В результате наблюдения огромного числа радиоактивных превращений постепенно обнаружилось, что существуют вещества, тождественные по своим химическим свойствам, но имеющие совершенно различные радиоактивные свойства (т. е. распадающиеся по-разному). Их никак не удавалось разделить ни одним из известных химических способов. На этом основании Содди в 1911 г. высказал предположение о возможности существования элементов с одинаковыми химическими свойствами, но различающихся своей радиоактивностью. Эти элементы нужно помещать в одну и ту же клетку периодической системы Д. И. Менделеева. Содди назвал их изотопами, т. е. занимающими одинаковые места (о них уже шла речь в § 78).

Изотопы — элементы с одинаковыми химическими свойствами, но различающиеся массой.

Предположение Содди получило блестящее подтверждение и глубокое толкование год спустя, когда Дж. Дж. Томсон провёл точные измерения массы ионов неона методом отклонения их в электрическом и магнитном полях. Он обнаружил, что неон представляет собой смесь двух видов атомов. Большая часть их имеет относительную массу, равную 20. Но существует незначительная часть атомов с относительной атомной массой 22. В результате относительная атомная масса смеси была принята равной 20,2. Атомы, обладающие одними и теми же химическими свойствами, различались массой. Оба вида атомов неона, естественно, занимают одно и то же место в таблице Д. И. Менделеева и, следовательно, являются изотопами.

У изотопов заряды атомных ядер одинаковы, а значит, число электронов в оболочках атомов и, следовательно, химические свойства изотопов одинаковы. Но массы ядер различны. Причём ядра могут быть как радиоактивными, так и стабильными. Различие свойств радиоактивных изотопов связано с тем, что их ядра имеют различную массу.

В настоящее время установлено существование изотопов у всех химических элементов. Некоторые элементы имеют только нестабильные (радиоактивные) изотопы. Как мы знаем, изотопы есть у самого тяжёлого из существующих в природе элементов — урана (относительные атомные массы 238, 235 и др.) и у самого лёгкого — водорода (относительные атомные массы 1, 2, 3).

Особенно интересны изотопы водорода, о которых мы уже говорили, так как они различаются по массе в 2 и 3 раза. Дейтерий не радиоактивен и входит в качестве небольшой примеси (1 : 4500) в обычный водород.

При соединении дейтерия с кислородом образуется так называемая тяжёлая вода. Её физические свойства заметно отличаются от свойств обычной воды. При нормальном атмосферном давлении она кипит при 101,2 °С и замерзает при 3,8 °С.

Изотоп водорода с атомной массой 3, тритий, радиоактивен, он подвержен (3-распаду с периодом полураспада около 12 лет.

Существование изотопов доказывает, что заряд атомного ядра определяет не все свойства атома, а лишь его химические свойства и те физические свойства, которые зависят от периферии электронной оболочки, например размеры атома.

Масса же атома и его радиоактивные свойства не определяются порядковым номером в таблице Д. И. Менделеева.

Примечательно, что при точном измерении относительных атомных масс изотопов выяснилось, что они близки к целым числам. А вот атомные массы химических элементов иногда сильно отличаются от целых чисел. Так, относительная атомная масса хлора равна 35,5. Это значит, что в естественном состоянии химически чистое вещество представляет собой смесь изотопов в различных пропорциях.

Целочисленность (приближённая) относительных атомных масс изотопов очень важна для выяснения строения атомного ядра.

Получение радиоактивных изотопов. С помощью ядерных реакций можно получить радиоактивные изотопы всех химических элементов, встречающихся в природе только в стабильном состоянии. Элементы под номерами 43, 61, 85 и 87 вообще не имеют стабильных изотопов и впервые получены искусственно, например элемент с порядковым номером Z = 43, названный технецием, имеющий самый долгоживущий изотоп с периодом полураспада около миллиона лет.

Были получены также трансурановые элементы. О нептунии и плутонии вы уже знаете. Кроме них, получены ещё следующие элементы: америций (Z = 95), кюрий (Z = 96), берклий (Z = 97), калифорний (Z = 98), эйнштейний (Z = 99), фермий (Z = 100), менделевий (Z = 101), нобелий (Z = 102), лоуренсий (Z = 103), резерфордий (Z = 104), дубний (Z = 105), сиборгий (Z = 106), борий (Z = 107), хассий (Z = 108), мейтнерий (Z = 109), дармштадтий (Z = 110), рентгений (Z = 111), коперниций (Z = 112), флеровий (Z = 114), ливерморий (Z = 116). Элементы под номерами 107—112 были синтезированы в Германии в дармштадтском Центре исследований тяжёлых ионов.

В настоящее время известны трансурановые элементы с номерами 113—118, полученные в Объединённом институте ядерных исследований в Дубне (часть — совместно с Ливерморской национальной лабораторией в США), но независимыми исследованиями подтверждено только открытие элементов под номерами 114 — флеровий и 116 — ливерморий.

Применение радиоактивных изотопов. В настоящее время как в науке, так и в производстве всё более широко используются радиоактивные изотопы различных химических элементов. Наибольшее применение имеет метод меченых атомов.

Метод основан на том, что химические свойства радиоактивных изотопов не отличаются от свойств нерадиоактивных изотопов тех же элементов.

Обнаружить радиоактивные изотопы можно очень просто — по их излучению. Радиоактивность является своеобразной меткой, с помощью которой можно проследить за поведением элемента при различных химических реакциях и физических превращениях веществ.

Радиоактивные изотопы широко применяются как компактные источники у-лучей. Главным образом используется радиоактивный кобальт 2 7 Со.

Радиоактивные изотопы в биологии и медицине. Одним из наиболее выдающихся исследований, проведённых с помощью меченых атомов, явилось исследование обмена веществ в организме. Было доказано, что за сравнительно небольшое время организм подвергается почти полному обновлению. Слагающие его атомы заменяются новыми.

Лишь железо, как показали опыты по изотопному исследованию крови, является исключением из этого правила. Железо входит в состав гемоглобина красных кровяных шариков. При введении в пищу радиоактивных атомов железа было обнаружено, что они почти не поступают в кровь.

Только в том случае, когда запасы железа в организме иссякают, железо начинает усваиваться организмом.

Радиоактивные изотопы применяются в медицине как для постановки диагноза, так и для терапевтических целей.

Радиоактивный натрий, вводимый в небольших количествах в кровь, используется для исследования кровообращения.

Иод интенсивно накапливается в щитовидной железе, особенно при базедовой болезни. Наблюдая с помощью счётчика за отложением радиоактивного иода, можно быстро поставить диагноз. Большие дозы радиоактивного иода вызывают частичное разрушение аномально развивающихся тканей, и поэтому радиоактивный иод используют для лечения базедовой болезни.

Интенсивное у-излучение кобальта используется при лечении раковых заболеваний (кобальтовая пушка).

Радиоактивные изотопы в промышленности. Не менее обширна область применения радиоактивных изотопов в промышленности. Одним из примеров может служить способ контроля износа поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания. Облучая поршневое кольцо нейтронами, вызывают в нём ядерные реакции и делают его радиоактивным. При работе двигателя частички материала кольца попадают в смазочное масло. Исследуя уровень радиоактивности масла после определённого времени работы двигателя, определяют износ кольца.

Радиоактивные изотопы позволяют судить о диффузии металлов, процессах в доменных печах и т.д. Мощное у-излучение радиоактивных препаратов используют для исследования внутренней структуры металлических отливок с целью обнаружения в них дефектов.

Радиоактивные изотопы в сельском хозяйстве. Всё более широкое применение получают радиоактивные изотопы в сельском хозяйстве. Облучение семян растений (хлопчатника, капусты, редиса и др.) небольшими дозами у-лучей от радиоактивных препаратов приводит к заметному повышению урожайности.

Большие дозы радиации вызывают мутации у растений и микроорганизмов, что в отдельных случаях приводит к появлению мутантов с новыми ценными свойствами (радиоселекция). Так выведены ценные сорта пшеницы, фасоли и других культур, а также получены высокопродуктивные микроорганизмы, применяемые в производстве антибиотиков. Гамма-излучение радиоактивных изотопов используется также для борьбы с вредными насекомыми и для консервации пищевых продуктов.

Широкое применение получил метод меченых атомов в агротехнике. Например, чтобы выяснить, какое из фосфорных удобрений лучше усваивается растением, помечают различные удобрения радиоактивным фосфором ?|Р. Исследуя затем растения на радиоактивность, можно определить количество усвоенного ими фосфора из разных сортов удобрения.

Радиоактивные изотопы в археологии. Интересное применение для определения возраста древних предметов органического происхождения (дерева, древесного угля, тканей и т. д.) получил метод радиоактивного углерода. В растениях всегда имеется (3-радиоактивный изотоп углерода с периодом полураспада Т = 5700 лет. Он образуется в атмосфере Земли в небольшом количестве из азота под действием нейтронов. Последние же возникают за счёт ядерных реакций, вызванных быстрыми частицами, которые поступают в атмосферу из космоса (космические лучи).

Соединяясь с кислородом, этот изотоп углерода образует углекислый газ, поглощаемый растениями, а через них и животными. Один грамм углерода из образцов молодого леса испускает около пятнадцати р-частиц в секунду.

После гибели организма пополнение его радиоактивным углеродом прекращается. Имеющееся же количество этого изотопа убывает за счёт радиоактивности. Определяя процентное содержание радиоактивного углерода в органических остатках, можно определить их возраст, если он лежит в пределах от 1000 до 50 000 и даже до 100 000 лет. Таким методом узнают возраст египетских мумий, остатков доисторических костров и т.д.