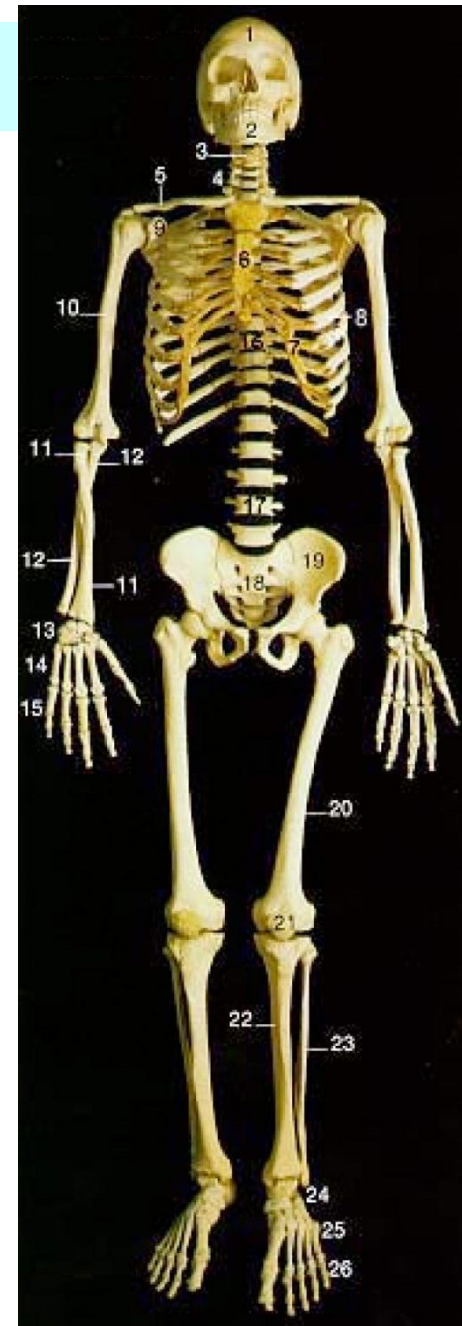


- КОСТЬ - КОМПОЗИЦИОННЫЙ материал
- что такое твёрдость
- эластичность и закон Гука
- что такое прочность
- почему кости внутри полые
- почему горы на Земле не выше 10 км

Скелет человека - каркас его тела

Все мы плоды эволюции. Природа миллионы лет экспериментировала, прежде чем сделать нас такими, какие мы сейчас есть. К сожалению, не нам с вами судить о результатах этого эксперимента в интеллектуальной сфере, так как для объективной оценки умственных способностей человека необходимо суждение об этом других разумных существ, контакт с которыми пока не установлен. В то же время мы вполне можем быть объективны, обсуждая элементы механической конструкции нашего тела, сравнивая их характеристики с параметрами аналогичных элементов, используемых в технике и строительстве.

Каркасом тела служит скелет, состоящий приблизительно из 200 костей, большинство из которых (исключение составляют кости черепа и таза) соединены между собой таким образом, что при движении относительное расположение их может изменяться. Кости приводятся в движение скелетными мышцами, каждая из которых прикрепляется к двум различным костям.

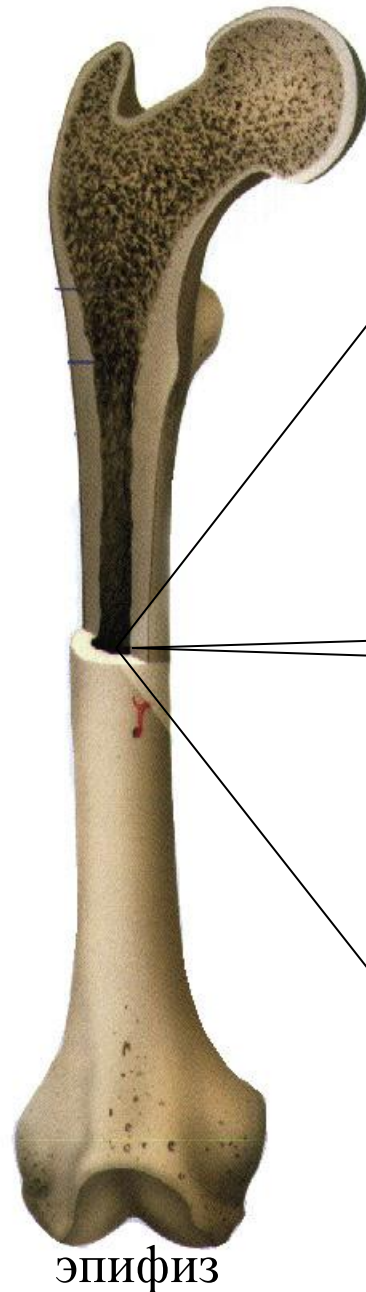


Кости:

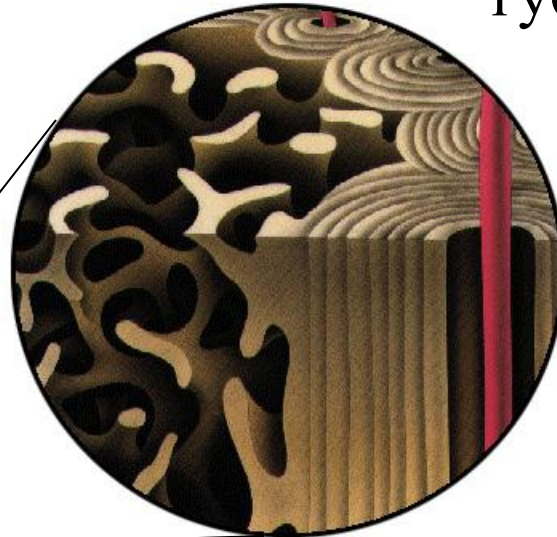
- **помогают нам двигаться**
- **защищают внутренние органы (мозг, сердце, лёгкие и т.д)**
- **служат источником и хранилищем кальция**
- **дают возможность слышать**

Структура кости

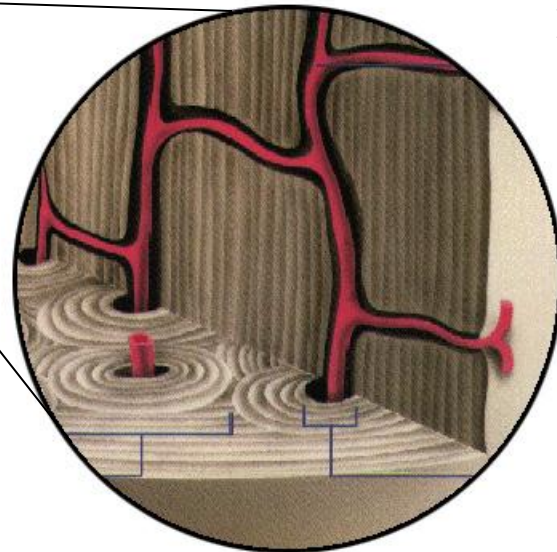
Почему внутри пусто?



губчатая кость



КОМПАКТНЫЙ
СЛОЙ КОСТИ

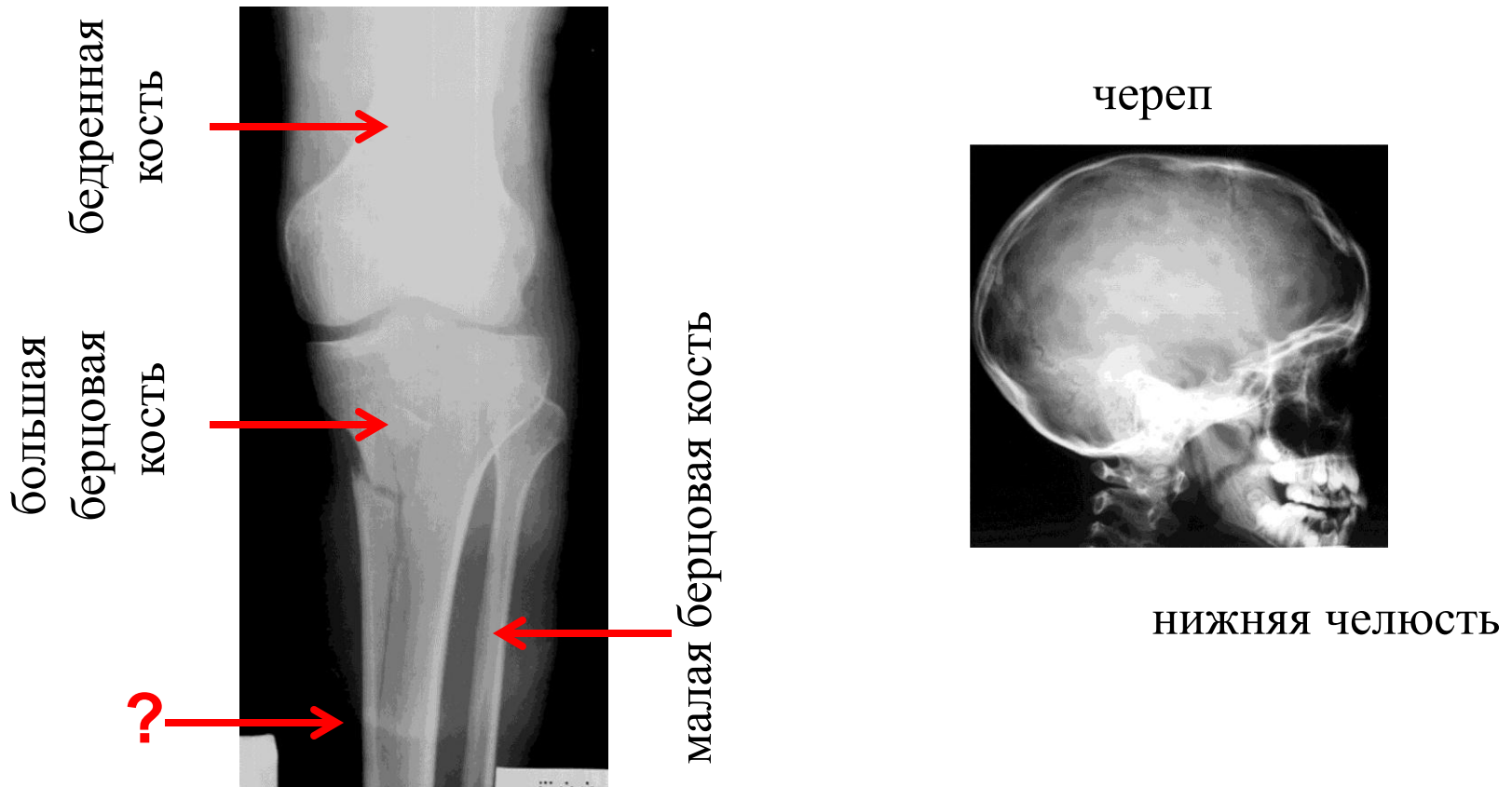


кровеносные
сосуды

остеон

Гаверсова система каналов

Рентгеновские лучи помогают увидеть кости



Почему рентгеновские лучи “видят” кости?

- Потому, что кости включают в себя много атомов **кальция**, задерживающего рентгеновские лучи

Кость - композиционный материал - состоит из:

- (1) минерала, гидроксипатита - $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, который делает кость твёрдой (60% по весу)
- (2) коллагеновой сетки, придающей кости эластичность и препятствующей распространению трещин (40% по весу)

Известным примером композиционного материала служит стеклопластик, представляющий собой смесь стеклянных волокон и смолы. Коллаген, входящий в состав кости, - это один из главных компонентов соединительной ткани (из него в основном состоят все наши сухожилия).

Можно легко удалить любой из главных компонентов кости, практически не изменяя ее формы. Если, например, подержать достаточно долго кость в 5 %-ном растворе уксусной кислоты, то весь неорганический компонент (в том числе и соли кальция) в ней растворится. Оставшаяся кость, состоящая в основном из коллагена, станет эластичной, как резиновый жгут, и ее можно будет свернуть в кольцо. Наоборот, если сжечь кость, то весь коллаген сгорит, а неорганический компонент останется.

Каждому школьнику и школьнице необходимы 1,2 г кальция каждый день!

Читаем вместе

Многие обычные (некомпозиционные) материалы, обладая большой твердостью, очень хрупки. Каждый видел, как ломается стекло. От места, где по стеклу ударили, разбегаются трещины, которые и раскалывают лист. Если трещины не успевают образоваться, как это происходит при ударе пули, то лист стекла остается целым, за исключением области, куда был нанесен удар.

Таким образом, прочность многих материалов была бы гораздо выше, если бы их структура препятствовала распространению трещин. Наличие в кости коллагена, обладающего высокой эластичностью, служит преградой для распространения в ней трещин. В то же время твердость кости обеспечивается кристаллами минерального вещества, отложившимися на поверхности коллагеновых нитей.

Какими должны быть строительные материалы?

Ответ: легкими, прочными и твёрдыми, но не хрупкими

Что делает материал хрупким?

Ответ: появление и распространение трещины

Когда появляется трещина?

Ответ: когда материал уже больше не может растягиваться или сжиматься

Что может препятствовать распространению трещин?

Ответ: скрепляющая эластичная сеть,
пронизывающая материал

коллагеновая сетка препятствует распространению трещин, значительно увеличивая прочность кости

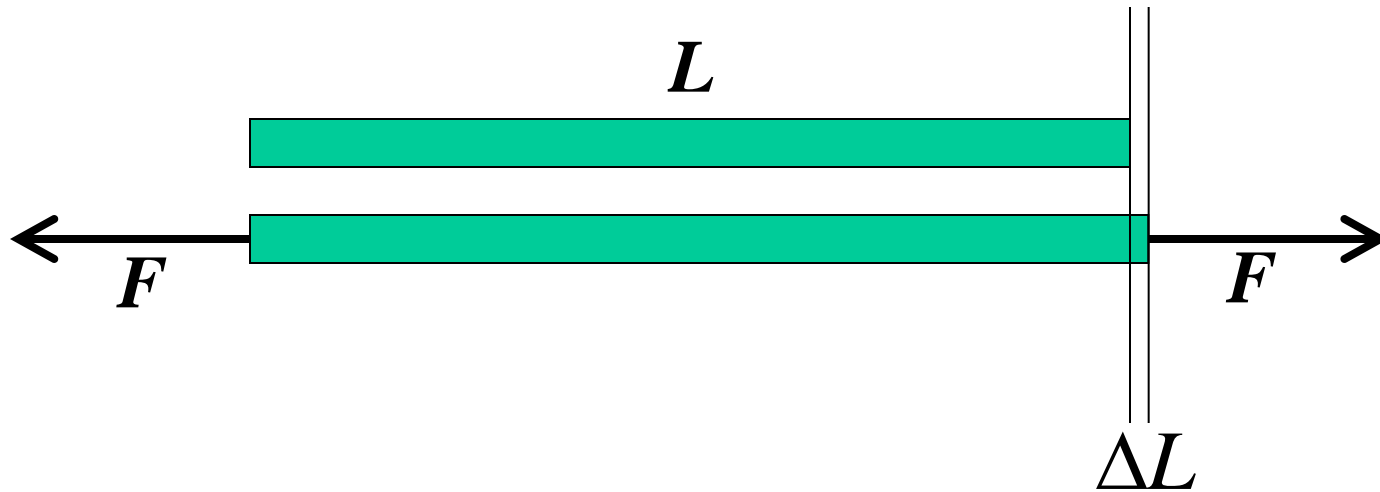
Что такое твердость?

Материал *A* **твёрже** материала *B*,
если *A* может поцарапать поверхность *B*, но не наоборот

Расставьте материалы в порядке убывания их
твёрдости: стекло, кожа, золото, алмаз, дерево

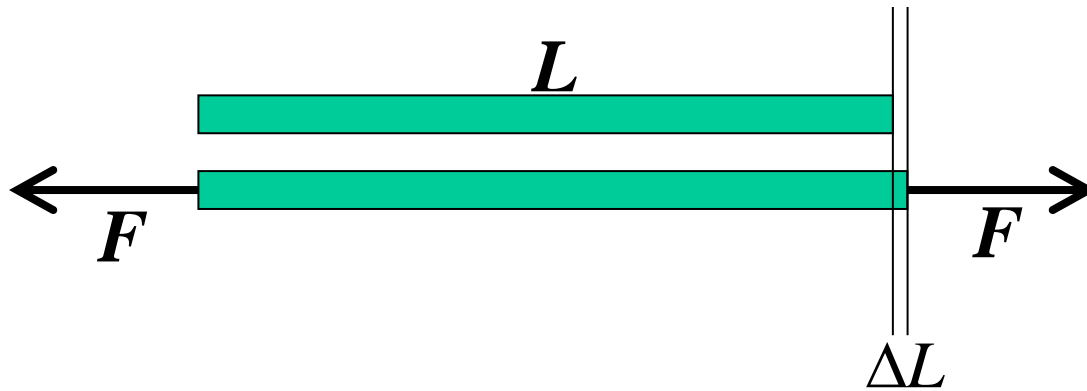
Ответ: алмаз, стекло, золото, дерево, кожа

Что такое эластичность?



Если брусок из материала A под действием силы F растягивается больше, чем такой же брусок из материала B , то материал A более **эластичен**, чем B

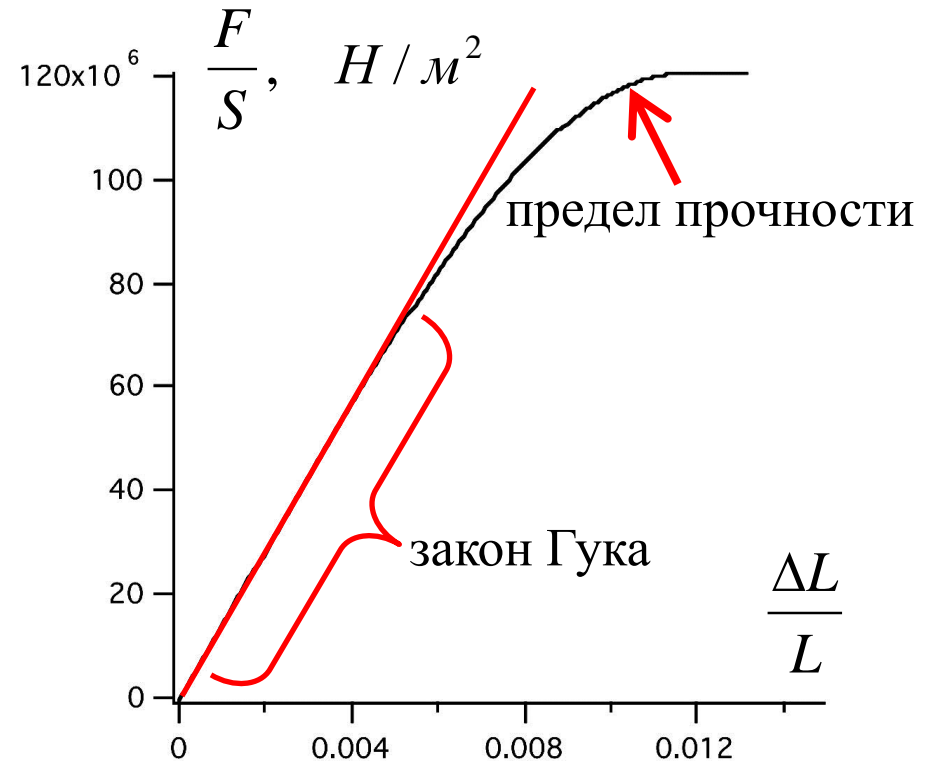
Закон Гука описывает эластичность материалов



Какую силу F надо приложить к поперечному сечению бруска S , чтобы растянуть его на ΔL ?

$$\frac{F}{S} = Y \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

где Y - модуль Юнга, численно равный механическому напряжению необходимому для удлинения бруска вдвое



Механические характеристики кости и других материалов

Материал	Прочность на сжатие, 10^6 Н/м ²	Прочность на растяжение, 10^6 Н/м ²	Плотность, 1000 кг/м ³	Модуль Юнга, 10^8 Н/м ²
Сталь	552	827	7,8	2070
Кость	170	120	1,9	179
Гранит	145	5	2,8	517
Фарфор	552	55	2,5	-
Дуб	59	117	0,8	110
Бетон	21	2	2,7	165

Кость прочнее, легче и эластичнее гранита, из-за того, что состоит из **сети коллагеновых нитей**, к которым “прилипли” **твёрдые кристаллы гидроксиапатита**

Как сделать лёгкой конструкцию, работающую на сжатие или растяжение?

Как и лёгкие элементы скелета работают в основном на сжатие и растяжение и на изгиб. Эти два режима работы предъявляют к костям как элементам скелета далеко не одинаковые требования. Каждому ясно, что спичку или соломинку довольно трудно разорвать, растягивая их вдоль оси, и очень легко сломать, изогнув их.

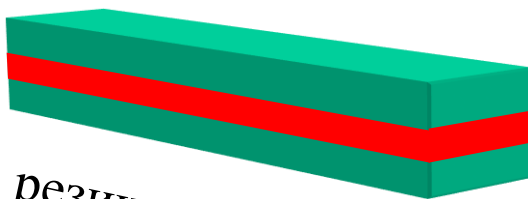
Во многих случаях, как в инженерных конструкциях, так и в скелетах животных желательное сочетание прочности с лёгкостью. Как добиться максимальной прочности конструкции при заданной ее массе и известной прочности материала? Эта задача довольно проста, если элемент конструкции должен работать либо на продольное растяжение, либо только на сжатие.

Пусть, например, надо подвесить некоторый груз на тросе определенной длины. Прочность троса будет зависеть от прочности его самого тонкого участка, поэтому его вес будет наименьшим при одинаковой площади сечения по всей длине. Форма этого сечения не играет роли, так как прочность троса пропорциональна площади поперечного сечения троса.

прочность бруса равна
прочности его самого
тонкого участка и
пропорциональна площади
его поперечного сечения

наименьший вес сжимаемого или растягиваемого бруса соответствует одинаковой площади сечения по всей длине

Как сделать лёгкую и прочную конструкцию, работающую на изгиб?



резиновый брусок



резиновый брусок, согнутый в дугу

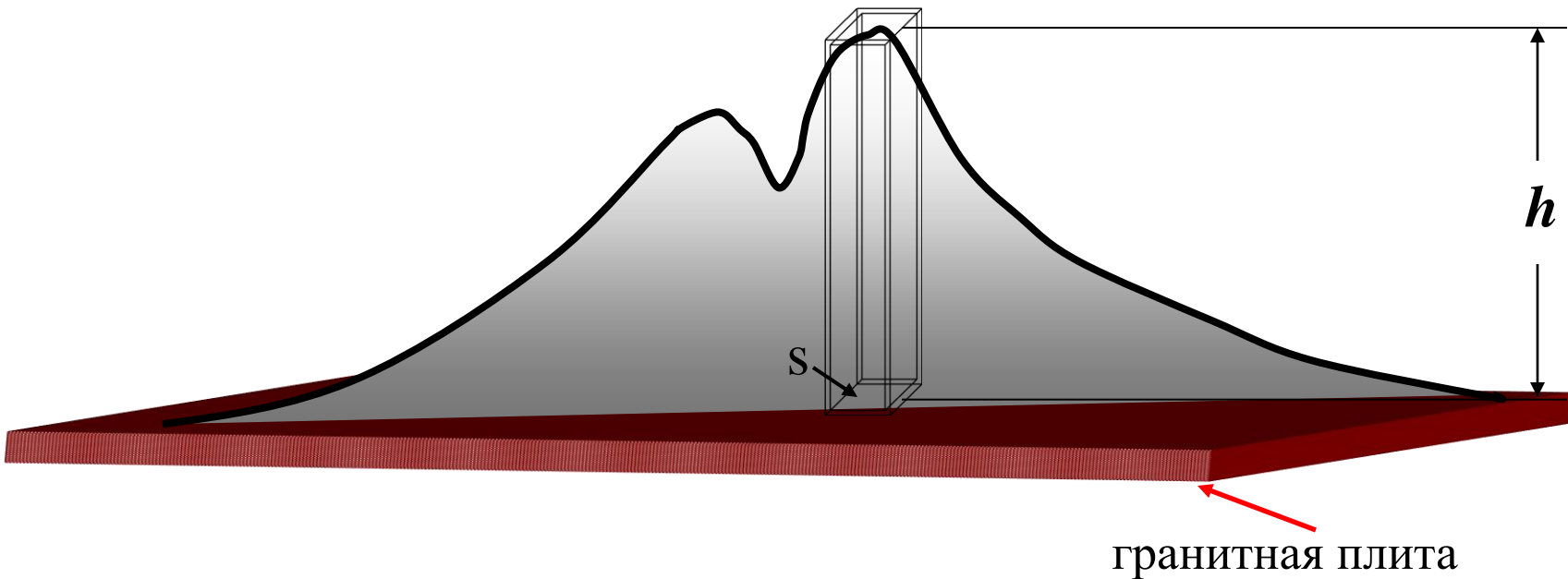
Брус изгибается под действием силы так, что его верхние слои сжимаются, а нижние растягиваются. А значит, в середине бруса существует слой (отмечен красным), длина которого не изменяется при изгибе балки. Материал, находящийся в этом слое, не работает (т.е. не деформируется), а лишь утяжеляет балку. Поэтому часть материала около этого нейтрального слоя можно удалить без большого ущерба для прочности балки, работающей в таких условиях.

Вот мы и нашли одно из решений минимизации массы конструкции при сохранении заданной прочности. Это решение, однако, приемлемо только для балок с прямоугольным сечением. Кости же скелета имеют, как правило, круглое сечение. Для них оптимальной конструкцией будет кость с частично отсутствующей "сердцевинкой", так как цилиндрический слой около оси кости не претерпевает существенных деформаций при ее изгибе и только увеличивает массу.

Естественно, что и Природа в процессе эволюции использовала такой способ уменьшения массы человека и животных при сохранении прочности их скелета. Наиболее отчетливо это проявилось у птиц, которые больше других животных заинтересованы в уменьшении своей массы. Как вы знаете, полые с истонченной до предела стенкой".

Например, у птицы фрегата, имеющей размах крыльев около 2 метров, скелет имеет массу всего 110 г. Однако и у бескрылых животных кости внутри тоже полые. Измерения показывают, например, что для самой крупной трубчатой кости скелета бедренной отношение внутреннего диаметра поперечного сечения к внешнему у лисицы, человека, льва и жирафа примерно равно 0,5-0,6, что дает возможность всем животным (и нам, конечно) приблизительно на 25 % уменьшить массу скелета при сохранении той же прочности.

Могут ли горы иметь высоту 100 км?



прочность на сжатие гранита - $145 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$

плотность земли - $1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Вес вертикального бруска = $\rho \cdot g \cdot h \cdot S$

вес бруска < или = прочность $\cdot S$ \longrightarrow $h \leq 10000 \text{ м}$