более задней, а среднее искривление только в $\frac{1}{20}$, сократим работу до 25 сил. При совокупности плоских крыльев в виде поперечного прямоугольника, длина которого в 4 раза больше ширины, найдем достаточным 34 сил, т. е. меньше, чем для цилиндрического квадрата. Придавая этим продолговатым (как у стрекозы) крыльям ровную вогнутость, сойдем до 16 сил, а если эта вогнутость впереди будет больше, то можно добиться уменьшения работы до 10 сил. Но нельзя думать, что это уже предел. На килогр. веса двигателя найдем в таблице обязательную секундную работу от 46 до 8 кгм, или от 0,61 до 0,10 лошадиных сил. Наоборот, на каждую силу полагается от 1,64 до 10 кг массы.

Вес аэроплана = 500 кг	Около 12° наклону к горизонту					
	Квадрат. Продолговатость = 1			Прямоугольник. Продолговатость = 4		
	плоский	цилиндриче- ский	лучшей формы	плоский	цилиндриче- ский	лучшей формы
Работа аэроплана в сек на 1 г его веса, гсм	922	569	370	514	231	156
То же, но на 1 кг веса, кгм	9,22	5,69	3,70	5,14	2,31	1,56
То же в кгм на кг мотора. Вес его = = 1 : 5 веса аэроплана	46,1	28,5	18,5	25,7	11,6	7,8
То же, только в лошадиных силах . .	0,61	0,38	0,25	0,34	0,16	0,10
Вес двигателя в кгм на 1 лошади. силу	1,64	2,63	4,00	2,94	6,25	10,00
Полная мощность мотора, в лошади- ных силах	61	38	25	34	16	10

Мы видели, что работа прохождения летательным снарядом одного метра пути изменяется в зависимости от совершенства крыльев раза в 4. По формулам мы видели, что она зависит только от отношения C_y/C_x . Последняя таблица легко покажет, что и эта коммерческая оценка пути воздушных полетов может колебаться от 1 до $\frac{1}{5}$, т. е. работа при лучших крыльях и тут может уменьшиться в 5 раз. Однако более продолговатые крылья поглощают больше веса и потому представляют отчасти и минус в аэроплане.

Из формулы видно, если не считать возрастающего не пропорционально массе аэроплана веса крыльев, что при соблюдении подобия и увеличения размера аэроплана вдвое, а веса в 8 раз (4000 кг; вместо одного человека 8 летчиков), мощность N_0/m_0 должна возрасти в 1,41 раза. Число же потребных лошадиных сил будет от 689 до 113. А на килограмм веса двигателя придется в секунду от 0,86 до 0,14 лошад. силы.

Площадь крыльев мы приняли чересчур большой: поперечную величину совокупности их в $2H$, ширину в $H:2$. Если принять вдвое меньше, а площадь в 4 меньше (т. е. в $9 м^2$), то работа, мощность и энергия моторов должны удвоиться. Тогда мощность будет от 92 до 16 метр. сил, или от 122 до 20 лош. сил. Вес двигателя на лошад. силу будет от 0,82 до 5 кг. Интересно узнать и скорость. Для того имеем:

$$v = \sqrt{\frac{gV_{01}\rho H}{C_y l_1 b_1}} = \sqrt{\frac{gm_{01}H}{C_y l_1 b_1}}.$$

Положим $g = 1$; $V_{01} = 1/72$; $\rho = 1/6$; $m_{01} = 500\,000 : 600^3 = 1/432 = (1/72) \cdot (1/6)$; $H = 600$ см; $l_1 b_1 = 1$. Вычислим $v = 1,18 : \sqrt{C_y}$. Из последней таблицы имеем 6 величин для подъемной (C_y) силы. Соответственно получим 6 секундных скоростей в метрах и 6 часовых в километрах:

м/сек	23,6	17,0	20,6	17,8	16,9	20,2
км/час	85,0	61,2	74,2	64,1	60,8	72,7

Как видно, величина скорости почти не зависит от совершенства крыла. Если уменьшим их площадь в 4 раза, то скорости удвоятся и будут (в км/час): 170,0; 122,4; 148,4; 128,2; 121,6; 145,4.

Эти скорости не особенно поражают; также полная работа моторов не очень велика, как мы видели, именно от 122 до 20 лошад. сил.

Но по формуле видно, что можно еще чрезвычайно увеличить скорость уменьшением не только крыльев, но и коэффициента подъемной силы (C_y). Значит, чем крыло несовершеннее, тем скорость больше, хотя мощность становится очень велика и единица пути дорога.

Надо, чтобы стоимость единицы пути была как можно меньше. Мы видели, что она исключительно зависит от отношения между подъемной силой крыла и его горизонтальным сопротивлением, т. е. от C_y/C_x . Чем больше это отношение, тем путь дешевле или экономнее. Надо заметить, что C_x определялся при очень малых поверхностях (10×10 см), причем трение, входящее в состав C_x , было велико. Для больших крыльев поэтому C_x будет гораздо меньше, а путь дешевле. По нашей таблице означенное отношение в зависимости от рода крыльев колеблется между 3,3 и 16,8. Но при этом нам нужно, чтобы при малых углах эти отношения не слишком были малы и чтобы притом C_y падал как можно больше при умалении угла наклона к горизонту.

Рассматривая мои опытные таблицы сопротивления разных родов крыльев («Аэростат и Аэроплан»)*, мы видим, что для плоских крыльев

* См. ссылку на стр. 226 (Ред.).

C_y может падать до нуля, но уменьшается до нуля же и отношение C_y/C_x , что делает полет дорогим при малых наклонах и большой скорости движения. Все же плоские крылья в отношении быстроты дают нечто. Так, при наклоне в $2\frac{1}{2}^\circ$, отношение $C_y/C_x = 2$, значит работа пути будет в 8 раз дороже наименьшей; $C_y = 44$, т. е. $(338 : 44 = 7,7)$ почти в 8 раз меньше, чем для лучшей формы. Таким образом, мы можем скорость (см. формулу) увеличить почти в 3 раза, причем работа пути будет раз в 9 дороже наиболее дешевой.

Но мы видели, что C_x для больших крыльев может быть гораздо меньше. Поэтому наклон крыльев еще может быть уменьшен, причем C_y будет мал (скорость значит велика), и отношение C_y/C_x довольно велико, так что единица пути не обойдется очень дорого.

Если вместе с уменьшением наклона крыльев мы будем придавать им и меньшую кривизну, т. е. более плоскую форму при ее совершенстве, то сохраним, до известного малого наклона, отношение C_y/C_x значительным, постоянным и наиболее выгодным. Числитель и знаменатель его будут одновременно уменьшаться. Тогда единица пути останется не дорогой, но C_y сильно уменьшится и даст возможность наибольшего увеличения поступательной скорости. Впрочем, при очень малом наклоне неизбежно падение отношения C_y/C_x , определяющего ценность единицы пройденного аэропланом пути. В самом деле, числитель, или подъемная сила (C_y), непрерывно и правильно уменьшается с приближением наклона к нулю, между тем как знаменатель, или коэффициент (C_x) сопротивления, не может столь же быстро падать и дойти до нуля, потому что этому мешает трение крыла о воздух, которое и при горизонтальности крыльев не может обратиться в нуль; кроме того, если мы крыльям даем кривизну, то эта кривизна представляет еще некоторое, хотя небольшое, сопротивление. Потом, крылья, близкие к плоским, вынуждают для укрепления их употребление тяжей и мачт, что невыгодно в отношении сопротивления воздуха. Тогда как кривые крылья, увеличивая во много раз момент инерции их поперечного сечения, увеличивают одновременно и прочность неподвижно укрепленных крыльев аэроплана. Но и тогда едва ли обойдутся вполне без мачт и тяжей, разве только для самых малых машин.

Все эти соображения заставляют думать, что наклон крыльев аэроплана к горизонту не может быть меньше $2-5^\circ$ и скорость не много может превышать вычисленную. Правда, C_y силы еще уменьшается с разрежением среды. Но это не влияет на отношение C_y/C_x , или ценность пути; значит, на высотах аэроплан приобретает большую скорость, хотя и мощность его моторов в секунду должна расти, чтобы он не упал. Так, на высоте в 5, 10, 15, 20 км скорость последовательно будет больше в 1,4; 2; 2,8; 4 раза. Во столько же раз обязана увеличиться и мощность моторов, хотя ценность единицы пути останется та же. Однако на большой высоте необходима закрытая герметически каюта для дыхания человека, затем количество кислорода в воздухе станет настолько мало, что выделение моторами усиленной энергии становится положительно невозможным. Так что мечту о высоких полетах, превышающих 5 км, надо совсем оставить.

Иногда, например при остановке, выгоден медленный полет. Скорость его, как видно из полной формулы, уменьшается с увеличением коэффициента подъемной силы (C_y) и площади крыльев. Коэффициент подъемной силы возрастает с плотностью атмосферы или другой опорной среды и с увеличением угла наклона крыльев к горизонту. Это последнее обстоятельство, как видим из моих таблиц, сопровождается уменьшением отношения C_y/C_x и, следовательно, возрастанием ценности пути. Максимальную величину коэффициента подъемной (C_y) силы видим при угле градусов в 30. Тут она достигает 800 и даже более, т. е. увеличивается против лучшей формы всего раза в два, что дает уменьшение скорости только в 1,4 раза. При меньшей скорости, несмотря ни на какой наклон, снаряд падает. Помимо того, что такое незначительное уменьшение скорости не имеет важности, работа единицы пути сильно увеличивается, так как отношение C_y/C_x при большем наклоне к горизонту при сравнении с наилучшей формой при наилучшем наклоне ($12\frac{1}{2}^\circ$) падает, по крайней мере, в 8 раз. Это увеличивает ценность пути во столько же раз.

В последних полных формулах абсолютной и относительной мощности летающих организмов или машин видим выражение в скобках ($C_y + 2\mu S_{T1}/l_1 b_1$), вторым членом которого мы пренебрегаем. Действительно, по моей таблице («Аэростат и Аэроплан») коэффициент сопротивления C_x изменяется от $2 \cdot 10^{-8}$ до $12 \cdot 10^{-8}$; l_1 и b_1 близки к единице; S_{T1} примерно равна (для последнего проекта аэроплана $= (2/3 \cdot 3 \cdot 6) : 6^2 = 1/2$)^{1/3}, т. е. относительная боковая поверхность трения корпуса летательного снаряда тоже не очень далека от единицы; коэффициент трения μ (мы знаем по формуле) равен 686 («Аэростат и Аэроплан»); $F_1 = 0,073(d/d_1)KSv^2$ *. Положив тут $d = d_1 = 1$; $S = 1$; $v = 1$, по таблице 719 («Аэростат и Аэроплан») можем найти $F_1 = K = C_y = 7^{3 \cdot 10^{-11}}$. Теперь для второго члена в скобках найдем величину $2 \cdot 10^{-11} 73/3 = 49 \cdot 10^{-11}$. Первый член, значит, будет больше второго по крайней мере в 40 раз ($C_y : 2\mu S_{T1}/l_1 b_1 = 2 \cdot 10^{-8} : 49 \cdot 10^{-11} = 40$), а в лучшем случае в 240 раз, когда C_y больше в 6 раз.

Вот почему мы вторым членом в последнем выражении могли пренебречь. Но какое же его значение? Если мы его во много раз увеличим, например, в 40 или 240 раз, то и тогда потребная мощность двигателя увеличится только в два раза (когда $C_y = 2\mu S_{T1}/l_1 b_1$). Второй член может быть увеличен посредством замены плавной поверхности тела птицы или корпуса аэроплана — решетчатой, сквозной, с балками и тяжами; еще можно увеличить его численное значение расширением помещения или корпуса; тогда его поверхность придется увеличить в 40 или 240 раз, а размеры в 6 или 16 раз, что, пожалуй, излишне; можно также сделать дурной форму тела, заменив птицеподобную призматической; это уже прямо ни к чему, между тем как работа от этого возрастет только вдвое. Все же видно, что недостатки в форме корпуса не имеют слишком большого значения.

* Журнал «Воздухоплаватель», 1908, № 8, стр. 278 (Ред.).

33. Звук от крыльев. Число их колебаний

Воздух под крыльями летательной машины продвигается вниз (приблизительно) в секунду на тангенс наклона ($\operatorname{tg} \alpha$) крыльев к горизонту, умноженный на поступательную скорость движения птицы, т. е. на $v \operatorname{tg} \alpha$.

Размах крыла положим равным длине крыла (l). Тогда число одиночных колебаний крыла будет $v = v \operatorname{tg} \alpha : l$. Тут положим $\alpha = 12^{1/2}^\circ$; $l = l_1 H$,

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,222; \quad v = \sqrt{\frac{g V_{01} S_0}{C_y l_1 b_1}}.$$

Найдем

$$v = \frac{4}{9} \sqrt{\frac{g V_{01} S_0}{l_1 b_1}} : l_1 \sqrt{H C_y}.$$

Следовательно, число колебаний крыльев увеличивается с уменьшением относительной длины и ширины крыла, коэффициента подъемной силы (C_y) и уменьшением размеров существа. В этой формуле положим: $C_y = 25$; $l_1 = 2$; $b_1 = 0,5$; $g = 1$; $S_0 = 1$; $V_{01} = 0,02$. Тогда найдем:

$$v = 0,031 : \sqrt{H C_y} = 45 : \sqrt{H}.$$

Но C_y может дойти до 49 (см. табл.). Следовательно, $v = 62 : \sqrt{H}$. При размере в 1 см (комар) число колебаний будет от 45 до 62 в сек, т. е. может быть слышен очень густой тон от 22 до 31 двойных колебаний в секунду. Вот таблица числа двойных колебаний и соответствующих размеров существ в см:

H , в см	1	2	3	4	5	6	7
Число колебаний; $C_y = 25$	22	16	13	11	10	9	8
Число колебаний; $C_y = 49$	21	22	18	15	14	13	12

Отсюда видно, что могут издавать при полете музыкальный звук насекомые только до размеров 2—4 см, и то очень низкий. Но другое дело, когда насекомое рвется от врага, когда оно усиленно машет крыльями, когда его ловят на оконном стекле, когда оно при безветрии летает на одном месте у цветка, тогда число взмахов может несколько возрасти, и насекомое будет издавать звук, который при ровном поступательном полете оно не издавало или будет издавать звук более высокий, чем раньше. Насекомые с большими (сравнительно с телом) крыльями и с малым, сравнительно, объемом тела — как бабочки — издавать звука не могут. Кроме того, при хорошем, совершенном полете воздух прогоняется в одном направлении — вниз, и потому колебания его, а следовательно, и звука не должно быть. Только несовершенный полет насекомых его дает. У тяжелых насекомых с массивным сравнительно телом, как у некоторых жуков, V_{01} гораздо больше, чем мы положили; поэтому, как видно из формулы, и число колебаний гораздо больше при тех же условиях; так что они издают звук и при больших размерах тела, или же звук получается более высокий при тех же размерах.

34. Полет в движущейся среде

Рассмотрим сначала влияние равномерного прямолинейного и горизонтального потока на движение летающих существ. Благодаря ему, облегчается взлет и спуск существ на землю. Многие, не очень энергичные существа или с очень узкими крыльями, приноровленными к быстрому полету, совсем не могут взлетать с ровных и низких мест при безветрии. Иные для этого кидаются с возвышенного места, другие предварительно разбегаются или прыгают вперед. Цель — приобрести некоторую поступательную скорость, которая, увеличивая встречное давление среды на крылья, уменьшает необходимую для полета энергию.

Для облегчения взлета птица, насекомое или аэроплан становятся головой к ветру, чтобы он дул на распростертые крылья. Тогда подъем совершается легко, потому что птица как бы уже приобрела надлежащую для полета скорость. Потом, уже в воздухе, птица поворачивает и летит, куда хочет.

При остановке или спуске на землю, птица, еще не касаясь земли, поворачивается против ветра и так летит, приближаясь к почве, дереву или крыше. Тут истинная скорость ее движения будет равна скорости ее самостоятельного движения (в неподвижной т. е. среде) без скорости ветра. А так как скорость самостоятельная между известными пределами находится в воле птицы, то она сравнивает эту скорость со скоростью среды и опускается тогда очень медленно, отвесно и без всякого толчка. В самом деле, тогда ее поступательная скорость относительно земли близка к нулю. Ветер ускоряет, замедляет, останавливает движение птицы и даже может сделать его обратным, т. е. птица будет летать хвостом вперед. Хотя этого я еще и не наблюдал, но только потому, что скорость ветра у земли, не очень высока, меньше самостоятельной скорости птицы. При буре же птицы более слабые совсем не летают, потому что возможный при этом полет задом может быть не безопасным для нее, в особенности при спуске. Надо смотреть, куда летишь; когда же двигаешься задом, этого делать нельзя и потому будешь разбиваться о препятствия.

Попутный ветер ускоряет полет существ; а так как скорость ветра порою, в особенности на значительных высотах, достигает 300 км/час, да самостоятельная скорость птиц доходит до 100 км/час, то относительная скорость при полете по ветру будет уже 400 км/час. В 10 час это составит перелет в 4 тысячи верст. Даже невысоко от почвы скорость бури доходит до 200 км/час. Если птица воспользуется хотя бы этим ветром, то пролетит в 10 час 3 тысячи верст. Перелет от полюса к экватору потребует только 30 час, от средней широты (45°) до экватора — 15 час, от 50° до 70° широты — 7 час.

Понятно, что перелетные птицы с нетерпением ожидают благоприятного и довольно высокого ветра, когда они могут с его помощью достигнуть безопасно жарких стран в какие-нибудь сутки, а то и менее. Иногда такой ветер на высотах сопровождается внизу, у самой земной поверхности, обратным течением воздуха, что дает повод некоторым думать, что

птица дожидается не попутного, а противного ветра. Это не только не научно, но также странно, как если бы аэроплан или пароход дожидались противоположного ветра или морского течения для ускорения их хода и сокращения времени путешествия. Предрассудки не истребимы и в науке. Напротив, противный ветер, облегчая взлет и спуск, может очень замедлить полет, остановить его и даже сделать отрицательным и потому очень опасным для крупных летающих существ. Это случится, когда скорость бури будет больше самостоятельной скорости существа в неподвижной среде.

Особенно страдают от противного ветра маленькие существа, каковы насекомые, с их небольшою самостоятелною скоростью. На высотах ветер почти всегда их уносит в сторону своего движения: на север, где они легко погибают от холода, а иногда и приносят людям несчастье, пожирая всю зелень и все труды земледельцев; порою их заносит на юг, где они в изобилии находят пищу и размножаются. Открытый океан также их губит. Но насекомые придерживаются обыкновенно наиболее близких к земле мест, защищенных от ветра травами, кустарниками, деревьями, домами, камнями и т. п. Тут скорость ветра так незначительна, что они легко справляются с ней.

Слабость полета может быть даже заставляет некоторых насекомых совсем отказаться от крыльев, этого обоюдоострого орудия; они теряют или отгрызают себе крылья. Зато, когда нет пищи, или она истреблена, или подходит к концу вследствие наступления холодного времени года или других неблагоприятных условий насекомые и другие летающие существа поднимаются на воздух, и их крылья вместе с движением атмосферы их далеко уносят, в страны обильные и теплые. Птицы для этого действия достаточно умны или хоть снабжены полезным для них инстинктом. Но способны ли к тому же насекомые? Их, естественным образом, может побуждать к полету голод, светлый полдень, солнечная сторона, т. е. юг. Они могут лететь туда, как летят ночные бабочки на свечку. Уже этот инстинкт, очевидно, у них есть и выработан природою. Но противный ветер может и при их стремлении к солнцу унести их к неблагоприятному северу. Одну часть унесет к северу и погубит, а другую к югу и спасет. Без стремления же лететь большинство все равно должно погибнуть от наших лютых холодов.

Кроме того, у существ может быть инстинкт попутного ветра или чувствительность к температуре. В ясную, холодную, сухую погоду часто дуют северные ветры. Холод и низко стоящие осеннее солнце, возбуждая их беспокойство, заставляет их подняться на воздух повыше, где открыто светит солнце и согревает их. Этот северный ветер и приносит их к теплу. Вообще все условия погоды, действуя в совокупности, могут побудить насекомых к полету. Куда бы тогда они не полетели, поток воздуха, будучи сильнее их самостоятельного движения, унесет их к благодатному югу.

Боковой нормальный ветер более или менее ускоряет движение птиц, смотря по его силе. Косвенное же течение то ускоряет, то замедляет полет, судя по его наклону и силе. Но всякий косвенный ветер искажает самостоятельное положение корпуса птицы и направление ее движения. Чтобы достигнуть какой-нибудь точки при полете, она должна направить корпус

в иную точку и лететь к ней. Только тогда она достигнет желаемого пункта. Вследствие этого мы видим, что направление продольной оси летающего существа или машины не совпадает с направлением ее движения относительно Земли, т. е. с кажущимся полетом. Особенно это бывает заметно при бурном движении атмосферы. В пределе, когда движение среды чересчур велико, полет может представиться строго боковым. Итак, он может быть не только задним, но и боковым, когда птица движется вперед правым или левым боком, нормально к продольной оси своего тела.

Закон движения в равномерно движущейся среде может быть выражен так. Вместо движения среды по такому-то направлению с такой-то скоростью представим себе, что почва двигается с такою же скоростью, но в обратном направлении, а атмосфера или иная среда совершенно спокойна. При этом все явления останутся тождественными.

Такое представление облегчает решение задач о явлениях в движущейся среде. Так, мы воображаем, что почва, дерево и птица, сидящая на нем, движутся в неподвижном воздухе. Птица, слетающая с дерева, как бы брошена горизонтально в спокойном воздухе. Она как бы уже приобрела скорость, все равно каким способом. Она маневрирует в воздухе как бы неподвижном. Все движения ее нам понятны и знакомы, так как мы, уже изучили полет в неподвижной среде. Осложняют же явления, во-первых, этот бросок существа, во-вторых, движение почвы. Но это чисто кинематический или геометрический вопрос. Понятно, например, что раз птица пролетела в час столько-то, да земля в это время ушла назад на столько-то, то в результате птица отстанет от какой-либо точки Земли на сумму пройденных обоими телами пространств.

Одним словом, явления в равномерно движущейся среде ничем не отличаются от явлений в совершенно неподвижном воздухе, если бы только и почва, откуда мы наблюдаем явление, была также неподвижна или двигалась совершенно согласно со средой. Немножко, но просто осложняет это явление движение почвы, обратное и равное движению воздуха.

Выясним теперь значение равномерного отвесного или наклонного потока воздуха. Наклонный поток можно разложить на два взаимно перпендикулярных составляющих потока: на горизонтальный и отвесный. Влияние горизонтального мы уже понимаем. Остается рассмотреть отвесный поток. Итак, косвенный поток сводится к отвесному.

Чисто отвесный поток — явление редкое, так как горизонтальный ветер уносит такой поток и делает его косвенным. Отвесные потоки встречаются всюду, в особенности там, где почва не вполне однородна. Но и на море они есть, несмотря на однородность воды.

Тени от облаков, вызывая охлаждение воздуха, утяжеляют его, производят неравномерность давления, которая и может послужить началом падения воздуха в теневой стороне и поднятия в освещенной солнцем. Еще понятнее зарождение этих потоков на неоднородной почве. В таком случае ее части неравномерно остывают и нагреваются и потому не имеют одинаковой температуры. Например, днем от солнца более нагревается суша, чем вода. Над сушей нагревается сильнее и воздух, а потому он образует

восходящий поток, между тем, как над водою образуется ток нисходящий. Ночью, в особенности при ясном небе, бывает обратное.

Суша, покрытая зеленью, испаряющей воду, нагревается от солнца менее, чем открытая почва, в особенности покрытая темным песком, дурно проводящим тепло и сухим. Над ним поднимается вертикальный поток горячего воздуха. Ночью бывает обратное.

Над океаном при однородном небе как будто температура должна быть одинакова, и нет причин возникновения отвесных токов. Но это не так. Сначала возникает случайное поднятие или опускание столба воздуха. Положим, поднятие. От этого воздух с его парами охлаждается, но часть паров от этого ожигается, выделяет скрытую теплоту и потому мешает чрезмерному охлаждению воздуха. Кроме того, он выделяет ожигенные пары воды, которые падают на землю в виде дождя и еще более (помимо нагревания скрытой теплотой паров) облегчают столб воздуха. Соседние столбы атмосферы, притекая на место поднявшихся, напротив, опускаются, но при этом происходит нагревание воздуха только от сжатия, пары же, нагреваясь, не могут выделять своей скрытой теплоты или ожигаться. Поэтому равновесие поднимающихся и опускающихся слоев атмосферы еще более нарушается. При этом главную роль играют пары воды. Потому-то на океане, где их много, особенно после полудня, легко нарушается равновесие вертикальных столбов атмосферы. Лишь бы только оно началось; тогда оно будет продолжаться прогрессивно. Сгустившиеся пары воды восходящего воздуха сначала принимают форму облаков, дающих тень, но эта тень не противодействует нагреванию, так как падает в сторону и охлаждает не вертикальный столб под облаком, а другой соседний, что еще более способствует нарушению равновесия. Действительно, только на экваторе в самый полдень, притом весной и осенью, солнце стоит над головой совершенно отвесно.

Вообще на всех широтах вертикального положения солнца совсем нет, если не считать тропической области, где оно исключительно.

Но может быть и другое происхождение наклонных ветров. Это — неровности почвы, т. е. холмы и горы или наклоны суши. Ветер, встречая их, поневоле поднимается или опускается. Согревание воздуха скрытой теплотой паров и выделение из него влаги в виде дождя еще более усиливает восходящее движение.

Восходящие потоки уменьшают работу аэропланов, птиц и насекомых, нисходящие — наоборот. Они же нарушают и равновесие дирижаблей.

Нисходящие потоки, если они довольно сильны, при несовершенстве аэропланов иногда служили причиною их снижения и гибели в таком неподходящем месте, как лес или город. Вращение воздушного столба также может вызвать восходящий поток. Вихри, циклоны и ураганы дают его. Вращение разрежает воздух, делает его от этого легче, и он поднимается в центре циклона и вызывает обильные ливни. Окружающий воздух, понятно, опускается, а попадая в циклон, восходит кверху.

Возможно, что восходящими потоками пользуются птицы, как пользовался ими Лилиенталь при первых полетах с гор, рождающих восходящие

поток. Ими, наверное, пользуются насекомые, семена, споры растений и низших существ. Какой-то паучок переселяется на своей паутине, поднимаемой восходящим потоком. Впрочем, пыль, паутина, капли тумана и очень мелкие споры, нагреваясь солнцем сильнее воздуха, рожают вокруг себя восходящий поток среды, который уносит их кверху, помимо общего громадного восходящего потока. Испарение капли также уменьшает плотность окружающей ее среды и тем способствует ее поднятию.

Восходящий поток при достаточной своей скорости, малости существа и его обильном оперении может служить средством летания без всякого расхода работы со стороны пернатого.

Напротив, ровный горизонтальный поток не может служить для этого, как бы силен он не был. Его сила не может даже и на одну крышку уменьшить непрерывный секундный расход энергии летающего организма или машины. Только облегчается взлет и спуск, да приходится большее или меньшее пространство относительно Земли. Мощность не изменяется, но работа перелета единицы пути удешевляется или удорожается, смотря по направлению течения. Нельзя того же сказать о влиянии неравномерного воздушного потока, положим хоть горизонтального. Мы видим, как некоторые птицы (например, ястреба) им пользуются, т. е. парят в воздухе, не шевеля крыльями, т. е. не затрачивая никакой мускульной энергии. Это явление мы можем понять и поверить в его правду.

Такой полет, конечно, может быть отчасти облегчен и восходящим потоком воздуха, но мы пока его оставим в стороне и допустим только горизонтально неравномерное движение среды.

Всякий замечал, как треплется флат, как ветер дует толчками, т. е. дает, например в парус, ряд ударов. Это как бы волны воздуха. Но они могут быть малые и большие. Они могут быть разных порядков: самые малые, побольше, еще больше, огромные и т. д. Притом они могут быть одновременны, т. е. самые малые волны в более крупных, последние в еще больших и т. д. Мы разберем простейший случай, когда имеем дело с одним порядком правильных волн, дающих удары подобно волнам звука или волнам воды. Притом возьмем так называемые стоячие волны. Частица воздуха при этом колеблется, как струна, т. е. в данном месте атмосферы воздух приходит в горизонтальное движение, его скорость все увеличивается, затем замедляется, переходит через нуль в обратное направление, усиливается и т. д. Одним словом, он дует то спереди, то сзади. На практике это редко бывает, потому что колебательное движение в атмосфере почти всегда сопровождается ветром. Его значительная скорость, присоединяясь к колебательному движению, дает ток одного направления, но то усиливающийся, то ослабляющийся. Присоединение общего потока, т. е. равномерного горизонтального, мы можем игнорировать, заменив его обратным движением почвы. Тогда останется только переменный поток — взад и вперед, который и рассмотрим.

Если птица, насекомое или аэроплан будут делать при полете горизонтальные круги с таким расчетом, чтобы распростертые крылья подставлялись как раз против дующего переменного ветра, то птица им будет только

подниматься. Она будет парить, лишь изредка подправляя полет взмахами крыльев, когда поток ослабевает. Вихревое движение воздуха при небольшом радиусе вращения может также послужить для парения птицы.

Вообще, неравномерный, преимущественно волнообразный поток может уменьшить мощность птицы, необходимую для ее полета. Однако надо уметь им пользоваться, в чем большие искусники некоторые птицы, например коршуны, ястреба, буревестники, альбатросы и другие парящие. Насекомые и аэропланы, кажется, не обладают этим умением.

Мы можем отнести к полету в атмосфере и летучих рыб, когда они выпрыгивают из воды и летят в воздухе несколько десятков метров. Может быть, они пользуются приобретенной инерцией движения, может быть, делают взмахи плавниками, но более всего, думаю, пользуются противным током воздуха, который на море достигает значительной силы. Он-то, действуя на распростертые обширные плавники, и поднимает рыб на воздух. Но, понятно, это только толчок ветра, порыв, который не может служить непрерывно для летания. Рыба, спустя немного времени должна снова упасть в воду, потерять полученную порывом ветра скорость, снова разбежаться в своей стихии и выпрыгнуть оттуда, чтобы снова парить несколько секунд. Устройство рыбы в отношении дыхания, кровообращения и прочего так несовершенно, что трудно ожидать, чтобы этот кратковременный полет мог превратиться в постоянный — дать начало летающим рыбам, которые собственной своею мощностью могли бы совершать продолжительный полет. Нет! для рыбы самое подходящее, самое отрадное — как можно скорее возвратиться в свою родную стихию.

35. Рыбы и дирижабли

Плавание водных существ, в особенности рыб, можно сравнить с движением дирижаблей и подводных лодок.

Птицы и аэропланы тратят громадную энергию для поддержания себя в воздухе, для противодействия падению, так как в воздухе они теряют только какую-либо $\frac{1}{600}$ часть своей тяжести. Рыбы же, дирижабли и подводные лодки целиком теряют свой вес и не заботятся уже о возможности падения; вся их забота главным образом в быстром поступательном движении, т. е. в преодолении сопротивления среды да в управлении.

Управление состоит: в поднятии и опускании тела, в сохранении желаемого направления, желаемой скорости и желаемого наклона или позы. Мы не будем рассматривать несовершенные формы движения низших существ с помощью ресничек, жгутиков, выбрасывания из полости животного воды и т. д., а прямо приступим к рыбам или к подобию дирижаблей.

Общее вертикальное равновесие водного существа достигается соединением более плотных частей тела с менее плотными, чем вода, т. е. комбинацией костей, мяса, жира, воздуха и т. д. Средняя плотность тела тогда оказывается равна средней плотности воды. Заглатывая воздух из атмосферы в пищеварительную область, рыба становится в среднем менее плотной, чем вода, и потому остается на ее поверхности. Только силою плавников

и хвоста она может тогда опуститься ниже. Но едва их действие прекратилось, рыба всплывает вверх, как пробка. Образование газов в желудке или кишках может послужить к тому же. Выпуская пузырьки воздуха из своих полостей, рыба без заметного расхода сил может стремительно уйти вниз, на дно реки или на желаемую глубину моря.

Этот способ вертикального передвижения водных существ, наиболее желателен для обитателей глубоководных бассейнов, морей и океанов. Действительно, в таких местах воздушный пузырь может сослужить плохую службу, хотя всем, конечно, известно, что и глубоководные рыбы иногда имеют воздушный пузырь.

Сжимаясь при опускании рыбы все более и более, он настолько увеличивает среднюю плотность рыбы, что ее силы уже не в состоянии вытаскать ее наружу, несмотря на энергичные действия хвоста и плавников. Так же при поднятии: газ в пузыре расширяется, что все более и более устремляет рыбу кверху и может кончиться изуродованием существа от увеличения объема пузыря в несколько раз. Во всяком случае, пузырь дает неустойчивое вертикальное равновесие в воде и может послужить если не гибелью, то частым и напрасным расходом сил при возвращении на поверхность океана (особенно большой пузырь). Положим, что он составляет 10% объема рыбы (1000 см^3), т. е. 100 см^3 . При погружении существа только на 5 саженей, пузырь уже сжимается вдвое. Тогда для поднятия рыбы потребуется усилие в 50 г, т. е. 5% ее веса.

При большем погружении это усилие будет приближаться к 100 г. Хорошо, если рыба в состоянии его преодолеть. С небольшой глубины поднятие может удался, с большей же — рыба может замучиться длинным путем и при большом усилии. Стремление вниз — невольное и все усиливающееся — благодаря присутствию большой воздушной полости может увлечь существо на глубину, опасную для целости и правильного функционирования его органов.

Итак, мы думаем, что глубоководные рыбы или плавающие над большой глубиной должны бы в их интересах быть лишены пузыря. Но живущие на поверхности океана могут постоянно стремиться кверху благодаря непрерывному выделению газов во внутренних полостях. Только выбрасывая этот газ, они опускаются без особых усилий. Этот газ может проходить и в пузырь — результат будет тот же.

Непрерывное, хотя и медленное, образование газа может обезопасить и присутствие воздушного пузыря. В самом деле, непрерывное образование газа на глубине в конце концов выведет рыбу из затруднительного положения, так как уменьшит ее среднюю плотность настолько, что она сравняется с плотностью среды, и рыба может свободно подняться на поверхность.

Когда же ее пребывание в глубине необходимо, то непрерывное ожигение, поглощение или выплывание газов может уравновесить существо и оставить его на дне океана.

Для мелководных, пресноводных и небольших рыбок, напротив, воздушный пузырь может быть очень полезным. Он, например, их избавляет

от излишнего накопления жира и дает преобладание мускулам и их силе. Хорошо большим водным существам накапливать жир для вертикального равновесия тела; абсолютная сила их мускулов велика и преодолевает всякую конкуренцию меньших собратьев. Но малым существам с малою скоростью движения выгоднее иметь воздушный пузырь, чем значительно большее количество жира, требуемого для вертикального равновесия тела. Если надо, например, для этого 10 см^3 воздуха, то жиру потребуется, примерно, 50—100 г, т. е. чуть не в 10 раз больше.

Такое сравнительно большое количество жиру не выгодно для маленького слабого существа. Ему выгоднее вместо жира иметь мускулы или другие деятельные органы. Вот почему пузырь так распространен среди водных животных — маленьких и мелководных. Он еще полезен и в другом отношении. Может быть, сжимание его мускулатурой тела служит рыбе для ее опускания, и обратно, бездеятельность этих мускулов — для поднятия. Только это будет чересчур непроизводительным расходом энергии и едва ли этот способ вертикального движения распространен. Гораздо более полезен пузырь, в особенности очень продолговатый или двойной, для придания продольной оси существа надлежащего наклона при косвенном поступательном движении силою плавников или хвоста.

Наклонное положение и так может быть почему-либо нужно. Перегоняя силою мускулов воздух с одного конца пузыря в другой, или из одного пузыря в рядом лежащий, рыба достигает наклонения или поднятия передней части тела.

Мне не совсем понятно, зачем нет у многих рыб устойчивого равновесия тела, благодаря помещению пузыря в брюшной низшей части туловища. Только плавниками и так называемую боковую чувствительной линией тело поддерживается спиною кверху. Если рыбу оглушить или убить, она часто переворачивается брюхом кверху. Может быть, природе легче поддерживать нормальное положение рыбы сложным нервным аппаратом, чем переместить пузырь из брюшной ее части в спинную. Ведь так же мало устойчиво вертикальное положение человека. Не совсем ясно и значение спинных и брюшных плавников у рыб, т. е. плавников не парных, килевых, заменяющих корабельный киль и, конечно, способствующих более правильному прямолинейному движению. Но ведь обходятся же птицы и другие существа без этих второстепенных частей.

Не в том ли причина, что птица приобретает поступательное движение ударами крыльев, действие которых симметрично и не сворачивает птицу в сторону. Рыбы ж главным образом приводятся в движение хвостом. Вот тут-то килевые плавники и удерживают рыбу от излишней вертлявости. Правда, и некоторые рыбы не имеют килевых плавников или имеют их в зачатке. Это длинные винтообразно движущиеся существа.

Может быть, килевые части рыб, уменьшая еще сопротивление отвесному движению, способствуют более быстрому опусканию в глубину и спасению от врагов. Килевые части предупреждают рыбу об узких проходах, где она могла бы без гибких плавников застрять и погибнуть. Только человеческие сети не предвидела природа, в которых благодаря плавникам еще

легче запутаться водному существу, чем без них. У рыб хвост отвесен, а у птиц горизонтален, потому что птице весьма важно соблюдать горизонтальность тела. У рыбы же для этого служат парные плавники и пузырь, да и не опасно для нее нарушение горизонтальности.

Кажутся излишней роскошью и парные плавники, так как поступательное движение отлично развивается ударами хвоста. Но, с одной стороны, плавники служат для поддержания спины наверху, с другой, — они служат средством медленного передвижения, когда быстрое излишне и хвост оказывается чересчур грубым орудием. Так, кузнечик иногда прыгает, а иногда ходит. Также и птицы — то летают, то шагают.

Помимо того, плавники увеличивают, разумеется, точность прямолинейного движения, как и оперение дирижаблей. У птиц для того же служат большие искривленные крылья. Трудность поддержания себя на воздухе заставляет их освободиться от чрезмерной роскоши в роде килевых частей, увеличивших бы вес птицы. Рыба же, в своей плотной среде, может гораздо меньше считаться с массивностью своих частей, вес которых уничтожается противодействием среды.

Поступательное движение водного существа проще, чем воздушного, так как занято исключительно сопротивлением среды, одолением ее инерции и трения, но не борьбой с тяжестью, которой вообще тут нет. Водные существа как бы обитают в среде, свободной от силы тяготения планеты.

Сопротивление рыбы или другого водного животного, как и сопротивление движению летающего, складывается из двух сопротивлений. Первое зависит от инерции среды, которую нужно раздвигать, чтобы давать место движущемуся телу. Его величина зависит от остроты тела, его продолговатости и формы. Форма, подобная рыбе, птице, кораблю, наиболее благоприятна, так как таковая легко раздвигает жидкость без большого расхода энергии. Чем больше продолговатость тела, чем оно плавнее, острее или длиннее при той же площади наибольшего поперечного сечения, тем работа от инерции среды незначительнее. Но тут выступает другой фактор сопротивления: трение среды о тело животного. Эта сила, напротив, тем больше, чем больше поверхность тела, т. е. чем оно длиннее, продолговатее, толще, чем вообще поверхность его соприкосновения со средой больше.

Итак, с одной стороны, мы должны удлинить тело, чтобы уменьшить сопротивление среды от ее инерции, с другой, — укорачивать, чтобы уменьшить работу трения. Отсюда видно, что удлинение хорошей плавной формы наименьшего сопротивления полезно только до известного предела, далее которого удлинение вредно, так как увеличение сопротивления от трения будет более уменьшения сопротивления от ослабления инерции.

Сопротивление от инерции пропорционально площади наибольшего поперечного сечения тела, или площади поперечной его проекции (F_T), перпендикулярной к направлению движения. Далее, оно зависит от формы и продолговатости тела. Это обстоятельство мы выразим особым коэффициентом инерции (K_H), зависящим от формы существа и ее удлиненности. Так что сопротивление от инерции будет:

$$R_0 = C_x v^2 F_T K_H.$$

Здесь C_x означает коэффициент плоскости, или сопротивление единицы площади, при нормальном движении ее в среде с единицею скорости. Предполагая подобие организмов, можем положить, что $F_T = F_{T1}H^2$, т. е. что площадь проекции, как и всякая одноименная площадь, пропорциональна квадрату размеров существа.

Величина трения выразится: $R_T = \mu S_T v^2$, т. е. она пропорциональна коэффициенту трения, относящемуся к единице площади при единице скорости, поверхности тела и квадрату скорости его движения. Тут поверхность тела мы можем положить: $S_T = S_{T1}H^2$, предполагая подобие. Полезно еще величину трения выразить иначе, а именно: положим $\mu = C_x \mu_c$, где коэффициент плоскости (C_x) умножается на особый сравнительный коэффициент трения, который показывает, какую часть оно составляет сравнительно с нормально движущейся такой же площадью.

Итак, полное сопротивление среды будет:

$$C_v F_{п1} H^2 K_{п1} v^2 + \mu S_{T1} H^2 v^2 = (C_v F_{п1} K_{п1} + \mu S_{T1}) H^2 v^2 = \\ = C_v (F_{п1} K_{п1} + \mu_c S_{T1}) H^2 v^2.$$

Первый член в скобках (см. вторую часть) представляет сопротивление от инерции, которое мало зависит от скорости движения и в особенности от размеров подобно изменяющегося тела. Во втором члене, напротив, коэффициент трения (μ) зависит от скорости движения и в особенности от размеров тела в длину. С уменьшением их, как показывают мои опыты, он сильно возрастает.

Отсюда видно, что для очень малых существ, каковы бактерии, инфузории и насекомые, сопротивление от трения должно быть очень велико в сравнении с сопротивлением от инерции. Поэтому первым членом в скобках, где выражено это сопротивление, мы можем пренебречь, т. е. мы можем не беспокоиться особенно о хорошей и удлинённой форме существ: все равно, как бы мы не хлопотали, сопротивление от инерции сравнительно незначительно и не стоит особенной заботы. Вот почему бактерии и инфузории имеют нередко не только нелепую форму, но и не продолговаты; более же крупные существа — насекомые, сохраняя продолговатость, не имеют часто хорошей плавной птицеподобной формы. Явление это относится не только к водной, но, как видим, и к воздушной среде.

Только при значительных размерах птиц и рыб, коэффициент трения уменьшается, что побуждает природу обратить внимание и на сопротивление от инерции. Тогда-то существа преобретают хорошую и продолговатую форму. Все же, чем меньше размер, тем отклонение от совершенной формы больше, а продолговатость меньше.

Когда уменьшается второй член в скобках, зависящий от трения, уменьшением его коэффициента через выделение особой слизи (как у налимовых, угрей и т. д.), тогда и первый член уменьшается увеличением удлиненности тела.

Обратим еще внимание на значение членов в скобках третьей части последних уравнений. Положим, что тело кругловато, т. е. не очень продолго-

вато: тогда сопротивление от инерции ($K_{\text{и}}$) довольно велико, но и сравнительный коэффициент трения довольно велик при микроскопичности тела; поверхность же его, примерно, раза в 4 больше проекции.

Тут оба члена, при малой величине тела, почти равны; а при очень малой — второй член даже больше, что заставляет маленьких существ пренебрегать формой и удлинённостью. Теперь, при значительной величине плавающих или летающих тел, каковы рыбы и птицы, сравнительный коэффициент трения (μ_c) уже становится меньше коэффициента от инерции. Здесь выгодно несколько удлинить тело и улучшить его форму, так как главное тут инерция, трение же незначительно. Но при большом удлинении очень увеличивается поверхность ($S_{\text{т1}}$), а следовательно, и трение. Значит, удлинению тоже положен предел. У громадных кораблей и дирижаблей трение не велико, и потому тут особенное значение имеет хорошая форма и значительная продолговатость. Жаль, что пока мы не имеем средств уменьшать трение кораблей какою-либо слизью.

Работу организма в секунду или мощность двигателя у дирижабля выразим, как и ранее:

$$N_{\text{м}} = (F_{\text{пл}} K_{\text{и}} + \mu_c S_{\text{т1}}) C_y H^2 v^2 (v K_{\text{в}}) = (F_{\text{пл}} K_{\text{и}} + \mu_c S_{\text{т1}}) C_y K_{\text{в}} H^2 v^3.$$

Тут мы сопротивление среды множим на скорость движения и коэффициент винта, тем менее превышающий единицу, чем совершеннее винт у дирижабля или плавники и хвост у рыб. У них этот коэффициент очень близок к единице. Из последнего уравнения видим, что мощность подобно изменяющегося тела должна возрасти пропорционально квадрату его размеров и кубу его скорости. Но с другой стороны она несколько уменьшается при увеличении размеров, вследствие уменьшения коэффициента трения и возможности благодаря этому увеличивать продолговатость тела, от чего уменьшается сопротивление от инерции.

Мощность, приходящаяся на единицу массы существа, или энергия его, будет:

$$\frac{N_{\text{м}}}{m_0} = \frac{N_{\text{м}}}{V_{\text{ол}} \rho H^3} = (F_{\text{пл}} K_{\text{и}} + \mu_c S_{\text{т1}}) \frac{C_y K_{\text{в}} v^3}{V_{\text{ол}} \rho H}.$$

Следовательно, энергия при одной и той скорости имеет возможность уменьшаться с увеличением размеров животного. Она еще более уменьшается от уменьшения трения и сопротивления от инерции. То же относится и к дирижаблям.

Стоимость провоза единицы массы на единицу расстояния, или оценка пути существа, такова:

$$N_{\text{м}} : m_0 v = (F_{\text{пл}} K_{\text{и}} + \mu_c S_{\text{т1}}) \frac{C_y K_{\text{в}}}{V_{\text{ол}} \rho} \frac{v^2}{H}.$$

Значит, расход на единицу пути опять уменьшается с увеличением размеров существа не только от этого, но и от уменьшения коэффициента трения и инерции. Зато этот расход быстро растет с увеличением скорости движения, и обратно. Так, для перемещения тяжестей всего выгоднее медленное движение. Вот почему нет ничего дешевле перевозки грузов по

воздуху и воде при очень малой скорости движения, не говоря уже про попутные течения. Так, если скорость движения уменьшится в 10 раз, то единица пути обойдется в сто раз дешевле. Это удешевление теоретически беспредельно. Если же пользоваться попутными течениями, то еще беспредельней. Ничто не может нам в этом отношении заменить ветра и воды.

Перейдем к организмам. Мы уже знаем, что мощность их не возрастает пропорционально массе или кубу размеров. Это возрастание медленнее, и только допустивши усовершенствование органов движения, дыхания, пищеварения, кровообращения и т. д., мы едва можем рассчитывать на возрастание мощности пропорционально кубу размеров тела или его массе. Пожалуй, возможно и быстрее возрастание в предположении особенного прогресса органов дыхания, кровообращения и т. д., но мы приняли мощность $N_0 = N_1 H^k$, где k в среднем равно $2\frac{1}{2}$. Приравняв эту мощность к требуемой для плавания с определенной скоростью, найдем:

$$v = \sqrt[3]{N_1 H^{k-2} \{ (K_{\text{и}} F_{\text{пл}} + \mu_{\text{с}} S_{\text{тл}}) C_{\text{у}} K_{\text{в}} \}}.$$

В среднем $H^{k-2} = H^{\frac{1}{2}}$. Теперь видим, что скорость существует только чрезвычайно медленно возрастает с размерами (пропорционально $\sqrt[6]{H}$) и то больше от уменьшения сопротивления от инерции и трения.

Все же большие водные существа благодаря усовершенствованию формы, органов движения и других не только легко настигают своих врагов и жертв, но и легко расправляются с ними при помощи громадной абсолютной силы мускулов, остроты зубов и других орудий борьбы.

Но не столько дает преимущества усиленная быстрота, сколько массивность и абсолютная мощь усовершенствованных органов. Огромное значение имеет и увеличение размеров мозга, возможное в значительных размерах только при массивности животных.

Для пароходов и дирижаблей можем в формуле принять $k = 3$; тогда увидим, что скорость будет возрастать пропорционально $\sqrt[3]{H}$, помимо возрастания ее от уменьшения трения при больших размерах и скоростях.

Поперечное сечение большинства рыб есть овал, иногда очень удлинённый. Одним словом, рыба сплюснута с боков и редко в обратном направлении. Это немного увеличивает сопротивление воды при поступательном горизонтальном движении, но представляет громадные удобства в других отношениях. Именно — позволяет рыбе без нарушения плавности формы набивать пищеварительные органы добычей. Кроме того, позволяет быстро двигаться в отвесном направлении, т. е. быстро скрываться от врагов в глубине или на дне, между камнями и водорослями. Это особенно важно для малых и слабых рыбешек, каковые чаще и имеют такую продолговатую в отвесном направлении форму. Где вода мутна, как в прудах, реках и мелководных озерах, там это свойство драгоценно, так как позволяет моментально скрываться в водную муть.

Главный двигатель, пропеллер рыбы — хвост, а парные плавники соответствуют крыльям птицы. Но у нее хвост играет роль направляющую и регулирующую, которая у рыб более исполняется плавниками. Это легко

понять. Форма тела рыб и расположение мускулов таковы, что легко сосредоточивают всю силу тела в хвосте, заменяющего им паровой винт. Плавники же их слабы, так как эти крылья не должны уничтожать их вес, как крылья у птиц. Однако у летучих рыб плавники развиваются и заменяют отчасти крылья. Но они настолько все же слабы, что не могут служить для основательного и продолжительного полета. Наоборот, ныряющим птицам крылья заменяют, может быть, хоть немного плавники.

Течения в воде играют совершенно такую же роль в движении водных существ, как и ветры для птиц в атмосфере. Только течения спокойнее, ровнее и несравненно слабее атмосферических токов. В океанах они особенно слабы и не имеют потому большого механического значения в жизни водных существ. Лишь в реках существа, живущие только в пресной воде, выработали инстинкт, постоянно толкающий их против течения. Без этого стимула все свободно двигающиеся водные животные скоро оказались бы в морской соленой воде, к жизни в которой они не приспособлены.

Более слабые, не одолевающие нормального течения, скрываются на дне, между камнями и водорослями, находя здесь покой. Иные прикрепляются, присасываются или заграждаются от движения неподвижными предметами. Инстинкт размножения у многих морских рыб побуждает их входить в реки и развивать значительную самостоятельную скорость движения, чтобы одолеть иногда быстрое течение воды.

Только колеблющаяся поверхность моря снаружи и на некоторой глубине представляет некоторое подобие волнообразного движения воздуха. Пользуются ли водные существа колебательным движением воды для ускорения своего поступательного движения — неизвестно, но оно вполне возможно с помощью плавников и хвоста. Горизонтально-перпендикулярные к рыбе колебания воды могут приводить в движение рыбу с помощью хвоста, а отвесные колебания — с помощью парных плавников.

Неизвестно также, пользуются ли водные существа ветром для ускорения своего движения. Для этого они должны иметь выдающиеся над поверхностью воды части, что привлекло бы внимание пернатых хищников и потому не могло бы выгодно отзываться на рыбьем роде, имеющем парусные ухищрения. Кажется, однако, что некоторые низшие существа, например парусник или кораблик, двигаются отчасти силою ветра.

Последние формулы дают возможность вычислить скорость рыб или их мощность, потребную для получения данной скорости в воде. Но нужны предварительные опыты или данные из природы и жизни рыб, чтобы получить точные результаты от вычислений. Мне кажется, мореходное дело много бы могло выиграть от таких опытов.

Мы все же произведем одно такое вычисление на основании довольно шатких данных. В формуле положим: $H = 100$ см (рыбы длиной в метр), $F_{\text{пл}} = 1$ дм^2 : $H^2 = 0,01$ (значит, поперечник рыбы раз в 9 меньше длины ее), $K_{\text{п}} = 0,03$; $\mu_{\text{с}} = 0,001$ (мы делаем его меньше чем в воздухе, благодаря рыбьей слизи), $S_{\text{т1}} = (40 \cdot 100 \cdot \frac{3}{4}) : H^2 = 0,3$; $K_{\text{в}} = 1,2$, $C_{\text{х1}} = 0,1 \cdot 800$ кг (на м^2 при скорости в 1 м) = $8,10^{-4}$ гсм, $N_1 = 2,3$. Теперь вычислим: $v = 342$ см или 3,4 м/сек, т. е. 12 км/час.

Эта скорость очень мало изменялась бы с размерами рыб, если бы мощность была постоянной и коэффициент трения не изменялся, но последний очень велик для микроскопических существ и уменьшается, хотя и не очень сильно, для животных более одного метра в длину. Так, если принять в расчет только размер (H) тела, то увеличение его длины в 64 раза (64 м) даст скорость только в два раза большую, т. е. 24 км/час. Уменьшение же в 64 раза (размер 16 мм) дало бы 6 км/час. Но трение играет большую роль при уменьшении размеров, чем при увеличении их, в особенности при размерах микроскопических. Потом, еще более громадное значение имеет ослабление мощности вследствие несовершенства двигательного аппарата низших существ.

Найденная нами скорость все же раза в 3 больше средней скорости течения рек и потому вполне достаточна, чтобы рыба могла одолевать даже довольно быстрое течение, идя вверх по реке.

Для вычисления скорости отвесного движения рыб могут быть употреблены два приема, сообразно способу этого движения.

Первый способ отвесного движения, наиболее совершенный, состоит в наклонении тела вплоть до вертикального положения и затем — в поступательном движении обыкновенным способом силою хвоста или плавников. Такой прием опускания или поднятия в наклонном положении дает наилучший результат, особенно когда животное, спасаясь от врагов, двигается вертикально, хвостом вверх или обратно. Отвесная составляющая скорости движения тогда, конечно, равна: $v_y = v \sin \alpha$, где α — есть наклон * к горизонту в градусах.

Другой способ тихого спуска, почти без расхода сил, состоит в выпускании воздуха из пищеварительной области или плавательных пузырей. Для поднятия этот прием не применим. Но медленное поднятие возможно, так как у рыб в брюшной области возможно непрерывное и невольное образование газов, а может быть и более быстрое, зависящее от желания. Только выпускание их через рот в виде воздушных пузырьков останавливает восходящее движение рыб. Вот при этом втором способе отвесного движения (в отношении его быстроты) полезна сдавленная с боков продолговатая форма поперечного сечения рыб. Уменьшают сопротивление среды и непарные плавники (как и хвост при движении продольном).

Для определения отвесной скорости составим уравнение на том основании, что сопротивление среды равно вертикальной силе, образовавшейся от образования или выпускания газов из существа. Эта последняя сила равна dV_r , т. е. произведению плотности среды на объем газов. Она же равна сопротивлению среды, которое мы выразили ранее. Таким образом, найдем:

$$(F_{\text{пл}}K_{\text{н}} + \mu_c S_{\text{тл}}) C_v H^2 v^2 = dV_r.$$

Отсюда получим:

$$v = \sqrt{dV_r : [C_v H^2 (F_{\text{пл}}K_{\text{н}} + \mu_c S_{\text{тл}})]}.$$

* В смысле угла наклона (Ред.)

Значит, скорость эта пропорциональна квадратному корню из объема выпущенных или вновь образованных газов, нарушивших вертикальное равновесие водного животного. Затем, эта скорость обратна размерам тела (H) и зависит от горизонтальной проекции существа, его поперечных сечений и разных коэффициентов.

36. Молекулярные силы в мире малейших

Странное впечатление должны бы производить молекулярные силы, а также электрические и магнитные, на малые существа, если бы они могли осмыслить эти впечатления.

Да ведь и тяготение и сопротивление воздуха должно им казаться совсем не таким, как нам, как мы уже видели.

Мы почти не замечаем действие частичных и электрических сил, но не таковы они для малых существ.

Наэлектризованные ступени человека, положим, прилипают к почве, как велосипедные шины, обода всех колес, палка и т. д. Сила этого прилипания пропорциональна поверхности соприкосновения или, при подобии животных, квадрату их линейных размеров. Вес же тела пропорционален кубу этих размеров. Поэтому, сравнительно с тяжестью тела, сила прилипания обратна размерам тела ($H^2 : H^3 = 1 : H$).

Это значит, что она возрастает с уменьшением размеров. Если, например, размер существа, хоть человека, уменьшился в тысячу раз, т. е. дошел до 2 мм высоты, то сравнительная сила прилипания увеличилась в 1000 раз. Если она раньше составляла тысячную долю его веса, то теперь уже сравняется с его весом. Тогда человек мог бы уже ходить по потолку кверху ногами, как муха, шагающая над нашей головой. Значит, маленькие существа, благодаря прилипанию, могли бы виснуть кверху ногами, ходить по потолку и отвесным стенам, как это делают насекомые.

Правда, они употребляют для этой цели еще присоски, особый клей, когти и разные зацепки, — но и все эти приспособления действуют по указанному закону, только еще сильнее и потому еще успешнее; так что даже значительных размеров насекомые и маленькие позвоночные выделяют с успехом эти акробатические штуки. Но наш крохотный человек не останавливается все-таки как вкопанный или приклеенный своими подошвами к почве в силу прилипания. Дело в том, что сила мускулов подобно изменяющихся тел пропорциональна тоже квадрату их роста; так что сравнительная сила прилипания по отношению к силе мускулов остается постоянной, несмотря на всевозможные изменения величины животных. Поэтому человек продолжает бодро шагать, вынимая свободно ноги из грязи и преодолевая всякого рода сцепление, которое он мог преодолевать, будучи большим.

Также действуют магнитные и электрические силы. По отношению к силе тяжести тела, они растут с уменьшением существ: поднимают человека к потолку, позволяют ему ходить по отвесным стенам, кверху ногами, заставляют своим притяжением лететь стремглав кверху, к намагничен-

ному потолку или наэлектризованной стене. Но по отношению к его мускульным силам они не изменяются, т. е. лилипут электромагнитные силы свободно одолевает, насколько одолевал раньше, будучи громадным.

Для нас капельки жидкости — синоним малости. Для малых существ они — огромные шары, тянущие или отталкивающие его, смотря по свойству смачивания или несмачивания, смотря по отношению соприкасающихся материалов. Ртутный шарик для маленького человечка покажется упругим, непроницаемым резиновым мячиком тех или других относительных размеров — то больше, то меньше человечка. И в том и другом случае мячики великолепно катаются, отталкиваются рукой, подпрыгивают и т. п. Если же шар водяной или масляной, то он прилипает к руке, втягивает ее, увлекает внутрь, топит в себе, окружает, обволакивает тело. Если бы не сила мускулов, то всякое маленькое существо было бы втянуто смачивающей его жидкостью и ею погублено. При уклонении от подобия это и бывает, как то мы видим в мире насекомых, погибающих от прилипания, благодаря относительной слабости органов движения.

Вот почему большинство насекомых покрыты веществом плохо смачивающимся водою: это спасительно для них.

Смазанное жиром тело или рука человечка отталкивается от воды и водяного шарика, как от ртутного. Поверхность воды, как и ртути, тогда кажется непроницаемой и упругой, как натянутый холст или толстый слой резины. Рука выталкивается из жидкости, образуя в ней ямку. Человек может прыгать в воду и не тонуть, оставаясь даже сухим, как утка. Он может развалиться на поверхности воды, как на роскошном пуховике и отлично выспаться на нем, лишь бы оставался на коже слой, предохраняющий от смачивания. При еще меньших размерах он может ходить по воде, как по упругой сильно натянутой толстой резине, даже как по твердому полу, покрытому мягким ковром, или как по болотной трясине.

Множество насекомых тонули бы в воде, как человек, имея плотность большую, чем вода, если бы не поверхность их тела, дурно смачиваемая водой. Есть вид насекомых, которые обладают этим свойством в высшей степени и потому превосходно бегают на поверхности воды, не погружаясь в нее даже по колена (а едва только касаясь ее).

Для нас почти незаметно поднятие воды в трубке выше ее уровня в сосуде и опускание ртути при тех же условиях. Мы не обращаем внимания и на причудливые формы жидкости в зависимости от окружающих ее проволочных сеток и других тел. Но маленьких существ это должно поражать, если бы только они имели достаточно ума. Нарушение гидростатических законов они видели бы на каждом шагу, и притом в самых грандиозных размерах. Там, в сообщающихся сосудах и бассейнах, жидкость стоит на разной высоте, несмотря на свой покой.

В одной части бассейна высота жидкости выше на целый рост человечка, в другой на 10 ростов; там в какой-либо маленькой кадке, но огромной для человечка, вода принимает вид вогнутого полушара — пустой чаши; там другая жидкость или та же — выпукла, как мяч, так что с нее

все скатывается, там металлические топоры, ломы, утюги и другие очень плотные вещи не тонут в воде, а лежат на ее поверхности; там по легкой жидкости бегают тяжелые живые существа и не тонут.

Странное впечатление должна производить на микроскопических существ громадный купол жидкости или огромная водяная яма с правильной сферической поверхностью. Как приятно иметь лилипуту громадные сферические и другой формы зеркала, то увеличивающие, то уменьшающие, то причудливо искажающие его образ.

Интересны комнаты с водяными стенами, натянутыми между столбами, великолепные водяные сферические потолки, громадные сферические или полусферические водяные, камеры (мыльные пузыри), оптические всех сортов чечевицы из воды или масла; одни из них прекрасно увеличивают, другие уменьшают, третьи зажигают; есть целые сложные телескопы и микроскопы, где все прозрачные части сделаны из воды или масла.

Удивительны и зеркала всех родов (плоские, вогнутые, выпуклые и т. д.) из жидкой ртути в цинковой оправе.

Как красивы кристаллы солей, льда, разных купоросов, щелочей, металлов и всяких простых и сложных тел! Ведь при малой величине они идеально правильны, напротив, чем величина их больше, тем больше и дефектов. Как интересны их сочетания в снежинках! Как, наконец, причудливы формы животной мелюзги, крохотных цветов и т. д. Ученым этот мир открывается только в микроскопе.

Все это не может быть оценено слабым зачаточным умом, несовершенным зрением низших животных. Разумное же существо как будто может о том только мечтать. Так ли это? Неужели чудеса молекулярных явлений совершенно недоступны человеку для живых практических переживаний. Вполне доступны, но при другой силе тяжести. Так, если бы она уменьшилась в 1000 раз, то это было бы равнозначительно уменьшению линейных размеров человека во столько же раз. Т. е. он ощутил бы тоже, что ощущает в молекулярном мире человек в 2 мм ростом. Так говорит механист. Он бы видел и жилища с водяными стенами и сферическими жидкими потолками, и жидкие (упругие) зеркала, и масляные огромные телескопы, и ходил бы по воде, и спал бы на ртутной поверхности.

При малой тяжести и покое правильные кристаллы также могли бы значительно возрасти в размерах. Но микроскопический мир и некоторые другие явления остались бы в том же отношении к человеку, несмотря на уменьшение тяжести. Особенно при полном отсутствии тяжести.

Но,— скажет читатель,— разве можно уменьшить силу тяжести? Правда, это трудно и на земле почти невозможно это сделать на продолжительное время.

Но если человеку удастся со временем завоевать солнечную систему, на что уже надеются некоторые мыслители и ученые, то почти полное отсутствие тяжести мы найдем во множестве уголков планетной системы. Например, на самых малых астероидах, на кольцах Сатурна, на малых лунах. Затем, кажущееся отсутствие тяжести мы увидим во всех снарядах,

путешествующих между планетами, пока на них нет взрывания, и во всех искусственных жилищах, построенных человеком в эфирном пространстве и движущихся по инерции с планетарной скоростью.

37. Рост человека уменьшается в два раза при соблюдении подобия

Если рост его был 180 см, то теперь будет 90 см (аршин с четвертью). Поверхность тела уменьшается в 4 раза, объем — в 8 раз. Во столько же раз уменьшается вес и масса. Если, например, он весил 64 кг (3 пуда 33 фунта), то теперь весит 8 кг (19 фунтов). Объем, масса и вес мозга так же, как и всех других органов, уменьшается тоже в 8 раз, поверхность — в 4, а линейный размер — в 2 раза. Отсюда видно, что память, воображение, мир идей, сумма представлений о прошедшем и будущем должны уменьшиться в 8 раз; способность соображения должна значительно ослабнуть, так что едва ли наш субъект, наш карлик мог бы понять, сообразить и описать свои ощущения. Нам самим приходится это сделать за него.

Только при другом устройстве мозга, при другом отношении между его частями, при атрофировании многих из них разум может остаться достаточной силы.

Если нет упрощения органов питания, кровообращения, дыхания, выделения и т. д., то энергия, или количество работы, выделяемой в единицу времени на единицу массы существа, должна увеличиться в 2 раза. Действительно, при подобии мощность (см. 4) уменьшается в 4 раза, а объем в 8 раз; следовательно, на единицу объема или массы придется энергии в 2 раза больше, чем раньше. Здесь подразумевается общая сумма энергии: тепловой, кинетической и т. д.

Вследствие укорачивания нервных путей вдвое, быстрота ограниченных соображений карлика увеличится в 2 раза. Общее (абсолютное) выделение теплоты уменьшится в 4 раза, что вполне будет соответствовать уменьшению поверхности тела, так что его температура, как будто, должна бы остаться прежней. Но холод будет глубже проникать в тело и потому температура центральных частей его хоть немного должна понизиться, что несколько отзовется на умственной деятельности: то в сторону повышения ее, когда температура среды высока, то в сторону понижения, когда температура среды низка. Относительный объем поглощенной пищи, кислорода и выделений должен увеличиться в два раза. Если прежнее существо поглощало 4 кг пищевых веществ, то карлик будет поглощать один килограмм, что по отношению к массе тела будет вдвое больше. Таким образом, наш карлик будет довольно прожорлив. Ему на обед надо сравнительно вдвое более длинная колбаса, стакан и хлеб двойного объема.

Относительная кинетическая энергия, им выделяемая, или его механическая энергия, будет вдвое больше. Например, он будет вдвое быстрее восходить на гору или лазить по лестнице, вдвое быстрее бежать, если принимать в расчет только трение и пренебречь сопротивлением воздуш-

ной среды. Сравнительная земляная работа его будет вдвое больше, а ка-
жущаяся даже — в четверо. Так, если нормальный человек устроит 1 зем-
лянку или выроет одну могилу, то карлик в то же время сделает для себя
4 землянки или 4 могилы, сообразные своему росту.

В самом деле, масса вырытой земли уменьшается в 8 раз, а работа
ее поднятия надвое меньшую высоту, значит, уменьшится в 16 раз.
Между тем как мощность уменьшилась только в 4 раза. Следовательно,
сравнительно с земляной работой она будет в 4 раза больше. Ходы, про-
копанные маленьким человеком, будут в 4 раза длиннее или в 4 раза
сравнительно шире, глубина колодцев относительно размеров тела в 2 раза
больше, обширность или площадь прудов будет в 4 раза больше, длина
плотин — также. Но относительная площадь распилки, разреза или рас-
калывания останется та же, т. е. наш карлик может спилить то же число
соответствующих его размерам деревьев в лесу.

Абсолютная сила мускулов уменьшится в 4 раза, так что борьба с по-
добными ему великанами или вообще с людьми большого роста окажется
невозможной: карлик будет побежден и, увы, может быть съеден. Но от-
носительная сила мускулов возрастет вдвое. Так что если он ранее поды-
мал руками одного человека, то теперь с такою же легкостью подымет
двух себе равных.

Сравнительное сопротивление костей раздроблению увеличится вдвое.
Если, например, нормальный человек свободно носит себя и еще одного
такого же человека на плечах (всего двоих), то карлик, считая и его са-
мого, понесет вдвое больше, т. е. четырех, а без него — трех, т. е. на пле-
чах у него свободно могут сидеть трое. Вообще, здоровый нормальный
человек легко носит двоих таких же, как он; значит, карлик понесет 6 та-
ких же карликов, считая и его, а без него — 5. Покажется, что карлик
может тащить бревно вдвое длиннее, или, сравнительно, вдвое тяжелее.
Он может волочить по земле камни вдвое объемистые, везти вдвое более
тяжелую и нагруженную двойным грузом телегу. Только наклоняться ему
при этом придется вдвое сильнее: выйдет иллюзия сильного напряжения.

Абсолютная безопасная высота падения будет вдвое больше, но срав-
нительно с размером тела она будет в 4 раза больше. Если нормальный
человек может падать безвредно для себя с высоты своего двойного рос-
та, то карлик может безопасно упасть с высоты своего увосмиренного
роста. Если я могу безнаказанно упасть с крыши одноэтажного дома, то
карлик может, не опасаясь, свалиться с крыши четырехэтажного.

Сила карлика позволяет ему рвать проволоки и веревки такой же срав-
нительной величины, как и прежде, когда он имел нормальный рост. От-
носительная толщина ломаемых палок, изогнутых стержней и изломан-
ных его силою вещей, остается неизменной. Время обработки орудий и
производства других вещей, пропорционального ему размера, остается тем
же. Т. е. производительность такого труда не изменяется.

Работа всякого мускула при одном сокращении уменьшится в 8 раз,
так как напряжение будет в 4 раза меньше, да величина сокращения его
вдвое короче. Вследствие этого прыжок останется той же абсолютной

величины, но относительная величина прыжка увеличится. Действительно, человек нормального роста, подготавливаясь к прыжку, распрямляется на 30 см и подпрыгивает, положим, на столько же, всего поднимает тело на 60 см. На столько же поднимают мускулы и карлика, но распрямление ног будет у него только в 15 см. Остается подъем над почвой в 45 см. Значит, по отношению к росту, прыжок будет вдвое больше. Если нормальный субъект перепрыгнет через стол, то карлик — через соответствующий его росту забор.

Если бы при работе число мускульных сокращений в минуту осталось тем же, то абсолютная работа уменьшилась бы в 8 раз, а энергия осталась бы неизменной. Но мы знаем, что последняя у карлика в два раза больше; следовательно, число мускульных сокращений в единицу времени должно увеличиться вдвое. Иначе говоря, частота движений, число взмахов руками, ногами и головою должно возрасти вдвое. Карлик покажется не только силачом, неподражаемым прыгуном, но и очень живым, быстрым и поворотливым. Абсолютная скорость бега, принимая пока в расчет одно трение, будет вдвое больше, как и одоление всяких препятствий, соответствующих массе карлика; но относительная скорость будет вчетверо больше. Так, если нормальный подымается в секунду на шаг, то карлик, в то же время, подымется на 4 своих шага. Абсолютная высота бросаемых камней соответственного веса остается та же, но относительно роста она будет вдвое больше.

Так, если нормальный кинет камень, величиною в кулак, на высоту в 10 раз большую своего роста, то карлик бросит камень в свой кулачок на высоту в 20 раз большую своего размера. Если первый перебросит вещь через свое жилище, то карлик перебросит ту же вещь соответственного размера через дом вдвое больший по отношению к нему. Кроме того, карлик свои метательные орудия, или свои камни и стрелы будет бросать в два раза чаще. Удар руки или другого члена будет пропорционален его массе, т. е. в 8 раз меньше, так как скорость вооруженной или невооруженной руки останется та же. Итак, относительная сила кулака или молота останется неизменной, но частота ударов удвоится.

Плавание будет легким, так как энергия карлика будет вдвое больше.

Из всего сказанного мы видим, что борьба с тяжестью для карлика значительно легче, что он энергичнее, живее, даже абсолютно быстрее.

Что же мешает людям меньшего роста преодолевать и вытеснять в борьбе за существование людей нормального роста? Прежде всего — уменьшение абсолютной силы мускулов. В борьбе с тяготением они выигрывают, но в борьбе с существами большего размера — проигрывают. Кроме того, уменьшение в 8 раз объема мозга должно сопровождаться не только ослаблением логической способности, но и представлений о будущем. Уменьшается предусмотрительность, расчетливость, социальные свойства, любовь и единение с близкими и друзьями, уменьшается сила ума в борьбе с природой и с конкурентами.

Если у карлика сложность внутренних органов уменьшится вдвое, то абсолютная энергия (см. 4) уменьшится не в 4, а в 8 раз; так что не за-

метим удвоенной быстроты движений, но земляные работы и борьба с тяжестью все же покажется гораздо успешнее. Проявления мускульной силы будут такие же, как описано, прыжки — также.

При средней энергии и сложности внутренних органов (см. 4), когда $k = 2,5$, и быстрота движений карлика будет средней между двумя крайностями, т. е. увеличится в 1,4 раза ($\sqrt{2}$). Прыжки, бросание и другие проявления мускульной силы останутся неизменными.

Мы видим, что борьба с тяжестью при подобии и малых размерах более чем успешна. Поэтому является возможность укрощения органов пищеварения, дыхания, кровообращения и т. д. Также излишними оказываются толстые пропорциональные ноги, толстые мускулы и крепкие кости или другие опоры. Мы как раз все это видим в лестнице животного мира: в мире сухопутных позвоночных и насекомых.

38. Увеличение размеров человека вдвое с соблюдением внешнего и внутреннего подобия

Вместо 1,8 м рост будет в 3,6 м (5 аршин). Объем, масса и вес увеличатся в 8 раз. Вместо 64 кг наш великан будет весить 512 кг (около 30 пудов).

При соблюдении внутреннего подобия физиологические процессы усиливаются только в 4 раза, т. е. пропорционально поверхности органов дыхания, выделения и т. д. Вследствие этого абсолютная мощность возрастет только в 4 раза, а энергия уменьшится вдвое. Значит, на единицу массы придется в единицу времени работа в два раза меньшая.

Абсолютная сила мускулов и двигательных членов возрастет в четверо. Сравнительно же с тяжестью тела она уменьшится вдвое. Если раньше человек мог носить на плечах лишь одного себе равного, то великан ничего на себе не понесет: вся его мускульная сила будет поглощена возросшею в 8 раз массой его тела. Для работы великана, для переноски грузов, для устройства жилищ — силы уже не хватит; великан и сам будет едва тащиться. Малейший напор на него будет валить его с ног. Если же нормальный ранее поднимал двух себе равных, т. е. нес всего троих, то великан понесет не трех таких же великанов, а только полтора (вдвое меньше), а за вычетом самого себя, останется груз, равный половине тяжести великана. Итак, свободная относительная грузоподъемность уменьшится в 4 раза.

Работа мускула при одном сокращении увеличится в 8 раз, т. е. относительная его работа останется та же. Но так как мощность великана возросла только в четверо, то число мускульных сокращений в единицу времени, или их частота уменьшится вдвое. Великан покажется нам медленным, вялым. Когда он сделает одно движение рукой, нормальный сделает их два, а карлик — 4. Сердце будет биться медленнее, дыхание будет реже, движение кишок слабее и т. д.

Вследствие увеличения длины нервных путей и сложности мозга все соображения, впечатления, решения и другие продукты умственной

деятельности замедлятся вдвое. Но мозг приобретет значительную силу. Число идей может увеличиться в 8 раз. Соответственно этому может возрасти память, представления о прошлом, настоящем и будущем. Увеличится запасный умственный материал, предусмотрительность, соображение, способность одолевать силою ума природу и соперников меньшего объема. Молодость будет обильна радостями, а старость богаче страданиями. Все чувства и страсти достигнут изумительной силы. Но что все это при бессилии физическом, при отсутствии работоспособности и отягчения всех сил весом собственного тела!

Могло произойти уклонение от подобия в толщине опорных органов, в усложнении и усовершенствовании организации, но утолщение и развитие одних членов поведет к регрессированию других. Фигура получится неуклюжая, слонообразная, с маленьким сравнительно мозгом и с полуатрофированными очень важными органами, без которых борьба за существование окажется невозможной. Как бы то ни было, но средний рост двуруких и других животных остановился на определенном размере и уже тысячи лет его не переходит. Видно, есть какие-либо препятствия к дальнейшему усовершенствованию и развитию линейного размера животных.

Потребная для борьбы с тяжестью работа великанов возрастает в четвертой степени роста, потому что соответственные размеру грузы увеличиваются в 8 раз (в кубе), да высота поднятия их увеличивается в 2 раза; итого работа возрастает в 16 раз. Между тем, абсолютная мощность увеличилась только в 4 раза, следовательно, энергия (в отношении борьбы с тяготением) пала в 4 раза. Значит, абсолютная скорость передвижения, поднятия, земляных работ и т. д. уменьшается в два раза, а относительная — в 4. Если максимальная сила поднятия нормального составляет один человек, то подобный ему великан совсем лишается способности прыгать. При дальнейшем увеличении роста он лишается и способности ходить, даже поднимать или двигать органы передвижения и механической работы. Дольше всего сохраняется способность шевелить пальцами, но и она, когда великан достигнет достаточного роста, исчезает, потому что и их тяжести он уже не в силах более преодолеть.

Количество экскрементов, мочи, половых и других выделений увеличивается только в 4 раза, следовательно, относительное их количество уменьшается вдвое. Значит, половая сила также ослабляется и выражается меньшим числом потомства за тот же промежуток времени: число рождений уменьшается. Температура внутренних частей тела может быть немного выше.

39. Рост человека уменьшается в 100 раз при соблюдении подобия

Возможность соблюдения подобия для внутренних органов тут едва ли осуществима, но мы допустим ее. Теперь мы уже имеем дело с настоящим лилипутом. Рост его 18 мм, поверхность в 10 000 раз меньше, а объем, масса и вес — в миллион раз меньше нормального, а именно: его вес будет равен 0,063 г, или 63 мг. Почти столько же весит обыкновенная капля воды.

Относительная сила его мускулов увеличится в 100 раз; он будет поднимать грузы в сто раз большие сравнительно с массою его тела. Относительная крепость его костей и других опорных частей увеличится в 100 раз. На него можно навалить 200 существ ему равных и ни одна косточка у него не треснет, ни один мускул не дрогнет, он великолепно их потащит, только сохранить равновесие на плечах этим двум сотням лилипутов будет трудненько... Относительная энергия возрастет в 100 раз (см. 37 и 38). Во столько же раз увеличивается сила разрушения и созидания.

Борьба с тяжестью, земляными работами и переносом грузов облегчится в 10 000 раз, т. е. лилипут выроет 10 000 землянок, соответствующих его росту, когда нормальный выроет только одну. Канал, вырытый им в одно время с нормальным, будет сравнительно с ростом тела в 10 000 раз длиннее. Частота сокращений мускулов увеличится в 100 раз, так что движение рук, ног и других членов невозможно будет уловить: они делают до 100 и более колебаний в секунду, и потому издают при своем колебании довольно низкий тон.

Относительная работа одного мускульного сокращения останется та же, и потому абсолютная высота полного прыжка (считая и предварительное распрямление членов) останется та же, но кажущаяся его величина увеличится по отношению к размеру тела в 100 раз, а поднятие над почвой — в 200 раз. Лилипут будет легко, без разбега, перепрыгивать через 20-этажные дома и лужи, которые представятся ему озерами и реками. Скорость вертикального поднятия и горизонтального движения, если не считать сопротивления воздуха, увеличится в 100 раз, а относительно размера тела — в 10 000 раз.

Абсолютная величина бросания камней останется та же, но относительная — увеличивается в 100 раз. Кроме того, это бросание, как и прыжки, могут повторяться в 100 раз чаще, чем у нормального. Кажущаяся сила удара кулака та же, но частота их также во 100 раз больше.

Плавание не стоит ни малейшего труда, так как относительная сила мускулов возрастет в 100 раз, как и быстрота плавательных движений.

Воздух лилипуту в сравнении с весом его тела покажется в 100 раз гуще. Ветер также покажется (в этом же отношении) в 100 раз сильнее. Так что он не только может его волочить по земле, но и поднять на воздух — при секундной его скорости в 3—4 м. Это самый обыкновенный средний ветер. Но лилипут не беспомощен даже против сильнейшего ветра, так как в 100 же раз увеличивается и его ценкость и сила мускулов.

Наш лилипут может падать с какой-угодно высоты: сопротивление воздуха не даст ему падать с такой скоростью, при которой он мог бы расшибиться о землю; он может падать хоть с облаков.

Маленькие крылья, взятые в руки при их целесообразном движении, дают нашему гомункулюсу полную возможность летать.

Капли воды кажутся ему громадными шарами столь же массивными, как и его тело. Из воды с глицерином он может себе строить целые дворцы с прозрачными стенками.

Намазанный салом, наш лилипут валяется на поверхности воды, как на ковре и не думая тонуть. На лакированных и несмачиваемых лыжах он свободно шмыгает по воде, как по льду. Напротив, жидкости, смачивающие его тело, втягивают его в свою глубь с очень большою силою, сравнительно с весом его тела. Для рук же, не смачиваемых водою, капли и мыльные пузыри кажутся упругими, как резиновые мячики.

Брошенные в воду лилипутом его сравнительно очень тяжелые утюги, топоры, ломы и другие орудия, смазанные салом, преспокойно плавают на воде. В силу волосности жидкости поднимаются по трубам и высота эта кажется карлику огромной. Роса на цветах принимает чудные формы. В капли, повисшие на листьях, лилипут смотрится, как в зеркало и отлично видит свою несколько искаженную рожицу. Из тонкой проволоки он устраивает кольца; в них помещает капли масла и устраивает так оптические чечевицы, а из них — великолепные микроскопы и телескопы.

Выделительные процессы ускоряются в 100 раз и число, например, рождений во столько же раз увеличивается.

В такой же пропорции увеличивается кажущаяся ежедневная порция пищи. Лилипут съест 100 хлебцев в свою голову величиною в то время, в которое нормальный съест один хлеб величиною в его голову.

Нервные и мыслительные процессы ускоряются в 100 раз, но память, воображение, запас идей почти отсутствуют. Человек живет моментом, не представляя себе ни прошедшего, ни будущего. О смерти и рождении он не имеет ни малейшего понятия. Над преобразованием своей жизни после смерти не задумывается. Чувства боли, страдания и радости почти нет. Перед нами скорее хорошенькая машинка-автомат, чем чувствующий человек...

Мы предположили у лилипута такую же сложность органов, как у нормального человека. Это почти невозможно. Поэтому мы получили и очень преувеличенные выводы об относительном могуществе маленького человечка. Возможное изменение энергии, пропорциональное степени $2^{1/2}$ (см. 4). Это средний показатель. Высший показатель — три, когда величина мелких деталей органа остается неизменной, несмотря на рост. Например, величина альвеол, потовых желез, мальпигиевых телец, остается одна и та же как у маленького, так и крупного организма, а число их возрастает пропорционально кубу роста.

Тогда с уменьшением размеров упрощается строение и доходит до простоты одноклеточного. Но это также крайность, ибо при возрастании существ их сложность не так быстро увеличивается. Если принять средний показатель, то относительная мощность, или энергия, возрастет у нашего лилипута только в 10 раз ($\sqrt[3]{100}$). Во столько же раз увеличится абсолютная скорость движений и частота колебаний органов. Так что звука они уже издавать не будут, ибо число двойных колебаний едва ли будет превышать 16.

Борьба с тяжестью будет победоноснее в 1000 раз. Сила мускулов, высота прыжков останутся те же.

Что же мешает человеку регрессировать и превратиться в лилипута, если так велики выгоды малых размеров? Во-первых, абсолютная сила органов у больших существ все-таки больше, и в борьбе малым существам придется плохо; а во-вторых, сила мозга, соображений, предвидений, расчетов, хитростей, уловок — у больших существ все же преобладает, что еще дает победные шансы в борьбе.

Будь иная сила тяжести на нашей планете — и размер наиболее совершенных существ, как впрочем и всех других, изменился бы. Например, при уменьшении тяжести в 6 раз (такая на Луне) рост человека мог бы возрасти в 6 раз, масса в 216 раз, сила мускулов в 36 раз, умственные силы в 216 раз. Такой человек благодаря силе своих членов и обширному уму оказался бы победителем, несмотря на то, что в борьбе с мертвой природой маленькие люди имели бы более преимуществ. Этот великан в 10 м высоты оказался бы (при соблюдении внутреннего и внешнего подобия) неповоротливым существом, хотя и свободно двигающимся и прыгающим, как нормальный на Земле, только в 6 раз медленнее. Но абсолютная сила мускулов и ума покорила бы ему все живое меньших размеров.

Напротив, если бы тяжесть возросла в $2\frac{1}{2}$ раза, как на Юпитере, то порода людская должна бы умалиться ростом в $2\frac{1}{2}$ раза, иначе собственный вес людей на Юпитере отнял бы у них работоспособность и даже возможность передвижения. Человечек был бы в 72 см (1 аршин) ростом, имел бы мозг в 16 раз меньше объемом и весом и был бы, конечно, очень ограниченным в умственном отношении субъектом. Все другие животные также должны бы уменьшиться ростом, и потому человек, может быть, остался бы и в этом мире победителем и царем природы. Но прогресс в отношении борьбы с мертвой природой был бы, вероятно, очень слаб. Нельзя было бы ожидать того развития индустрии, которое теперь наблюдается на Земле и которое, как мы надеемся, возрастет до трудно вообразимой теперь величины.

На лунах, Марсе, Меркурии и других маленьких планетах можно бы ожидать большого роста существ и сильнейшего развития мозга, если бы не препятствовали тому другие неблагоприятные условия.

Действительно, для водных существ Земли сила тяжести как бы отсутствует, так как уравнивается тяжестью жидкости. Однако мир водных животных не превысил своим совершенством мир существ наземных. Что же помешало высшему развитию морских существ? Почему победили наземные, несмотря на сильное ограничение их размеров и массы силою тяготения? Отсюда видно, что нельзя придавать исключительное значение силе тяжести и игнорировать другие неизвестные условия. Правда, большое сопротивление среды при движении существ могло препятствовать их развитию. Но это сопротивление все же побеждается огромными размерами их, хорошей формой, скользкой кожей и т. д. На маленьких же планетах (астероидах или планетоидах) сопротивления может и не быть, кроме того, которое представляет разряженная атмосфера. Однако там могут быть другие неблагоприятствующие условия: малая поверхность планеты, отсутствие разнообразия элементов, чересчур скудные атмосферы

и т. д. Мы видим, как ограничено, а иногда и совсем невозможно, развитие жизни на маленьких изолированных островах Земли.

Вот когда человечество найдет возможность во всем своем объеме жить в среде без тяжести, в безграничном эфире, окружающем наше Солнце, — тогда уже песня будет иная. Тогда можно будет ожидать беспредельного размножения, строжайшего отбора и высокого совершенствования человека. Тогда и отсутствие тяжести даст шансы на улучшение людской породы.

40. Прогресс и регресс роста низших существ

В настоящее время биологи допускают не только прогресс, но и регресс живого. Регресс этот может выражаться и уменьшением массивности без особенного упрощения строения.

Таким образом, могли получиться очень сложного устройства существа и вместе с тем микроскопические.

Вообразим себе прогрессирующим в росте какое-либо низшее существо. Вот, положим бактерия. Размер ее без усложнения органов увеличился, положим, в 1000 раз и пусть достиг длины 1 см. Спрашивается, что она выиграла? Абсолютная мощность ее увеличилась в миллион раз (пропорционально поверхности), но относительная (или энергия) уменьшилась в 1000 раз. Абсолютная скорость движения ее в жидкости осталась почти без изменения. Значит, шансы на успешную борьбу с малыми врагами или добычей почти не изменились. Относительная быстрота роста такой гигантской бактерии уменьшится в 1000 раз против нормальной бактерии — будет ли этот рост производиться на счет солнечной или пищевой энергии. Относительная сумма выделений также уменьшается в 1000 раз. В числе этих выделений находятся и половые, т. е. деторождение. В этом отношении ее микроскопический предок производительнее в 1000 раз. Он затемнит от знаменитого потомка и свет солнца, отнимет питательные жидкости и добычу.

Итак, конкуренция будет невыгодна для больших бактерий, если они не будут иметь более совершенную организацию.

Теперь вообразим прогрессирующим в росте более совершенное и крупное существо, например, какое-либо летающее насекомое. Пусть, например, рост комара увеличился в 100 раз с соблюдением подобия внешних и внутренних органов. Размер комара в длину тогда достигнет одного метра. Вес этого несчастного существа увеличится в миллион раз, между тем как сила мускулов и сопротивление опорных органов только в десять тысяч раз. Понятно, что бедное насекомое будет придавлено тяжестью к земле. Оно не только не будет в состоянии ходить или летать, но не в состоянии будет и распрямиться. Крылья повиснут от собственной тяжести. Брюшко будет расплющено и вытечет. Сам корпус не выдержит своего веса и погибнет. Что же должно быть с насекомым или другим низшим существом, чтобы оно могло успешно бороться с природой, несмотря на свои увеличенные размеры?

Очевидно, что нужно для этого усовершенствование органов. Например, ножки должны быть сравнительно толще, все опорные части массивнее и крепче, мускулы сравнительно сильнее или объемистее, органы питания, кровообращения, дыхания, выделений и т. д. совершеннее. Органы чувств — выше. Одним словом, должно быть все то, что мы и видим, смотря с высоты птичьего полета на бесконечную лестницу живых существ. Без прогресса органов невозможен и прогресс роста.