

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

**ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО МЕХАНИКИ ДЛЯ ПРОСТЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**РЕФЕРАТ**

студента 1 курса 151 группы  
направления 09.03.04 Программная инженерия  
факультета КНиИТ  
Мартиросьяна Артёма Андраниковича

Проверено:  
доцент

\_\_\_\_\_

О.А. Черкасова

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Появление «золотого правила механики».....	4
2 Простейшие механизмы.....	6
2.1 Рычаг.....	7
2.2 Наклонная плоскость.....	9
2.3 Блоки.....	10
2.3.1 Неподвижный блок.....	11
2.3.2 Подвижный блок.....	12
2.3.3 Система блоков.....	13
2.4 Ворота.....	14
2.5 Винт.....	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18

## ВВЕДЕНИЕ

Ещё тысячи лет назад, до появления сложных технологий, человечество сталкивалось с задачами, которые требовали огромных усилий: передвижение тяжестей, строительство зданий, подъём воды из колодцев. Люди искали способы облегчить труд — использовали брёвна как катки, длинные шесты для рычагов, примитивные блоки. Но без понимания физических законов это было методом проб и ошибок, а иногда — неоправданными затратами сил и времени.

Почему «золотое правило механики» стало прорывом? Оно дало точный расчёт: во сколько раз механизм уменьшает нужное усилие, во столько же раз увеличивает расстояние. Это позволило не просто угадывать, а конструировать эффективные инструменты — от рычагов Архимеда до современных подъёмных кранов.

В этом реферате пойдёт речь о том, как золотое правило работает в простых механизмах, и будет подтверждено, что даже древние технологии, основанные на нём, остаются гениальными и сегодня.

## 1 Появление «золотого правила механики»

Герон Александрийский — один из крупнейших ученых-энциклопедистов древности, автор целого ряда сочинений по математике и механике. Научное творчество Герона чрезвычайно велико и многообразно. Он был математиком, механиком-теоретиком и практиком, талантливым инженером. Несколько работ Герона посвящены механике, одна из которых — трактат «Механика» — единственное полностью дошедшее до нас общее руководство по античной статике. Трактат состоит из трех книг, первая из которых содержит вопросы теории. Вторая книга «Механики» посвящена классификации, описанию, действию и практическому применению пяти «простых машин» (рычаг, блок, винт, ворот, клин). В ней содержатся отрывки из ранних произведений Архимеда: «Книги опор» и «Книги о рычаге», известных только в передаче Герона и по сохранившимся комментариям к ним Евтокия и Симпликия. В третьей книге описаны различные устройства для поднятия тяжестей и виды процессов как комбинаций «простых машин».

В то же время Герон рассматривает точки приложения сил не в состоянии равновесия, а в процессе нарушений этого равновесия, то есть следует и принципам кинематического направления статики. Он доказывает, что при применении машин груз перемещается медленнее: «что выигрывается в силе, то проигрывается в скорости» — знаменитое «золотое правило механики», которое считают элементарной формой принципа виртуальных перемещений. Герон так сформулировал основной закон работы машины: «Если при пользовании машиной требуется увеличение силы, то в результате происходит замедление, ибо чем менее движущая сила по отношению к движимой тяжести, тем больше потребуется и времени; таким образом, сила к силе и время ко времени находятся в том же самом обратном отношении», не используя понятие скорости, ведь его в античной механике еще не было.

Исходя из этого принципа, Герон объясняет действие уже не «простых машин», а их комбинаций. Он рассматривает два типа таких комбинаций: комбинации однородных машин (сочетания по несколько блоков, воротов и рычагов) и комбинации неоднородных машин (сочетания ворот-винт, блок-рычаг и т. д.). Сопровождая описание этих механизмов числовыми примерами, он на каждом из них демонстрирует «золотое правило механики».

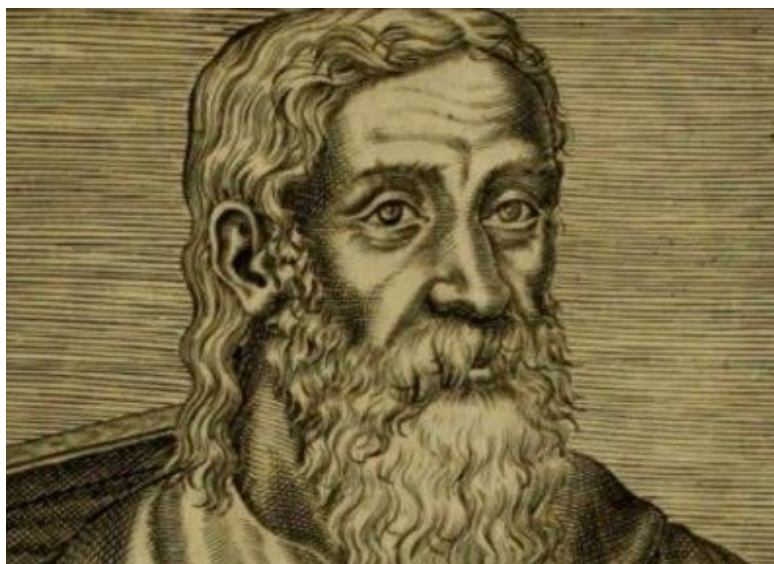


Рисунок 1.1 — Герон

Наиболее характерны для конца первого тысячелетия нашей эры сочинения крупнейшего ученого-энциклопедиста X в. Ибн Сины. Хотя трактат «Мерило разума» Ибн Сины абсолютно лишен даже элементов теории и представляет собой чисто практическое руководство, значение его в истории науки о механизмах велико. Это вторая в истории механики попытка классификации машин и механизмов.



Рисунок 1.2 — Ибн Сина

В дальнейшем характерна уже совершенно иная тенденция. В трактатах этого времени обычно рассматривается какой-либо один вид простых машин, приводится максимально строгая его теория и затем дается описание и классификация всевозможных механизмов и устройств, являющихся его модификациями. [1]

Для различных механизмов «золотое правило механики» выглядит по-разному, общий вид математического выражения:

$$F_1 \cdot S_1 = F_2 \cdot S_2$$

где:  $F_1$  и  $F_2$  — приложенные силы,  $S_1$  и  $S_2$  — пути, пройденные под действием этих сил

Золотое правило является следствием закона сохранения механической энергии (при отсутствии потерь на трение):

$$A = const, A_1 = A_2$$

где:  $A_1$  — полезная работа,  $A_2$  — полная работа

На практике приходится различать полезную работу  $A_1$ , которую нужно совершить при помощи механизма в идеальных условиях отсутствия каких-либо потерь, и полную работу  $A_2$ , которая совершается для тех же целей в реальной ситуации. Отношение полезной работы к полной называется коэффициентом полезного действия (КПД) механизма:

$$\eta = \frac{A_1}{A_2}$$

В реальности часть энергии теряется на трение, поэтому  $\text{КПД} < 100\%$ . [2]

## 2 Простейшие механизмы

Простейшие механизмы — приспособления, которые дают возможность не только тратить меньше энергии на выполнение работы, но и делать ее с большей скоростью и эффективностью. Для большей наглядности «золотого правила механики» будут рассмотрены 5 простейших механизмов: рычаг, наклонная плоскость, блоки, ворот и винт.



Рисунок 2.1 — различные устройства, работающие по принципу «золотому правилу механики»

## 2.1 Рычаг

Рычаг - это твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси. Основные части: точка опоры и сам рычаг.

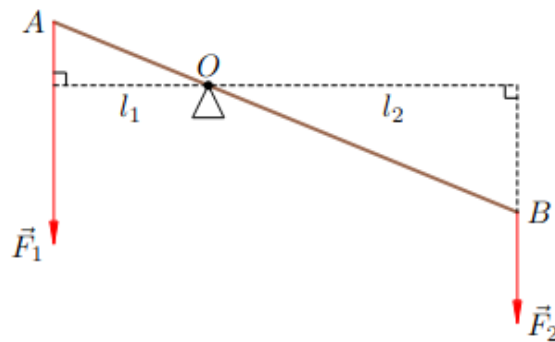


Рисунок 2.1.1 — рычаг

Точка О — ось вращения, АВ — рычаг, к концам рычага (точкам А и В) приложены силы  $F_1$  и  $F_2$ , плечи этих сил —  $l_1$  и  $l_2$ . Условие равновесия рычага даётся правилом моментов:  $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ , следовательно,  $\frac{F_1}{l_1} = \frac{F_2}{l_2}$

Из этого соотношения следует, что рычаг даёт выигрыш в силе или в расстоянии во столько раз, во сколько большее плечо длиннее меньшего. [2]

Существует 2 типа рычагов: рычаг первого и второго рода. В рычаге первого рода действующие силы приложены с разных сторон от точки опоры, а в рычаге второго рода — по одну сторону. [3]

Примеры рычагов 1-го рода: ножницы, плоскогубцы, гвоздодёр.

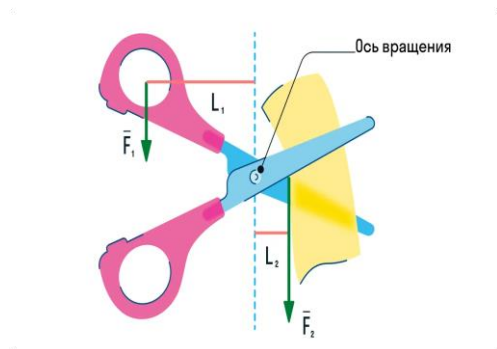


Рисунок 2.1.2 — ножницы

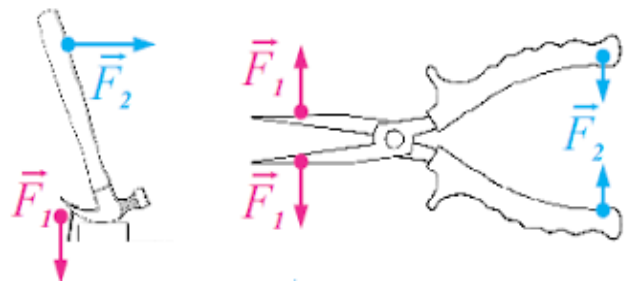


Рисунок 2.1.3 — гвоздодёр и плоскогубцы

Примеры рычагов 2-го рода: лопата, тачка.

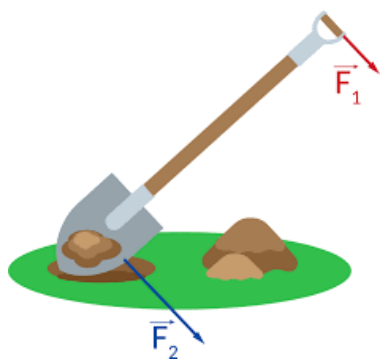


Рисунок 2.1.4 — лопата



Рисунок 2.1.5 — тачка



## 2.2 Наклонная плоскость

Наклонная плоскость — это ровная плоская поверхность, расположенная под некоторым углом  $\alpha$  к горизонту.

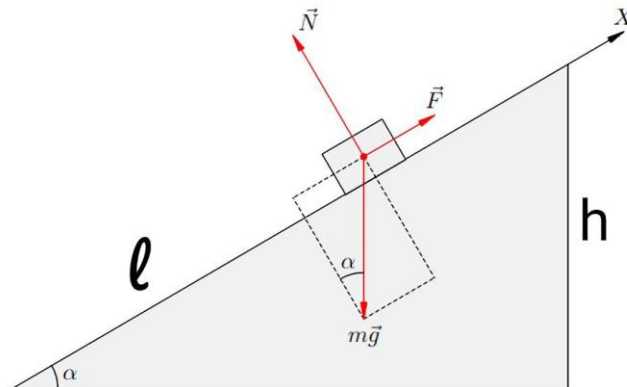


Рисунок 2.2.1 — наклонная плоскость

Так как груз движется без ускорения, то сумма всех векторов действующих на него сил равна нулю:

$$m \cdot \vec{g} + \vec{N} + \vec{F} = \vec{0}$$

где:  $m \cdot \vec{g}$  — сила тяжести,  $\vec{N}$  — сила реакции опоры,  $\vec{F}$  — прикладываемая сила

Проектируя на ось X:

$$-m \cdot g \cdot \sin \alpha + F = 0, \text{ следовательно, } F = m \cdot g \cdot \sin \alpha [2]$$

Именно такую силу нужно приложить, что двигать груз вверх по наклонной плоскости. Так как  $\sin \alpha < 1$ , то всегда  $F < mg$ . Наклонная плоскость даёт выигрыш в силе, и тем больший, чем меньше угол  $\alpha$ . Для аналогии с общим видом «золотого правила механики» можно расписать  $\sin \alpha$  по определению:  $\sin \alpha = \frac{h}{l}$ , где  $h$  — высота наклонной плоскости,  $l$  — длина наклонной плоскости, и получить:

$$\frac{F}{m \cdot g} = \frac{h}{l}$$

Пример наклонных плоскостей: погрузочные ramпы



Рисунок 2.2.2 — погрузочная ramпа

## 2.3 Блоки

Архимед (287–212 до н.э.) — древнегреческий учёный, чьи работы заложили основы классической механики. Его труды о рычагах, блоках и других механизмах стали первым научным обоснованием «золотого правила механики».

Согласно легенде, Архимед написал Гиерону, что сможет сдвинуть любой груз и будь в его распоряжении другая земля, на которую можно было бы встать, он сдвинул бы с места и нашу. Для проверки утверждений Архимеда на берег вытащили трехмачтовое грузовое судно, полностью заполнили трюм и посадили на корму команду матросов. Архимед сел поодаль и начал вытягивать пропущенный через систему блоков прикрепленный к кораблю канат. Судно начало двигаться, «так ровно и медленно, словно плыло по морю». Тогда, по легенде, Архимед произнес: «Дайте мне точку опоры, и я переверну Землю». [4]

Блоки — одна из разновидностей рычага. Блок представляет собой укрепленное в обойме колесо с желобом, по которому пропущена верёвка. Существует 2 вида блоков: подвижный и неподвижный.



Рисунок 2.3.1 — Архимед

### 2.3.1 Неподвижный блок

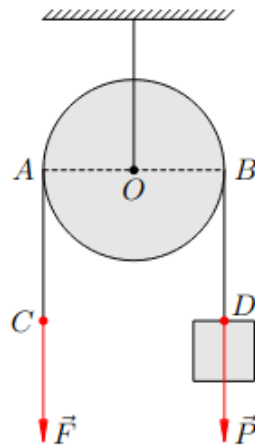


Рисунок 2.3.1.1 — неподвижный блок

У неподвижного блока неподвижная ось вращения (она проходит перпендикулярно рисунку через точку  $O$ ). Вес  $\vec{P}$  приложен к точке  $D$ , в которой груз крепится к правому концу нити. К левому концу нити в точке  $C$  приложена сила  $\vec{F}$ . Плечо силы  $\vec{F}$  ( $OA$ ) равно радиусу блока. Плечо веса  $\vec{P}$  ( $OB$ ) тоже равно радиусу блока. Значит, неподвижный блок является равноплечим рычагом и потому не даёт выигрыша ни в силе, ни в расстоянии. Обычно неподвижный блок используется как часть более сложных механизмов и полезен тем, что позволяет изменить направление усилия. [2]

### 2.3.2 Подвижный блок

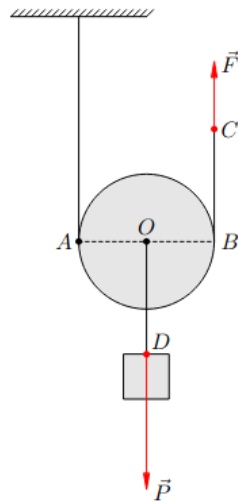


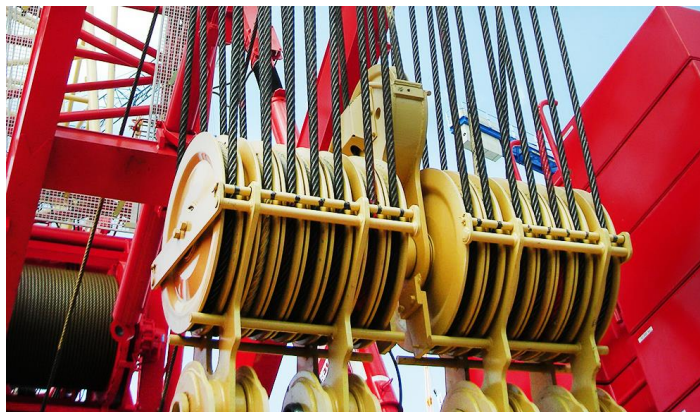
Рисунок 2.3.2.1 — подвижный блок

У подвижного блока ось перемещается вместе с грузом, подвешенным на нити OD. В данный момент времени неподвижной точкой является точка A, и именно вокруг неё поворачивается блок. Вес груза  $\vec{P}$  приложен в точке D крепления груза к нити. Плечо силы  $\vec{P}$  равно (AO) равно радиусу блока, а плечо силы  $\vec{F}$ , с которой мы тянем за нить, оказывается в два раза больше: оно равно (AB) диаметру блока. Значит, условием равновесия груза является равенство  $F = \frac{P}{2}$ . Следовательно, подвижный блок даёт выигрыш в силе в два раза. При этом, в те же два раза получается проигрыш в расстоянии.[2]

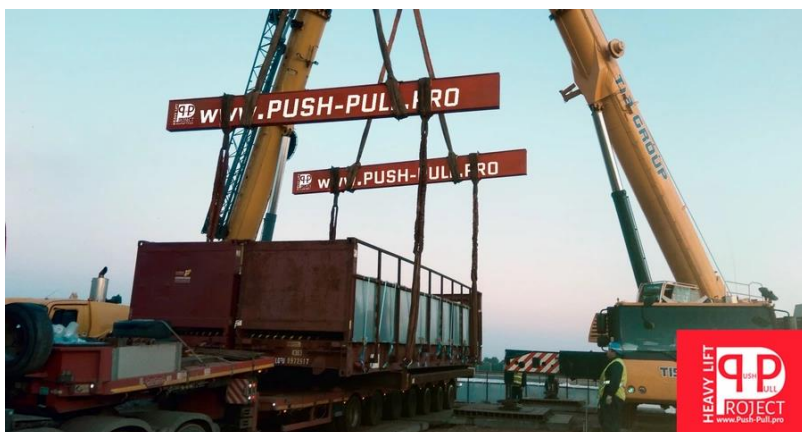
### 2.3.3 Система блоков

Система блоков (полиспаст) — комбинация неподвижных и подвижных блоков. Его выигрыш в силе (и проигрыш в расстоянии) напрямую зависит от количества подвижных блоков в нём (пусть количество подвижных блоков —  $n$ , тогда выигрыш в силе и проигрыш в расстоянии в системе в  $2^n$  раз).

Примеры: грузоподъёмные механизмы, судовые такелажные системы.



Рисунки 2.3.3.1 и 2.3.3.2 — грузоподъёмные механизмы



КАНИФАС-БЛОКИ

Рисунки 2.3.3.3 и 2.3.3.4 — судовые такелажные системы



## 2.4 Ворот

Ворот — ещё одна разновидность рычага. Ворот состоит из цилиндра с прикреплённой к нему рукояткой.

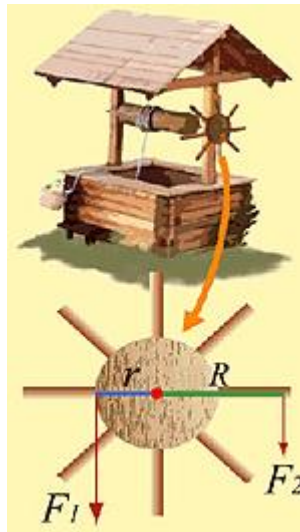
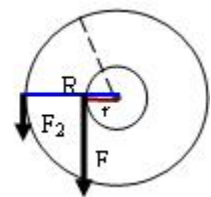


Рисунок 2.4.1 — ворот на примере колодца

На рисунке плечами сил  $F_1$  и  $F_2$  являются соответственно радиусы  $r$  и  $R$ , по которым вместе с воротом «вращаются» точки приложения сил. По условию равновесия рычага:

$$\frac{F_1}{r} = \frac{F_2}{R}$$

Также примером ворота может послужить отвёртка, которая тоже является цилиндром с прикреплённой к нему рукояткой. При вращении отвёртки мы получаем выигрыш в силе, равный отношению радиуса рукоятки к радиусу стержня (чем длиннее рукоятка, тем меньше сила). [5]



## 2.5 Винт

Изобретение винта приписывается Архимеду. Винт представляет собой спираль с очень крупной резьбой, помещённая внутри цилиндра.

Винт чаще всего используется как приспособление для получения выигрыша в силе, поскольку резьба – это наклонная плоскость.

Пусть наклонную плоскость высотой  $h$  и длиной  $l$  «обмотали» вокруг цилиндра (см. рисунок 2.5.1). Когда гайку поворачивают, она движется по наклонной плоскости.

Выигрыш в силе  $\frac{F_1}{F_2}$  оказывается равным  $\frac{l}{h}$ , так как это отношение расстояния  $h$ , на которое перемещается нагрузка, к расстоянию  $l$ , проходимому точкой приложения усилия. Поскольку гипотенуза всегда больше катета, наклонная плоскость даёт выигрыш в силе.

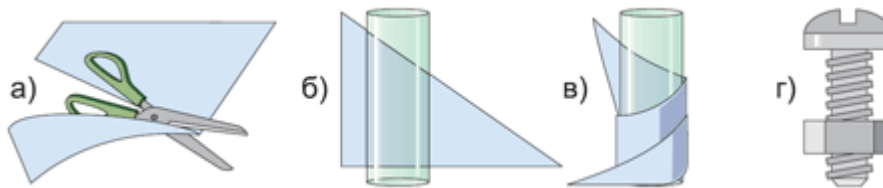


Рисунок 2.5.1 — винт как наклонная плоскость

Применение: при вращении винта выступы его резьбы зачёрпывали жидкость и увлекали её по цилиндру. В итоге вода выливалась через верхний открытый конец. Таким образом, поместив один конец цилиндра в воду, а другой расположив выше, жидкость подавали на более высокий уровень, приводя винт во вращение.

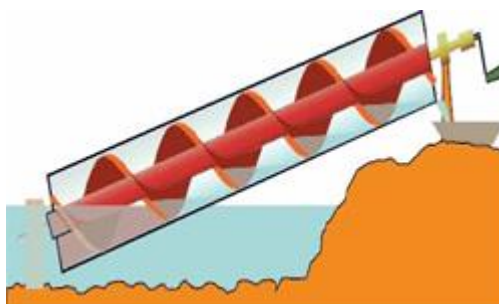


Рисунок 2.5.2 — применение винта

Подобный винт применялся для подъёма воды при орошении территорий и для осушения шахт, низин и заболоченных мест. [6]

Примеры: домкрат, пресс, горный серпантин, шурупы.



STOMSHOP



Рисунок 2.5.3 — винтовой домкрат  
Рисунок 2.5.4 — винтовой пресс



Рисунок 2.5.5 — горный серпантин



Рисунок 2.5.6 — шурупы



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Золотое правило механики» — это связь между практическим применением простых механизмов и фундаментальным законом сохранения энергии. Оно показывает, что невозможно получить выигрыш в силе без компенсации в расстоянии, и наоборот. Также оно подтверждает, что механизмы не создают энергию, а лишь преобразуют её форму.

Тема «золотого правила механики» актуальна по сей день, потому что оно является основой для большинства инженерных изобретений, помогает экономить энергию и наглядно демонстрирует как законы физики упрощают жизнь. Это правило применяется в робототехнике (в манипуляторах роботов используют аналоги рычагов и блоков для точного управления силой), строительстве (современные краны и подъёмники работают на принципах полиспастов), быту (ножницы с длинными ручками, домкраты, открывашки для бутылок), сфере транспорта (наклонные плоскости в виде серпантинов и пандусов снижают нагрузку на двигатели).

Среди современных направлений, связанных с «золотым правилом механики», можно отметить нанотехнологии (исследования в области молекулярных машин (Нобелевская премия 2016 года) показывают, что золотое правило работает даже на микроуровне), бионику (протезы и экзоскелеты используют принцип рычага для усиления человеческих возможностей).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. М. М. Рожанская «Механика» Герона: <http://www.sno.pro1.ru/lib/npian/11.htm>
2. И.В.Яковлев «Электронный учебник по физике» <https://mathus.ru/phys/book.pdf>
3. А.В.Самсонова «Рычаг. Типы (виды) рычагов» <https://allasamsonova.ru/rychag-tipy-vidy-rychagov>
4. Статья Владимирской научной областной библиотеки об Архимеде <https://library.vladimir.ru/news/arximed-dajte-mne-tochku-opory-i-ya-perevernu-zemlyu.html>
5. <https://www.fizika.ru/fakultat/index.php?theme=3&id=3286>
6. <https://www.fizika.ru/fakultat/index.php?theme=3&id=3278>