

# Перегрузки. Невесомость

Центрифуги. Проблемы организма человека при перегрузках, невесомости и способы их преодоления при длительных полетах



"Как известно, знание – сила; вряд ли человек, не имеющий никакого багажа знаний, сможет открыть что-то новое для человечества, да и не только для человечества, а просто для себя".

«Знания составляются из мелких крупинок ежедневного опыта»

Д.И. Писарев

"Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством, сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околосолнечное пространство".

К.Э. Циолковский

На сегодняшний день люди сумели проникнуть за пределы атмосферы, но еще пока не завоевали все околосолнечное пространство. Какие были трудности и сложности в самом начале этого тернистого пути? Да и вообще нужно ли было человечеству осваивать космос?

Вспомним третий закон Ньютона:

"Если опора действует на тело, то и тело должно действовать на опору с такой же по значению силой".

Действие и противодействие — силы одной природы.

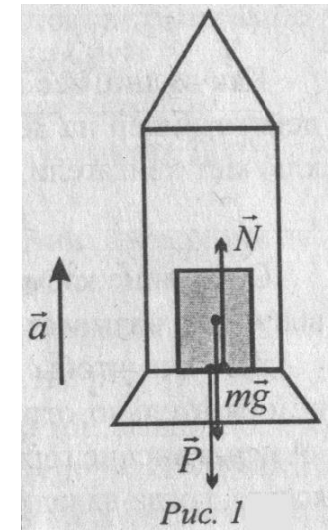
Реакция опоры  $N$  есть сила упругости, значит, и вес тела возникает при деформации тела.

Не только тело, падая, деформирует опору или подвес, но и опора деформирует тело.

Да-да, все тела, стоящие сейчас на столе перед вами, слегка сжаты, настолько мало, что никто на это не обращает никакого внимания.

И лично вы, встав с постели на пол ногами и деформируя пол, сами деформируетесь (сжимаетесь) на 2—3 см.

Что же должен чувствовать человек, находящийся на борту космического корабля?



«Я почувствовал,- вспоминал Гагарин,- какая-то непреоборимая сила все больше и больше вдавливает меня в кресло. И хотя оно было расположено так, чтобы до предела сократить влияние огромной тяжести, наваливающейся на мое тело, было трудно пошевелить рукой и ногой...»

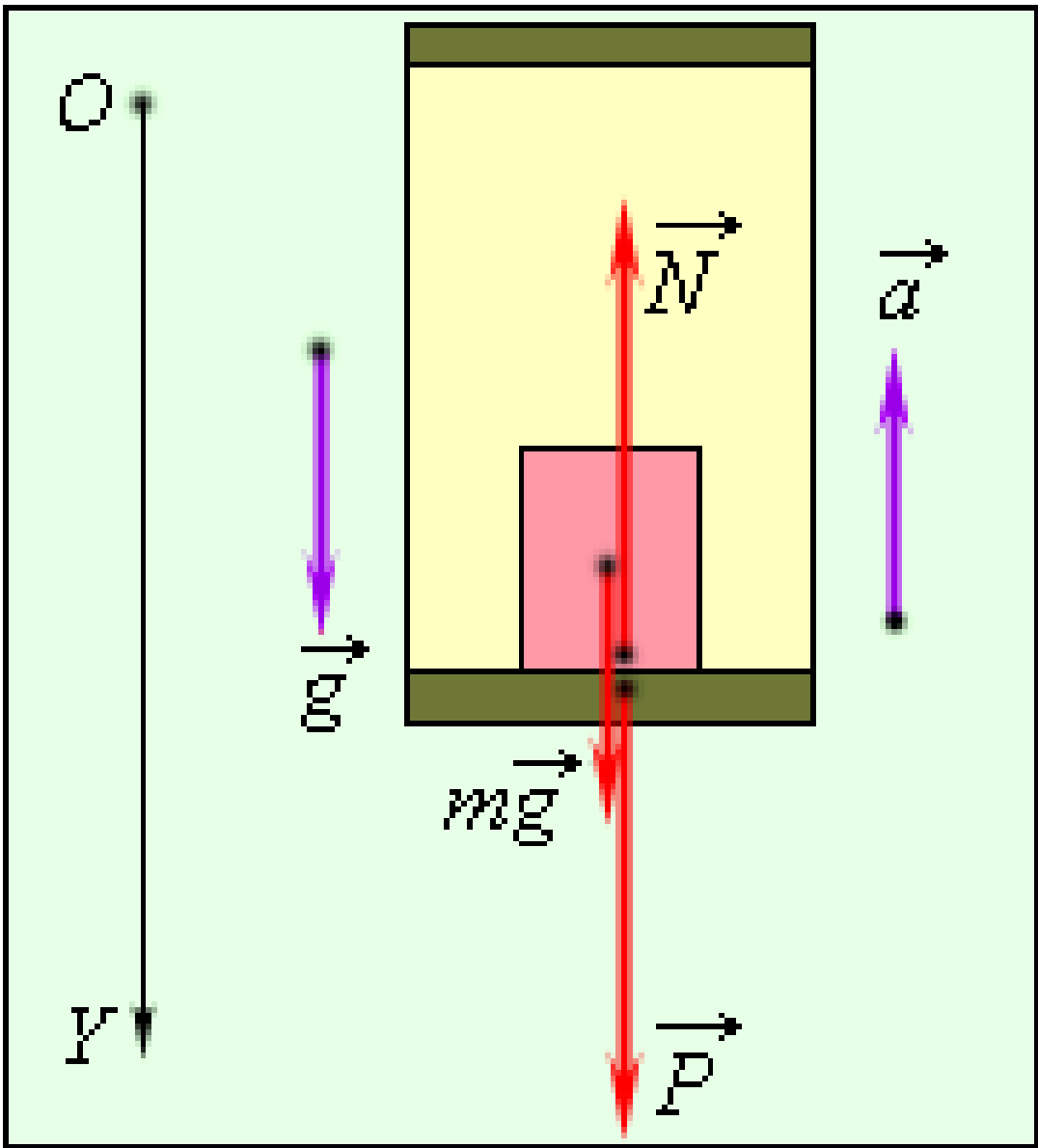
После включения ракетного двигателя, когда ракета-носитель начинает разгоняться, на человека массой  $m$  в космическом корабле будут действовать две силы: сила тяжести  $mg$  и сила реакции опоры  $N$ . Так как ускорение ракеты  $a$  направлено вверх, то преобладающей оказывается сила реакции опоры:  $N > mg$ . Их равнодействующая  $F = N - mg$  по второму закону Ньютона равна произведению массы на ускорение:  $N - mg = ma$ ,

откуда  $N = mg + ma$ .

Вес космонавта  $P$  по третьему закону Ньютона равен по величине силе реакции  $N$ , поэтому  $P = mg + ma = m(g + a)$ .

До старта ракеты вес космонавта был равен силе тяжести  $mg$ . Теперь, как это видно из последнего равенства, его вес увеличился, превысив силу тяжести на величину  $ma$ .

Состояние тела, при котором его вес превышает силу тяжести, называют **перегрузкой**.



**Перегрузки – это увеличение веса тела по сравнению с силой тяжести.**

**Перегрузки характеризуются коэффициентом перегрузки:**

$$k = \frac{mg + ma}{mg} = 1 + \frac{a}{g}$$

## Примерные значения перегрузок, встречающихся в жизни

Человек, стоящий неподвижно	1
Пассажир в самолёте при взлёте	1,5
Парашютист при приземлении со скоростью 6 м/с	1,8
Парашютист при раскрытии парашюта	до 10,0 (По-16, Д1-5У)
Космонавты при спуске в космическом корабле «Союз»	до 3,0—4,0
Лётчик спортивного самолёта при выполнении фигур высшего пилотажа	от -2...-3 до +12
Перегрузка (длительная), соответствующая пределу физиологических возможностей человека	8,0—10,0
Наибольшая (кратковременная) перегрузка автомобиля, при которой человеку удалось выжить	179,8



## Влияние перегрузок на организм человека

### Физиологические эффекты перегрузок:

Ускорение	k	Эффект
2g	3	Движение затруднено
3g	4	Ходьба невозможна
4g – 6g	5 – 7	Нечеткость зрения, потеря зрения

Центрифуга — устройство, (машина или прибор), служащее для разделения сыпучих тел или жидкостей различного удельного веса и отделения жидкостей от твёрдых тел путем использования центробежной силы. При вращении в центрифуге частицы с наибольшим удельным весом располагаются на периферии, а частицы с меньшим удельным весом — ближе к оси вращения.

Центрифуги применяются в лабораторной практике, в сельском хозяйстве для очистки зерна, выдавливания мёда из сот, выделения жира из молока (см. сепаратор), в промышленности для обогащения руд, в крахмало-паточном производстве, в текстильном производстве, в прачечных для отжима воды из белья и т. п.

Высокоскоростные газовые центрифуги применяются для разделения изотопов, в первую очередь изотопов урана в газообразном соединении (гексафториде урана UF<sub>6</sub>).



Вот помещение круглой формы с рядами окон, расположенными в верхней части стены. Здесь находится уже известная нам центрифуга.

Научный сотрудник усаживает в кресло центрифуги человека, тщательно проверяет крепления специальных датчиков, которые воспринимают и передают на приборы, записывающие биопотенциалы коры головного мозга (электроэнцефалограмму), сердечной мышцы (электрокардиограмму), некоторых скелетных мышц (электромиограмму), проверяет правильность регистрации кровяного давления, дыхания и т.д., инженеры еще раз просматривают, все ли в порядке в сложной регистрирующей аппаратуре. Подается команда. Вращение начинается.

Что чувствует человек, находящийся в кресле? Какие изменения физиологических процессов регистрируют чуткие приборы?

Уже при перегрузках в 2 g вес тела человека заметно возрастает. При увеличении перегрузок до 3—4 g это ощущение заметно усиливается; неодолимая сила клонит голову вниз, вдавливая ее в плечи. Производить какие-либо движения удастся лишь с трудом.

В дальнейшем при нарастании ускорений появляется особое тянущее ощущение в груди. Ступни и голени кажутся увеличенными в объеме, иногда появляются судороги икроножных мышц. Кровь отливает от головы, зрение ухудшается. Если ускорение продолжает нарастать, то наступает потеря сознания.

Что же видно на лентах регистрирующих приборов? Кривая записи дыхания показывает сначала его учащение, потом оно становится неправильным (продолжительный, медленный и затрудненный вдох, быстрый, форсированный выдох). Часто видны длительные задержки дыхательных движений на середине вдоха.

Кровяное давление в верхней части тела падает, а в сосудах, расположенных ниже уровня сердца, повышается. Амплитуда зубцов электрокардиограммы снижается. Падает насыщение крови кислородом.

Соответствующие изменения видны и на электроэнцефалограмме.

Все указанные выше явления развиваются только в том случае, если действие перегрузок продолжается относительно большое время и если они направлены от головы к ногам.

То, как человек переносит ускорения, прямо зависит от их величины, длительности и направления по отношению к оси тела.

Большую роль также играют индивидуальные особенности организма.

Различают так называемые продольные перегрузки (действующие в направлении от головы к ногам и от ног к голове) и поперечные, действие которых направлено перпендикулярно к вертикальной оси тела (от груди к спине, слева направо и наоборот). Когда организм человека испытывает перегрузки в направлении голова — ноги, под влиянием механических сил смещаются органы, расположенные в полостях тел а (печень, сердце и др.).

В результате могут появиться временные нарушения функции этих органов. Если перегрузки действуют в обратном направлении (от ног к голове), то расположенные в брюшной полости органы в силу инерции прижимаются к диафрагме, что приводит к затруднению дыхания и сердечной деятельности. Из жидких сред организма кровь более всего смещается под влиянием ускорений, так как, протекая по крупным сосудам, она представляет собой большой столб жидкости. Силы ускорения вызывают перераспределение крови, ее прилив к голове или отлив в зависимости от направления действия инерционных сил.

Последовательность явлений, развивающихся в кровеносной системе, когда действуют перегрузки, направленные от головы к ногам, будет примерно следующая (при этом кровь накапливается в нижней части тела, преимущественно в брюшной полости, ногах). Приток крови к сердцу снизу, по венам будет затруднен, а отток от головы облегчен. Уменьшится количество крови, выталкиваемой сердцем. Следствием всего этого явится значительное падение давления крови внутри черепа с последующей анемией (малокровием) мозга. Ухудшится кровоснабжение жизненно важных центров головного мозга, следовательно, они будут испытывать недостаток кислорода (гипоксию). Особенно чувствительна к гипоксии сетчатка глаза. Поэтому, когда падает давление крови в этих местах, зрение быстро нарушается, появляется так называемая «черная пелена» (темнеет в глазах). Если падение давления будет продолжаться, то может наступить потеря сознания.

Наиболее ранний внешний признак нарушения деятельности головного мозга — изменение биоэлектрической активности мозга (электроэнцефалограммы) и появление зрительных расстройств. Если при действии центробежных сил производится запись электроэнцефалограммы, а это всегда делают в опытах на центрифуге, то еще до появления нарушений зрения экспериментатор видит приближающуюся угрозу и может своевременно прекратить вращение.



Силы, действующие в противоположном направлении — от ног к голове — вызывают обратные изменения в кровоснабжении головного мозга. При этом кровь притекает к голове, давление в сосудах мозга повышается, возможны кровоизлияния в сетчатку глаза.

Интересно, что при действии таких ускорений все предметы кажутся окрашенными в красный цвет. Это явление известно под названием «красная пелена».

Длительность действия ускорения также играет первостепенную роль. Кратковременные перегрузки, продолжающиеся доли секунды, переносятся значительно лучше, и это понятно, ибо за такой короткий промежуток времени значительного перемещения крови наступить не может, так как для преодоления ее инерции надо известное время. Если же перегрузки действуют значительное время, они вызывают отчетливые изменения даже при меньшей их величине.

Большую перегрузку организм может вынести только в том случае, если она продолжается какие-то доли секунды. И наоборот: длительная перегрузка удовлетворительно переносится, если сравнительно невелика.

По мере возрастания величины перегрузки, направленной от ног к голове (или длительности ее действия), кровь все сильнее приливает к лицу, появляется пульсирующая головная боль («мозг как будто разрывается»). Ощущение такое, будто глаза выпирают из орбит, под веками чувствуется песок; при этом все предметы кажутся окрашенными в красный цвет. При значительной величине ускорения сознание затуманивается. Как выглядит человек, испытывающий действие подобной перегрузки? Красное, налитое кровью, одутловатое лицо с выступающими на носу и щеках кровеносными сосудами, набухшие веки, слезящиеся глаза. Анализ электрокардиограммы показал бы значительные ее изменения. Частота сердечных сокращений уменьшена (брадикардия), кровяное давление в сонной артерии повышено.

Перегрузки, действующие в направлении от груди к спине и наоборот, переносятся значительно легче, чем продольные. Это понятно, ибо их влияние на систему кровообращения невелико, так как у человека нет значительных кровеносных сосудов, направленных в поперечной плоскости, следовательно, при действии ускорений не будет иметь место перераспределение крови. Правда, и в этом случае наступает ряд неприятных явлений, но при значительно больших величинах перегрузки.

При действии перегрузки в направлении грудь — спина наступает затруднение вдоха вследствие сжатия грудной и брюшной полости. Появляются боли в подложечной области и за грудиной. Пульс учащается, но умеренно; кровяное давление повышается. На активном участке полета космического корабля (взлет) и при торможении в плотных слоях атмосферы (спуск на Землю) на космонавта действуют довольно значительные перегрузки.

Кресло пилота в кабине корабля должно быть расположено так, чтобы перегрузки действовали на космонавта преимущественно в направлении грудь — спина (спина — грудь) или слева направо (справа налево). В этом случае без вреда для организма переносятся значительно большие ускорения. Но и при этом направлении действия перегрузок наблюдаются довольно большие индивидуальные различия в переносимости ускорений. Поэтому перед полетом необходимо многократно испытать устойчивость космонавтов к тем ускорениям, которые ожидаются в полете. Таким образом, одним из видов подготовки космонавтов, очевидно, можно считать испытания на центрифуге при действии перегрузок, близких по длительности, величине и направлению к тем, которые ожидаются в реальном полете.

Можно ли защитить человека от действия увеличенной силы тяжести, повысить его устойчивость к перегрузкам?

Такие способы есть, и их несколько. Прежде всего, это тренировка. Повторное воздействие перегрузок на центрифуге или в полете на самолете способствует повышению устойчивости к действию ускорений. Занятия физкультурой с применением специальных комплексов упражнений также приведут к цели. Кроме того, существуют, если можно так выразиться, технические пути повышения переносимости перегрузок. Они основаны на разработке специальных средств, которые помогают организму бороться с описанными выше нарушениями, тем самым, улучшая состояние человека при действии повышенной гравитации. К таким средствам относится так называемый противоперегрузочный костюм. В подкладку этого костюма вмонтированы резиновые надувные камеры. При действии ускорений в них автоматически подается сжатый воздух, создавая тем большее давление, чем больше перегрузка (сделать это позволяют специальные клапаны, пропускающие воздух). Обжимая тело, костюм препятствует смещению крови. В результате этого устойчивость к перегрузкам значительно повышается (на 1,5—2 g).

Пытаются использовать и другой принцип. По-видимому, наиболее эффективным окажется способ, предложенный еще К.Э. Циолковским. Сущность этого способа наглядно была продемонстрирована им в следующем опыте. Опустив яйцо в кружку с соленой водой (плотность воды была такова, что яйцо находилось во взвешенном состоянии), К.Э. Циолковский прикрыл кружку рукой, и с силой ударил ею о стол. Яйцо не разбилось. Значит, жидкость предоохранила яйцо от действия ударной перегрузки.

Идея защиты от действия перегрузок при помощи жидкости соответствующей плотности экспериментально проверялась рядом ученых, как отечественных, так и зарубежных. Все они указывают на большую перспективность этого метода. Казалось, что проблема близка к решению. Однако имеется еще много неясных вопросов. Например, следует учитывать, что ткани тела человека имеют не одинаковую плотность, более тяжелые под влиянием ускорений все равно будут смещаться, больше даже, если все тело погружено в жидкость, поэтому абсолютной защиты такой способ не дает, хотя повышение переносимости перегрузок, безусловно, будет.

Кроме того, погружение в жидкость связано со многими неудобствами. Самым радикальным решением вопроса является снижение величины перегрузок. Они должны быть по величине вполне переносимыми организмом без какой-либо дополнительной защиты.

Нужно думать, что и эту задачу наши замечательные инженеры решат, как решили многие другие не менее сложные проблемы.



Горение свечи на Земле (слева) и в невесомости (справа)



Для понимания сути невесомости можно рассмотреть летящий по баллистической траектории самолёт. Такие методы применяются для тренировки космонавтов в России и США. В кабине пилота на нитке подвешен грузик, который обычно натягивает нитку вниз (если самолет покоится, либо движется равномерно и прямолинейно). Когда нить, на которой висит шарик, не натянута, имеет место состояние невесомости. Таким образом, пилот должен управлять самолётом так, чтобы шарик висел в воздухе, а нить не была натянута. Для достижения этого эффекта самолёт должен иметь постоянное ускорение  $g$ , направленное вниз. Другими словами, пилоты создают нулевую перегрузку. Длительно такую перегрузку (до 40 секунд) можно создать, если выполнить специальную фигуру пилотажа (которая не имеет названия, кроме как "провал в воздухе"). Пилоты резко подаются на снижение высоты, при стандартной высоте полета 11 000 метров это и дает требуемые 40 секунд "невесомости"; внутри фюзеляжа имеется камера, в которой тренируются будущие космонавты, она имеет специальное мягкое покрытие на стенах, чтобы избежать травм при наборе и сбросе высоты. Подобное невесомости чувство человек испытывает при полетах рейсами гражданской авиации при посадке.

Невесомость объясняется тем, что сила всемирного тяготения, а значит и сила тяжести, сообщают всем телам одинаковое ускорение  $g$ . Поэтому всякое тело, на которое действует только сила тяжести или вообще сила всемирного тяготения, находится в состоянии невесомости.

Кратковременное состояние невесомости испытывал каждый. В таком состоянии находится прыгун с момента отрыва от Земли и до момента приземления; пловец, прыгающий с вышки, до соприкосновения с водой. Даже бегун в короткие промежутки времени между касаниями ногой земли. Длительное состояние невесомости возникает при свободном полете космического корабля.

Невесомость далеко не безобидна для человеческого организма, но для науки она открывает новые возможности. Можно, например, смешивать жидкости, которые на Земле невозможно перемешать; получать в 50—100 раз быстрее и в 10—20 раз чище, чем на Земле, вещества, необходимые для изготовления лекарств и полупроводников

## **Особенности деятельности человека и работы техники в условиях невесомости**

В условиях невесомости на борту космического аппарата многие физические процессы (конвекция, горение и т.д.) протекают иначе, чем на Земле. Отсутствие силы тяжести, в частности, требует специальной конструкции таких систем как душ, туалет, системы разогрева пищи, вентиляции и т.д. Во избежание образования застойных зон, где может скапливаться углекислый газ, и для обеспечения равномерного смешивания теплого и холодного воздуха, на МКС, например, установлено большое количество вентиляторов. Прием пищи и питье, личная гигиена, работа с оборудованием и в целом обычные бытовые действия также имеют свои особенности и требуют от космонавта выработки привычки и нужных навыков.

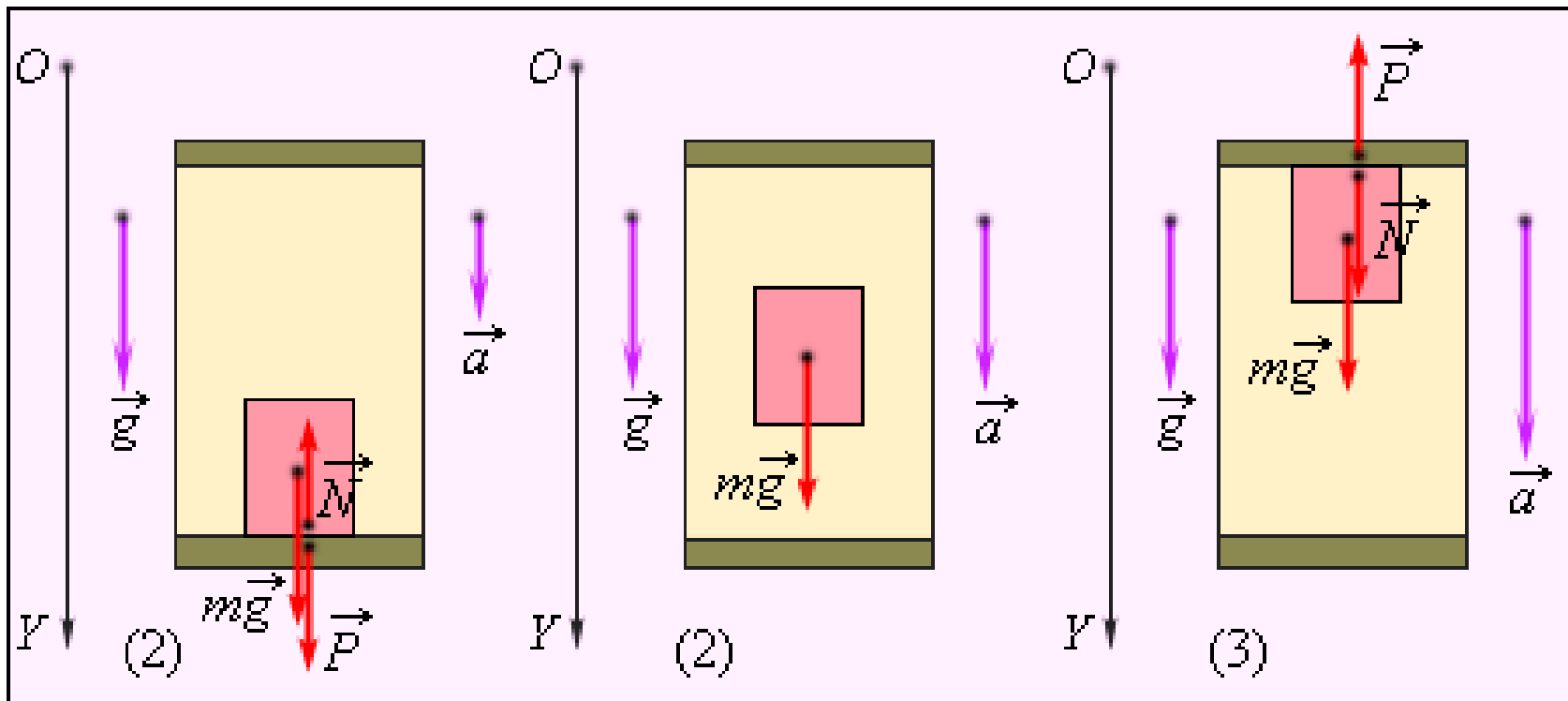
Влияние невесомости неизбежно учитывается в конструкции жидкостного ракетного двигателя, предназначенного для запуска в невесомости. Жидкие компоненты топлива в баках ведут себя точно так же, как и любая жидкость (образуют жидкие сферы). По этой причине подача жидких компонентов из баков в топливные магистрали может стать невозможной. Для компенсации такого эффекта применяется специальная конструкция баков (с разделителями газовой и жидкой сред), а также - процедура осадки топлива перед запуском двигателя. Такая процедура состоит во включении вспомогательных двигателей корабля на разгон; создаваемое ими небольшое ускорение осаживает жидкое топливо на днище бака, откуда система подачи направляет топливо в магистрали.

## Воздействие невесомости на организм человека

При переходе из условий земной гравитации к условиям невесомости (в первую очередь- при выходе космического корабля на орбиту), у большинства космонавтов наблюдается реакция организма, называемая синдромом космической адаптации. При длительном (несколько недель и более) пребывании человека в космосе отсутствие гравитации начинает вызывать в организме определённые изменения, носящие негативный характер.[\[1\]](#)

Первое и самое очевидное последствие невесомости — стремительное атрофирование мышц: мускулатура фактически выключается из деятельности человека, в результате падают все физические характеристики организма. Кроме того, следствием резкого уменьшения активности мышечных тканей является сокращение потребления организмом кислорода, и из-за возникающего избытка гемоглобина может понизиться деятельность костного мозга, синтезирующего его (гемоглобин).

Также есть основания полагать, что ограничение подвижности нарушит фосфорный обмен в костях, что приведёт к снижению их прочности



**Вес тела в ускоренно движущемся лифте. Вектор ускорения направлен вертикально вниз.**

- 1)  $a < g, P < mg$ ;
- 2)  $a = g, P = 0$  (невесомость);
- 3)  $a > g, P < 0$

А что же происходит, если направления ускорения ракеты и ускорения свободного падения совпадают (рис. 2)?

В этом случае равнодействующая сила  $F = mg - N$  сообщает космонавту ускорение  $a$ :

$F = ma$ , тогда  $mg - N = ma$ ,  
откуда  $N = mg - ma = m(g - a)$ ..

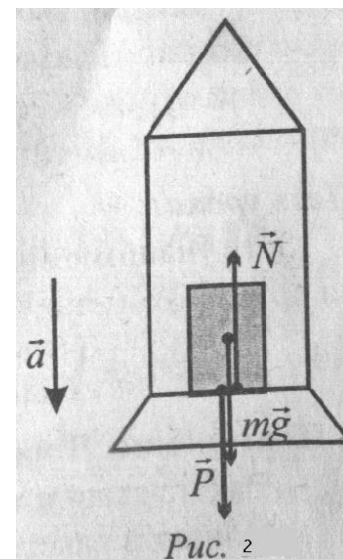
Следовательно, вес космонавта

$$P = N = m(g - a).$$

Как видно, вес космонавта уменьшается по сравнению с силой тяжести, действующей на Земле. В частности, когда ракета выходит на орбиту и выключает двигатели, ускорение ракеты  $a = g$ . Поэтому вес космонавта

$$P = m(g - a) = 0.$$

Состояние космонавта (впрочем и любого тела), при котором его вес равен нулю, называется невесомостью.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое перегрузка? Когда она наступает?
2. Что называют коэффициентом перегрузки?
3. Во сколько раз увеличивается вес тела при  $n$ -кратной перегрузке? Почему?
4. Какие силы действуют на космонавта в стартовой ракете? Как они направлены? Какая из них больше? Сделайте соответствующий рисунок.
  
5. Что такое невесомость? Когда она возникает?
6. Как невесомость влияет на организм человека?
7. Какие силы действуют на человека в лифте, движущемся с ускорением вниз? Как они направлены? Какая из них больше? Сделайте соответствующий рисунок.



## Список литературы

1. Кабардин О. Ф., Орлов В. А., Пономарева А. В. «Факультативный курс физики» 8 (9 класс) М.: «Просвещение» 1989 г., с 84-88.
2. Энциклопедия для детей «Техника » т. 14 М.: Аванта+ 2000 стр 184-198.
3. Энциклопедия « Я познаю мир. Изобретения» .Минск « Харверт», М.: « АСТ» 2000 стр 394-424
4. Энциклопедия для детей « Физика» т. 16 М.: « Аванта+» 2000 стр. 379-380
5. Межжорин Ю.А. « Космонавтика СССР» М.:»Машиностроение », « Планета» 1987 стр. 220-232
6. Гагарин Ю. А., Лебедев В. « Психология и космос» Издательство ЦК ВЛКСМ « Молодая гвардия» 1976 стр 151-175
7. Кац. Ц. Б. « Биофизика на уроках физики» М.: « Просвещение» 1988 стр. 21-24
8. Космодемьянский А.А. « К. Э. Циолковский» М.: «Просвещение» 1980, стр114-120
9. Перельман Я.И. «Занимательная физика» т.1, г.2 «Тяжесть и вес. Рычаг. Давление» М.: Наука 1983 г. стр 31-41
10. Браверан Э. М. «Вечера по физике в средней школе» гл. «Космос», М. : Просвещение 1969, стр. 116-128
11. Газенко О.Г., Григорьев А. И. и др. «Адаптация человека к невесомости» Соросовская энциклопедия «Современное естествознание» том 2, М.: «Мастер пресс» 2000 г. стр. !61-189
12. Газенко О. Г. , Григорьев А. И. и др. «Физиологические проблемы невесомости». М.: «Медицина» 1990 стр. 190-193
13. Интернет- ресурсы.