

Дополнительное чтение: логарифмы, ядерная физика и история. О единстве науки

И.А.Хованская, И.В.Щуров, К.И.Сонин, при участии Д.К.Стукала

Историки, геологи, палеонтологи в своей работе часто сталкиваются с задачей датировки. Если с новой историей есть хоть какой-то шанс на использование письменных источников, то с древнейшей историей, геологическими периодами, палеонтологическими исследованиями дело обстоит гораздо сложнее. Очень жаль, что мамонты и динозавры честно не записали, в каких тысячах до нашей эры они жили и вымерли. Однако читая книги, рассматривая витрины музеев, мы видим, что люди довольно-таки многое знают о тех временах, когда о письменности ещё не было и речи. Каким же образом учёным удалось датировать те или иные события?

Один из методов, который применяется для датировки биологических остатков – это радиоуглеродный анализ.

Немного об углероде

Углерод – одна из главных составляющих живых организмов. Всё живое находится в постоянном процессе обмена углеродом. Мы, пока мы живы, поглощаем и выделяем углерод, обмениваемся им с атмосферой. Углерод, содержащийся в атмосфере, а значит и в биосфере, бывает двух (а точнее, трёх) видов: стабильный (^{12}C и ^{13}C) и радиоактивный (^{14}C). Радиоактивный углерод ^{14}C постоянно образуется в верхних слоях атмосферы из-за взаимодействия частиц воздуха (именно, ядра атмосферного азота превращаются в изотопы радиоактивного углерода ^{14}C) и космических лучей. Казалось бы, доля радиоактивного углерода должна расти. Однако этого не происходит, доля радиоактивного углерода в атмосфере с большой точностью постоянна. Дело в том, что радиоактивный углерод постепенно снова превращается в ядра азота, он подвержен β -распаду. Живые организмы, участвующие в углеродном обмене, не различают, каким именно углеродом они обмениваются, используя радиоактивный углерод так же, как стабильный. Итак, в атмосфере одновременно идут два взаимобратных процесса – образование радиоактивного углерода и его распад, тем самым доля радиоактивного углерода в атмосфере постоянна. Живые организмы участвуют в непрерывном углеродном обмене с атмосферой, таким образом, и в живых тканях доля радиоактивного углерода та же, что в атмосфере. Как только живой организм умирает, он перестает участвовать в углеродном обмене. Теперь для его тканей нет источника радиоактивного углерода, а процесс распада продолжается так же, как и в атмосфере. В использовании этого эффекта и состоит радиоуглеродный анализ.

Как это делается: основная идея

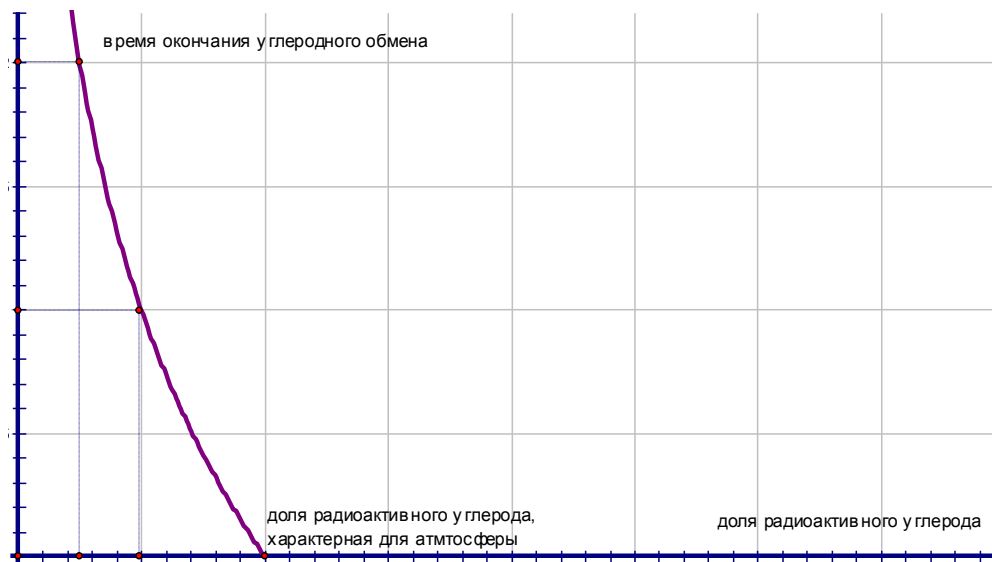
Итак, у нас есть образец биологической ткани, скажем, кость динозавра. Как определить её возраст? Если мы умеем определять, какую долю углерода составляет радиоактивный углерод, и знаем, с какой скоростью распадается радиоактивный углерод, то у нас есть очень хорошая

оценка времени, когда живая ткань перестала осуществлять углеродный обмен, т.е. жить. Возвращаясь к материалу последней лекции, мы по известной (учёным) функции – доля радиоактивного углерода в зависимости от времени окончания углеродного обмена – построим обратную функцию – время окончания углеродного обмена в зависимости от доли радиоактивного углерода.

Прямая функция:



Обратная функция:



Действительно ли нам известно, с какой скоростью распадается радиоактивный углерод? К счастью, да.

Период полураспада

Период полураспада некоторой системы (частицы, ядра, атома, электронного уровня) – это время, за которое система распадется с вероятностью $\frac{1}{2}$. Если мы рассматриваем много независимых частиц (а в любом крошечном кусочке органической ткани *очень* много частиц углерода, даже радиоактивного), то за период полураспада распадется примерно половина частиц. Значит ли это, что за два периода полураспада распадутся все интересующие нас частицы? Конечно, нет. За второй период полураспада распадется половина оставшихся частиц, т.е. четверть того, что было изначально. Радиоактивный углерод, как и многие другие изотопы, обладает постоянным периодом полураспада. Период полураспада радиоактивного углерода равен примерно 5730 годам (возможно отклонение не более чем на 40 лет).

Неизменность периода полураспада – отличная новость, если мы хотим определять возраст той или иной ткани методом радиоуглеродного анализа. Но пока всё выглядит так, будто мы можем определить возраст ткани, если её возраст кратен 5730 годам. Если ткани 5730 лет, тогда доля радиоактивного углерода сократится вдвое. Если ей 11460 лет, то доля радиоактивного углерода сократится в четыре раза - за первые 5730 лет вдвое, за вторые 5730 лет ещё вдвое – $(A \div 2) \div 2 = A \div 4$. За 17190 лет доля радиоактивного углерода сократится в 8 раз. Таким образом, мы знаем только, что $p(kT) = \frac{1}{2^k} A$, где $p(kT)$ – доля радиоактивного углерода, оставшаяся в ткани после k периодов полураспада, A – доля радиоактивного углерода, свойственная атмосфере и живым тканям, $T = 5730$ – период полураспада. Такая избирательность метода сделала бы его почти не применимым на практике.

Как меняется доля радиоактивного углерода со временем?

Попробуем выяснить, как сократится доля радиоактивного углерода, скажем, за половину периода полураспада. Итак, если через половину периода полураспада доля составит α от исходной, т.е. αA , через вторую половину периода полураспада – уже α от того, что осталось после первой половины, т.е. $\alpha(\alpha A) = \alpha^2 A$. С другой стороны, мы знаем, что за период полураспада доля радиоактивного углерода сокращается вдвое, т.е. $\alpha^2 A = \frac{1}{2} A$. Отсюда мы получаем: $\alpha^2 = \frac{1}{2}$, т.е. после половины периода полураспада доля радиоактивного углерода составит $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} A$.

Продолжаем рассуждать самостоятельно

Задание 1. Какую долю составит радиоактивный углерод после трети периода полураспада? После двух третей периода полураспада? После четвертой части периода? После двух пятых частей периода полураспада?

Задание 2. Сделайте предположение о том, какую долю составит радиоактивный углерод после x периодов полураспада, т.е. о том, чему равно $p(xT)$. Проверьте, что ваше предположение сходится с результатами задания 1.

Задание 3. Постройте (при помощи Wolfram|Alpha) график зависимости доли радиоактивного углерода от времени, прошедшего с момента прекращения углеродного обмена. За единицу по

горизонтальной оси примите период полураспада, за единицу по вертикальной оси – долю радиоактивного углерода, характерную для атмосферы. Покажите на графике, что доля радиоактивного углерода действительно сокращается вдвое за каждый период полураспада.

Задание 4. Постройте (при помощи Wolfram|Alpha) график обратной зависимости, позволяющий по доле радиоактивного углерода определить время, прошедшее с момента прекращения углеродного обмена. Единицы измерения возьмите те же, что в задании 3.

Только кости?

Итак, похоже, что метод радиоуглеродного анализа и правда может помочь определить возраст древних костей. Однако мамонтами и динозаврами интересуются палеонтологи, а не историки. Неужели для историков этот метод даёт только возраст костей и других человеческих останков? К счастью, нет. Посмотрим, например, на ткань. Откуда берутся, из чего делают ткани? Только в двадцатом веке человек научился производить синтетические волокна, раньше ткани имели растительное или животное происхождение – хлопок, лён, шерсть. Итак, оценивая время окончания углеродного обмена волокон ткани, мы можем определить, когда, приблизительно, она была произведена. На чём писали древние люди? Папирус, пергамент – эти материалы имеют растительное происхождение, а, значит, в датировке письменных источников радиоуглеродный анализ может быть очень полезен.

Наиболее древней из дошедших до нас книг Древней Руси ещё недавно считалось Остромирово Евангелие, написанное дьяконом Григорием для новгородского посадника Остромира в 1056-1057 годах. В июле 2000 г. во время ежегодных археологических раскопок в Новгороде Великом была найдена древняя деревянная книга с восковыми страницами, на которых были написаны религиозные псалмы. Благодаря тому, что страницы древней книги сделаны из воска (а он имеет биологическое происхождение), находку подвергли радиоуглеродному анализу. Он был проведен в Уппсальском университете и показал, что с вероятностью 0.84 воск был собран в 1015 г. ± 35 лет. Это означает, что найденная книга старше Остромирова Евангелия. С момента публикации результатов радиоуглеродного анализа именно эта деревянная книга, получившая название «Новгородский кодекс», считается наиболее ранней из дошедших до нас книг Древней Руси.

Всё так просто?

Конечно, нет. Определяя возраст того или иного предмета, мы не должны забывать, что его могли чинить, изменять, подвергать обработке, добавляя более свежие, молодые ткани.

Большое задание. Разберите историю датировки того или иного исторического объекта при помощи радиоуглеродного анализа. Примером интересной истории может служить спор о датировке Туринской плащаницы. Задача о датировке должна быть подробно разобрана, изложена письменно. Предполагается доклад на большую часть пары.

Материалы:

http://ru.wikipedia.org/wiki/Туринская_плащаница

<http://www.pravoslavie.ru/sretmon/turin/datirovanie.htm>

<http://www.atheismru.narod.ru/atheism/science/surdin02.htm>