Введение

Гелий – подлинно благородный газ. Заставить его вступить в какие-либо реакции пока не удалось. Молекула гелия одноатомна. По легкости этот газ уступает только водороду, воздух в 7,25 раза тяжелее гелия. Гелий почти нерастворим в воде и других жидкостях. И точно так же в жидком гелии заметно не растворяется ни одно вещество. Твердый гелий нельзя получить ни при каких температурах, если не повышать давление.

В истории открытия, исследования и применения этого элемента встречаются имена многих крупных физиков и химиков разных стран. Гелием интересовались, с гелием работали: Жансен (Франция), Локьер, Рамзай, Крукс, Резерфорд (Англия), Пальмиери (Италия), Кеезом, Камерлинг-Оннес (Голландия), Фейнман, Онсагер (США), Капица, Кикоин, Ландау (Советский Союз) и многие другие крупные ученые.

Неповторимость облика атома гелия определяется сочетанием в нем двух удивительных природных конструкций – абсолютных чемпионов по компактности и прочности. В ядре гелия, гелия-4, насыщены обе внутриядерные оболочки – и протонная, и нейтронная. Электронный дублет, обрамляющий это ядро, тоже насыщенный. В этих конструкциях – ключ к пониманию свойств гелия. Отсюда проистекают и его феноменальная химическая инертность и рекордно малые размеры его атома.

Огромна роль ядра атома гелия – альфа частицы в истории становления и развития ядерной физики. Именно изучение рассеяния альфа частиц привело Резерфорда к открытию атомного ядра. При бомбардировке азота альфа частицами было впервые осуществлено взаимопревращение элементов – то, о чем веками мечтали многие поколения алхимиков. Правда, в этой реакции не ртуть превратилась в золото, а азот в кислород, но это сделать почти так же трудно. Те же альфа частицы оказались причастны к открытию нейтрона и получению первого искусственного изотопа. Позже с помощью альфа частиц были синтезированы кюрий, берклий, калифорний, менделевий.

Земной гелий

Гелий – элемент необычный, и история его необычна. Он был открыт в атмосфере Солнца на 13 лет раньше, чем на Земле. Точнее говоря, в спектре солнечной короны была открыта ярко-желтая линия D, а что за ней скрывалось, стало достоверно известно лишь после того, как гелий извлекли из земных минералов, содержащих радиоактивные элементы.

Гелий на Солнце открыли француз Ж. Жансен, проводивший свои наблюдения в Индии 19 августа 1868 г., и англичанин Дж.H. Локьер – 20 октября того же года. Письма обоих ученых пришли в Париж в один день и были зачитаны на заседании Парижской Академии наук 26 октября с интервалом в несколько минут. Академики, пораженные столь странным совпадением, приняли постановление выбить в честь этого события золотую медаль.

В 1881 г. об открытии гелия в вулканических газах сообщил итальянский ученый Пальмиери. Однако его сообщение, впоследствии подтвержденное, мало кто из ученых принял всерьез. Вторично земной гелий был открыт Рамзаем в 1895 г.

В земной коре насчитывается 29 изотопов, при радиоактивном распаде которых образуются альфа частицы – высокоактивные, обладающие большой энергией ядра атомов гелия.

В основном земной гелий образуется при радиоактивном распаде урана-238, урана-235, тория и нестабильных продуктов их распада. Несравнимо меньшие количества гелия дает медленный распад самария-147 и висмута. Все эти элементы порождают только тяжелый изотоп гелия – 4Не, чьи атомы можно рассматривать как останки альфа частиц, захороненные в оболочке из двух спаренных электронов – в электронном дублете. В ранние геологические периоды, вероятно, существовали и другие, уже исчезнувшие с лица Земли естественно радиоактивные ряды элементов, насыщавшие планету гелием. Одним из них был ныне искусственно воссозданный нептуниевый ряд.

По количеству гелия, замкнутого в горной породе или минерале, можно судить об их абсолютном возрасте. В основе этих измерений лежат законы радиоактивного распада: так, половина урана-238 за 4,52 млрд лет превращается в гелий и свинец.

Гелий в земной коре накапливается медленно. Одна тонна гранита, содержащая 2 г урана и 10 г тория, за миллион лет продуцирует всего 0,09 мг гелия – половину кубического сантиметра. В очень немногих богатых ураном и торием минералах содержание гелия довольно велико – несколько кубических сантиметров гелия на грамм. Однако доля этих минералов в естественном производстве гелия близка к нулю, так как они очень редки.

Природные соединения, в составе которых есть альфа активные изотопы, – это только первоисточник, но не сырье для промышленного получения гелия. Правда, некоторые минералы, обладающие плотной структурой – самородные металлы, магнетит, гранат, апатит, циркон и другие, – прочно удерживают заключенный в них гелий. Однако большинство минералов с течением времени подвергаются процессам выветривания, перекристаллизации и т.д., и гелий из них уходит.

Высвободившиеся из кристаллических структур гелиевые пузырьки отправляются в путешествие по земной коре. Очень незначительная часть их растворяется в подземных водах. Для образования более или менее концентрированных растворов гелия нужны особые условия, прежде всего большие давления. Другая часть кочующего гелия через поры и трещины минералов выходит в атмосферу. Остальные молекулы газа попадают в подземные ловушки, в которых скапливаются в течение десятков, сотен миллионов лет. Ловушками служат пласты рыхлых пород, пустоты которых заполняются газом. Ложем для таких газовых коллекторов обычно служат вода и нефть, а сверху их перекрывают газонепроницаемые толщи плотных пород.

Так как в земной коре странствуют и другие газы (главным образом метан, азот, углекислота), и притом в гораздо больших количествах, то чисто гелиевых скоплений не существует. Гелий в природных газах присутствует как незначительная примесь. Содержание его не превышает тысячных, сотых, редко – десятых долей процента. Большая (1,5...10%) гелиеносность метано-азотных месторождений – явление крайне редкое.

Природные газы оказались практически единственным источником сырья для промышленного получения гелия. Для отделения от прочих газов используют исключительную летучесть гелия, связанную с его низкой температурой сжижения. После того как все прочие компоненты природного газа сконденсируются при глубоком охлаждении, газообразный гелий откачивают. Затем его очищают от примесей. Чистота заводского гелия достигает 99,995%.

Запасы гелия на Земле оцениваются в 5·1014 м3; судя же по вычислениям, его образовалось в земной коре за 2 млрд лет в десятки раз больше. Такое расхождение теории с практикой вполне объяснимо. Гелий – легкий газ и, подобно водороду (хотя и медленнее), не улетучивается из атмосферы в мировое пространство. Вероятно, за время существования Земли гелий нашей планеты неоднократно обновлялся – старый улетучивался в космос, а вместо него в атмосферу поступал свежий – «выдыхаемый» Землей.

В литосфере гелия по меньшей мере в 200 тыс. раз больше, чем в атмосфере; еще больше потенциального гелия хранится в «утробе» Земли – в альфа активных элементах. Но общее содержание этого элемента в Земле и атмосфере невелико. Гелий – редкий и рассеянный газ. На 1 кг земного материала приходится всего 0,003 мг гелия, а содержание его в воздухе – 0,00052 объемного процента. Столь малая концентрация не позволяет пока экономично извлекать гелий из воздуха.

Гелий во Вселенной

Недра и атмосфера нашей планеты бедны гелием. Но это не значит, что его мало повсюду во Вселенной. По современным подсчетам 76% космической массы приходится на водород и 23% на гелий; на все прочие элементы остается только 1%! Таким образом, мировую материю можно назвать водородно-гелиевой. Эти два элемента главенствуют в звездах, планетарных туманностях и межзвездном газе.

Вероятно, все планеты солнечной системы содержат радиогенный (образовавшийся при альфа распаде) гелий, а крупные – и реликтовый гелий из космоса. Гелий обильно представлен в атмосфере Юпитера: по одним данным его там 33%, по другим – 17%. Это открытие легло в основу сюжета одного из рассказов известного ученого и писателя-фантаста А. Азимова. В центре повествования – план (возможно, осуществимый в будущем) доставки гелия с Юпитера, а то и заброски на ближайший спутник этой планеты – Юпитер V – армады кибернетических машин на криотронах (о них – ниже). Погрузившись в жидкий гелий атмосферы Юпитера (сверхнизкие температуры и сверхпроводимость – необходимые условия для работы криотронов), эти машины превратят Юпитер V в мозговой центр солнечной системы...

Происхождение звездного гелия было объяснено в 1938 г. немецкими физиками Бете и Вейцзекером. Позже их теория получила экспериментальное подтверждение и уточнение с помощью ускорителей элементарных частиц. Суть ее в следующем.

Ядра гелия синтезируются при звездных температурах из протонов в результате термоядерных процессов, высвобождающих 175 млн киловатт-часов энергии на каждый килограмм гелия.

Разные циклы реакций могут привести к синтезу гелия

В условиях не очень горячих звезд, таких, как наше Солнце, преобладает, по-видимому, протонно-протонный цикл. Он складывается из трех последовательно сменяющихся превращений. Вначале соединяются на огромных скоростях два протона с образованием дейтрона – конструкции из протона и нейтрона; при этом отделяются позитрон и нейтрино. Далее соединяются дейтрон с протоном в легкий гелий с испусканием гамма кванта. Наконец, реагируют два ядра 3Не, преобразуясь в альфа частицу и два протона. Альфа-частица, обзаведясь двумя электронами, станет потом атомом гелия.

Тот же конечный результат дает более быстрый углеродно-азотный цикл, значение которого в условиях Солнца не очень велико, но на более горячих, чем Солнце, звездах роль этого цикла усиливается. Он складывается из шести ступеней – реакций. Углерод играет здесь роль катализатора процесса слияния протонов. Энергия, выделяемая в ходе этих превращений, такая же, как и при протонно-протонном цикле – 26,7 МэВ на один атом гелия.

Реакция синтеза гелия – основа энергетической деятельности звезд, их свечения. Следовательно, синтез гелия можно считать праотцом всех реакций в природе, первопричиной жизни, света, тепла и метеорологических явлений на Земле.

Гелий не всегда бывает конечным продуктом звездных синтезов. По теории профессора Д.А. Франк-Каменецкого, при последовательном слиянии ядер гелия образуются 3Be, 12C, 16O, 20Ne, 24Mg, а захват этими ядрами протонов приводит к возникновению других ядер. Для синтеза ядер тяжелых элементов вплоть до трансурановых требуются исключительные сверхвысокие температуры, которые развиваются на неустойчивых «новых» и «сверхновых» звездах.

Известный советский химик А.Ф. Капустинский называл водород и гелий протоэлементами – элементами первичной материи. Не в этой ли первичности скрыто объяснение особого положения водорода и гелия в периодической системе элементов, в частности того факта, что первый период по существу лишен периодичности, характерной для прочих периодов?

Самый, самый...

Атом гелия (он же молекула) – прочнейшая из молекулярных конструкций. Орбиты двух его электронов совершенно одинаковы и проходят предельно близко от ядра. Чтобы оголить ядро гелия, нужно затратить рекордно большую энергию – 78,61 МэВ. Отсюда – феноменальная химическая пассивность гелия.

За последние 15 лет химикам удалось получить более 150 химических соединений тяжелых благородных газов . Однако инертность гелия остается, как и прежде, вне подозрений.

Вычисления показывают, что если бы и был найден путь получения, скажем фторида или окисла гелия, то при образовании они поглотили бы так много энергии, что получившиеся молекулы были бы «взорваны» этой энергией изнутри.

Молекулы гелия неполярны. Силы межмолекулярного взаимодействия между ними крайне невелики – меньше, чем в любом другом веществе. Отсюда – самые низкие значения критических величин, наинизшая температура кипения, наименьшие теплоты испарения и плавления. Что касается температуры плавления гелия, то при нормальном давлении ее вообще нет. Жидкий гелий при сколь угодно близкой к абсолютному нулю температуре не затвердевает, если, помимо температуры, на него но действует давление в 25 или больше атмосфер. Второго такого вещества в природе нет.

Нет также другого газа, столь ничтожно растворимого в жидкостях, особенно полярных, и так мало склонного к адсорбции, как гелий. Это наилучший среди газов проводник электричества и второй, после водорода, проводник тепла. Его теплоемкость очень велика, а вязкость мала.

Поразительно быстро проникает гелий сквозь тонкие перегородки из некоторых органических полимеров, фарфора, кварцевого и боросиликатного стекла. Любопытно, что сквозь мягкое стекло гелий диффундирует в 100 раз медленнее, чем сквозь боросиликатное. Гелий может проникать и через многие металлы. Полностью непроницаемы для него лишь железо и металлы платиновой группы, даже раскаленные.

На принципе избирательной проницаемости основан новый метод извлечения чистого гелия из природного газа.

Исключительный интерес проявляют ученые к жидкому гелию. Во-первых, это самая холодная жидкость, в которой к тому же не растворяется заметно ни одно вещество. Во-вторых, это самая легкая из жидкостей с минимальной величиной поверхностного натяжения.

При температуре 2,172°К происходит скачкообразное изменение свойств жидкого гелия. Образующаяся разновидность условно названа гелием II. Гелий II кипит совсем не так, как прочие жидкости, он не бурлит при кипении, поверхность его остается совершенно спокойной. Гелий II проводит тепло в 300 млн раз лучше, чем обычный жидкий гелий (гелий I). Вязкость гелия II практически равна нулю, она в тысячу раз меньше вязкости жидкого водорода. Поэтому гелий II обладает сверхтекучестью – способностью вытекать без трения через капилляры сколь угодно малого диаметра.

Другой стабильный изотоп гелия 3Не переходит в сверхтекучее состояние при температуре, отстоящей от абсолютного пуля всего на сотые доли градусов. Сверхтекучие гелий-4 и гелий-3 называют квантовыми жидкостями: в них проявляются квантово-механические эффекты еще до их отвердевания. Этим объясняется весьма детальная изученность жидкого гелия. Да и производят его ныне немало – сотни тысяч литров в год. А вот твердый гелий почти не изучен: велики экспериментальные трудности исследования этого самого холодного тела. Бесспорно, пробел этот будет заполнен, так как физики ждут много нового от познания свойств твердого гелия: ведь он тоже квантовое тело.

Инертный, но очень нужный

В конце прошлого века английский журнал «Панч» поместил карикатуру, на которой гелий был изображен хитро подмигивающим человечком – жителем Солнца. Текст под рисунком гласил: «Наконец-то меня изловили и на Земле! Это длилось достаточно долго! Интересно знать, сколько времени пройдет, пока они догадаются, что делать со мной?»

Действительно, прошло 34 года со дня открытия земного гелия (первое сообщение об этом было опубликовано в 1881 г.), прежде чем он нашел практическое применение. Определенную роль здесь сыграли оригинальные физико-технические, электрические и в меньшей мере химические свойства гелия, потребовавшие длительного изучения. Главными же препятствиями были рассеянность и высокая стоимость элемента №2.

Первыми гелий применили немцы. В 1915 г. они стали наполнять им свои дирижабли, бомбившие Лондон. Вскоре легкий, но негорючий гелий стал незаменимым наполнителем воздухоплавательных аппаратов. Начавшийся в середине 30-х годов упадок дирижаблестроения повлек некоторый спад в производстве гелия, но лишь на короткое время. Этот газ все больше привлекал к себе внимание химиков, металлургов и машиностроителей.

Многие технологические процессы и операции нельзя вести в воздушной среде. Чтобы избежать взаимодействия получаемого вещества (или исходного сырья) с газами воздуха, создают специальные защитные среды; и нет для этих целей более подходящего газа, чем гелий.

Инертный, легкий, подвижный, хорошо проводящий тепло гелий – идеальное средство для передавливания из одной емкости в другую легко воспламеняемых жидкостей и порошков; именно эти функции выполняет он в ракетах и управляемых снарядах. В гелиевой защитной среде проходят отдельные стадии получения ядерного горючего. В контейнерах, заполненных гелием, хранят и транспортируют тепловыделяющие элементы ядерных реакторов.

С помощью особых течеискателей, действие которых основано на исключительной диффузионной способности гелия, выявляют малейшие возможности утечки в атомных реакторах и других системах, находящихся под давлением или вакуумом.

Последние годы ознаменованы повторным подъемом дирижаблестроения, теперь на более высокой научно-технической основе. В ряде стран построены и строятся дирижабли с гелиевым наполнением грузоподъемностью от 100 до 3000 т. Они экономичны, надежны и удобны для транспортировки крупногабаритных грузов, таких, как плети газопроводов, нефтеочистительные установки, опоры линий электропередач и т.п. Наполнение из 85% гелия и 15% водорода огнебезопасно и только на 7% снижает подъемную силу в сравнении с водородным наполнением.

Начали действовать высокотемпературные ядерные реакторы нового типа, в которых теплоносителем служит гелий.

В научных исследованиях и в технике широко применяется жидкий гелий. Сверхнизкие температуры благоприятствуют углубленному познанию вещества и его строения – при более высоких температурах тонкие детали энергетических спектров маскируются тепловым движением атомов.

Уже существуют сверхпроводящие соленоиды из особых сплавов, создающие при температуре жидкого гелия сильные магнитные поля (до 300 тыс. эрстед) при ничтожных затратах энергии.

При температуре жидкого гелия многие металлы и сплавы становятся сверхпроводниками. Сверхпроводниковые реле – криотроны все шире применяются в конструкциях электронно-вычислительных машин. Они просты, надежны, очень компактны. Сверхпроводники, а с ними и жидкий гелий становятся необходимыми для электроники. Они входят в конструкции детекторов инфракрасного излучения, молекулярных усилителей (мазеров), оптических квантовых генераторов (лазеров), приборов для измерения сверхвысоких частот.

Конечно, этими примерами не исчерпывается роль гелия в современной технике. Но если бы не ограниченность природных ресурсов, не крайняя рассеянность гелия, он нашел бы еще множество применений. Известно, например, что при консервировании в среде гелия пищевые продукты сохраняют свой первоначальный вкус и аромат. Но «гелиевые» консервы пока остаются «вещью в себе», потому что гелия не хватает и применяют его лишь в самых важных отраслях промышленности и там, где без него никак не обойтись. Поэтому особенно обидно сознавать, что с горючим природным газом через аппараты химического синтеза, топки и печи проходят и уходят в атмосферу намного большие количества гелия, чем те, что добываются из гелиеносных источников.

Сейчас считается выгодным выделять гелий только в тех случаях, если его содержание в природном газе не меньше 0,05%. Запасы такого газа все время убывают, и не исключено, что они будут исчерпаны еще до конца нашего века. Однако, проблема «гелиевой недостаточности» к этому времени, вероятно, будет решена – частично за счет создания новых, более совершенных методов разделения газов, извлечения из них наиболее ценных, хотя и незначительных по объему фракций, и частично благодаря управляемому термоядерному синтезу. Гелий станет важным, хотя и побочным, продуктом деятельности «искусственных солнц».

Изотопы гелия

В природе существуют два стабильных изотопа гелия: гелий-3 и гелий-4. Легкий изотоп распространен на Земле в миллион раз меньше, чем тяжелый. Это самый редкий из стабильных изотопов, существующих на нашей планете. Искусственным путем получены еще три изотопа гелия. Все они радиоактивны. Период полураспада гелия-5 – 2,4·10–21 секунды, гелия-6 – 0,83 секунды, гелия-8 – 0,18 секунды. Самый тяжелый изотоп, интересный тем, что в его ядрах на один протон приходится три нейтрона, впервые подучен в Дубне в 60-х годах. Попытки получить гелий-10 пока были неудачны.

Последний твердый газ

В жидкое и твердое состояние гелий был переведен самым последним из всех газов. Особые сложности сжижения и отверждения гелия объясняются строением его атома и некоторыми особенностями физических свойств. В частности, гелий, как и водород, при температуре выше – 250°C, расширяясь, не охлаждается, а нагревается. С другой стороны, критическая температура гелия крайне низка. Именно поэтому жидкий гелий впервые удалось получить лишь в 1908, а твердый – в 1926 г.

Гелиевый воздух

Воздух, в котором весь азот или большая его часть заменена гелием, сегодня уже не новость. Его широко используют на земле, под землей и под водой.

Гелиевый воздух втрое легче и намного подвижнее обычного воздуха. Он активнее ведет себя в легких – быстро подводит кислород и быстро эвакуирует углекислый газ. Вот почему гелиевый воздух дают больным при расстройствах дыхания и некоторых операциях. Он снимает удушья, лечит бронхиальную астму и заболевания гортани.

Дыхание гелиевым воздухом практически исключает азотную эмболию (кессонную болезнь), которой при переходе от повышенного давления к нормальному подвержены водолазы и специалисты других профессий, работа которых проходит в условиях повышенного давления. Причина этой болезни – довольно значительная, особенно при повышенном давлении, растворимость азота в крови. По мере уменьшения давления он выделяется в виде газовых пузырьков, которые могут закупорить кровеносные сосуды, повредить нервные узлы... В отличие от азота, гелий практически нерастворим в жидкостях организма, поэтому он не может быть причиной кессонной болезни. К тому же гелиевый воздух исключает возникновение «азотного наркоза», внешне сходного с алкогольным опьянением.

Рано или поздно человечеству придется научиться подолгу жить и работать на морском дне, чтобы всерьез воспользоваться минеральными и пищевыми ресурсами шельфа. А на больших глубинах, как показали опыты советских, французских и американских исследователей, гелиевый воздух пока незаменим. Биологи доказали, что длительное дыхание гелиевым воздухом не вызывает отрицательных сдвигов в человеческом организме и не грозит изменениями в генетическом аппарате: гелиевая атмосфера не влияет на развитие клеток и частоту мутаций. Известны работы, авторы которых считают гелиевый воздух оптимальной воздушной средой для космических кораблей, совершающих длительные полеты во Вселенную. Но пока за пределы земной атмосферы искусственный гелиевый воздух еще не поднимался.

Гелий в скафандре

У космобиологов уже давно сложилось убеждение, что нет и не может быть газовой среды, которая была бы в равной степени хороша для любых условии космического полета. «Земной» воздух — не исключение. Его достоинства самоочевидны, именно они — причина того, что атмосфера во всех наших «Востоках», «Восходах» и «Союзах» состояла из обычного воздуха. Но в некоторых условиях обычный и привычный земной воздух может из друга превратиться во врага или не очень надежного друга...

Уже при полете к Луне на космический корабль воздействуют три источника радиации: излучение радиационных поясов Земли, галактическое космическое излучение и корпускулярное излучение солнечных вспышек. Предусмотреть интенсивность последнего практически невозможно. Даже при надежной защите корабля обычный воздух в этих условиях может стать источником вторичной — наведенной радиации. Точнее, источником станут атомы азота, из которого атмосфера корабля состоит почти на 80%. Из этой ситуации может быть лишь два выхода: или намного усложнять и утяжелять средства радиационной защиты, или создавать внутри корабля атмосферу, в которой невозможно возникновение наведенной радиации.

В аварийной ситуации может проявиться и другой «минус» обычного воздуха. Космический полет проходит в условиях глубокого вакуума. При случайной непредвиденной разгерметизации корабля космонавт подвергнется сразу нескольким опасностям. От многих из них, в том числе и от острого кислородного голодания, его защитит скафандр. Но будут ли участники длительных космических полетов постоянно находиться в скафандрах?!

Наконец, третий недостаток обычного воздуха как среды обитания космонавтов состоит в том, что эта газовая смесь — далеко не самая легкая. Собственно, не так тяжел сам воздух. От замены его даже водородом (представим на минуту, что это возможно) вес корабля заметно не изменится. Но ведь воздух, которым дышат космонавты, надо постоянно регенерировать. Циркуляция и вентиляция требуют затрат энергии. Чем легче газ, тем легче вентиляционные устройства, тем меньше вес источников энергии.

Конечно, естественные достоинства земного воздуха с лихвой перекрывают эти минусы, но не считаться с ними нельзя — вопрос-то гамлетовский: быть или не быть. Поэтому не прекращаются поиски и исследования других вариантов воздушной среды, пригодной для жизни в космосе. И если без кислорода никак не обойдешься, то азот воздуха, не играющий в жизненно важных процессах большой роли, может быть изъят или заменен.

В отечественной и зарубежной научной литературе фигурируют пять реальных вариантов газовой среды для кабин космических кораблей. Первый — обычный воздух: 78% Na, 21% Oz; 1% — все остальное: водород, инертные газы, СОа и другие. Второй, третий и четвертый варианты предполагают полное или частичное удаление из обычного воздуха балластного азота. Но, как известно, чистым кислородом долго дышать нельзя. Чтобы избежать кислородного отравления, давление в кабине снижается (человеку в космическом скафандре это снижение давления, естественно, ничем не грозит), так что парциальное давление кислорода остается таким же, как в нормальных условиях.

Газовая среда, освобожденная от азота, позволяет существенно уменьшить вес кабин. Именно такая среда была в кабинах американских космических кораблей «Меркурий», «Джемини», «Аполлон».

В опытах, поставленных в нашей стране, были подтверждены почти все достоинства атмосферы пониженного давления. Ей действительно не свойственны недостатки естественной воздушной среды. Но у нее свои минусы. Во-первых, в сильно разреженной атмосфере нельзя находиться без скафандра или с открытым скафандром. Во-вторых, и при низком давлении чистый кислород все-таки раздражает верхние дыхательные пути. В-третьих, в атмосфере чистого кислорода, да еще при пониженном давлении, намного увеличивается вероятность пожара. Значит, нужно предусматривать на борту какую-то технику пожарной безопасности, а она тоже что-то весит...

И, наконец, пятый вариант—атмосфера, в которой весь азот заменен гелием.

Теоретически предпосылки для такой замены были обнадеживающими. Феноменальная химическая пассивность гелия должна была гарантировать неизменность направления и характера биохимических реакций организма.

Однако все эти выкладки нужно было подтвердить опытами.

В камеру, заполненную гелио-кислородной смесью, поместили несколько белых мышей. Животные получали нормальный корм, воду; необычный воздух тщательно регенерировался. За мышами вели постоянное наблюдение. Эксперимент длился больше пятидесяти дней. Никаких существенных изменений в поведении и жизнедеятельности животных не наблюдалось. В ходе опыта не погибла ни одна мышь, напротив, у одной из них родились мышата, и население камеры увеличилось. После окончания опыта исследовали ткани и органы животных, долгое время находившихся или даже родившихся в гелио-кислородной среде, но никаких изменений, причиной которых мог быть гелий, обнаружено не было.

Другое важное свойство гелия как заменителя азота — прочность и компактность его молекул. Есть все основания считать, что в гелио-кислородной среде опасность наведенной радиации практически исключена. Растворимость гелия в крови, моче, лимфе и особенно жирах намного меньше, чем азота. Это уменьшает опасность декомпрессионных расстройств при резких перепадах давления. Не случайно гелио-кислородные смеси стали надежным средством профилактики кессонной болезни и дали большой выигрыш по времени при подъеме водолазов.

И плюс ко всему гелий намного легче азота.

Данные многих опытов на животных и с участием человека были за гелиевый воздух. Но все опыты на людях были кратковременны. Как скажется на человеке долгое пребывание в гелио-кислородной среде? Точный ответ на этот вопрос дали проведенные несколько лет назад опыты советских биологов профессора А. Г. Кузнецова и кандидата медицинских наук А. Г. Дианова. Было проведено два эксперимента продолжительностью один—22, другой—30 дней, в которых участвовали молодые, абсолютно здоровые люди. Первые два дня герметическая камера была заполнена обыкновенным воздухом. За это время медики сняли фоновые данные. На третий день произошла смена среды обитания. Сначала камеру провентилировали чистым медицинским кислородом, который не только вытеснил азот, но и «вымыл» этот газ из организма участника опыта. Когда концентрация кислорода в воздухе камеры достигла 97%, его подачу прекратили и начали подавать гелий. В этот жедень в камере установилась атмосфера примерно такого состава: 22,5% O2,76% Не и 1,5% N2. Все остальное—питание, режим, одежда — осталось неизменным.

В первые же часы пребывания испытателя в гелио-кислородной среде было зарегистрировано интересное явление. Сообщая о самочувствии он сказал, что все в порядке. Речь его была вполне разборчивой, но голос неузнаваемо изменился. Вместо привычного баритона слышался высокий, почти мальчишеский тенорок.

Подобные изменения голоса, правда не столь резкие, наблюдались и у водолазов. Объясняется это разницей в скорости распространения звуковых колебаний в разных средах, в результате чего звуковой спектр может сместиться почти на целую октаву.

Прошло еще несколько часов и испытатель сообщил, что в камере похолодало. Однако термометр не показывал изменения температуры — изменились теплоощущения испытателя. Высокая теплопроводность гелия сдвинула зону температурного комфорта. В условиях обычного воздуха эта зона— 18—24°С; в «гелиевом» воздухе— 24,5—27,5°С днем, когда испытатель бодрствует, и 26—29° С ночью. В дальнейшем опыт проходил в условиях комфортной температуры. Все дни ни на минуту не прекращались наблюдения, брались пробы, но никаких существенных отклонений в самочувствии, поведении, работоспособности испытателя, кроме тех двух, что были замечены в самом начале опыта, обнаружить не удалось.

Главным недостатком гелиевого воздуха оказалась все та же повышенная теплопроводность. В условиях разогрева оболочки корабля гелиевый воздух может не охлаждать, а перегревать организм (при температуре среды выше 36— 37° С. При меньших же температурах вентилировать космический скафандр гелиевым воздухом технически выгоднее, чем обыкновенным.

Во время полетов всех советских космонавтов в их кораблях поддерживалась «атмосфера № I» — обычный воздух, земное давление, нормальная влажность. Но это не значит, что во всех дальнейших полетах будет использоваться только такая атмосфера. У гелиевого воздуха есть хорошие шансы слетать в космос.

Свойства гелия

Газообразный гелий – инертный газ без цвета, запаха и вкуса. Жидкий гелий – бесцветная жидкость без запаха с температурой кипения при нормальном атмосферном давлении 101,3 кПа (760 мм.рт.ст.) 4,215 К (минус 268,9°С) и плотностью 124,9 кг/м3.

Гелий не токсичен, не горюч, не взрывоопасен, однако при высоких концентрациях в воздухе вызывает состояние кислородной недостаточности и удушье. Жидкий гелий – низкокипящая жидкость, которая может вызвать обморожение кожи и поражение слизистой оболочки глаз.

Атом гелия (он же молекула) – прочнейшая из молекулярных конструкций. Орбиты двух его электронов совершенно одинаковы и проходят предельно близко от ядра. Чтобы оголить ядро гелия, нужно затратить рекордно большую энергию (78,61 эВ). Отсюда следует феноменальная химическая пассивность гелия.

Молекулы гелия неполярны. Силы межмолекулярного взаимодействия между ними крайне невелики — меньше, чем в любом другом веществе. По этой причине гелий обладает самыми низкими значениями критических величин, наинизшей температура кипения, наименьшей теплотой испарения и плавления. Что касается температуры плавления гелия, то при нормальном давлении ее вообще нет. Жидкий гелий при сколь угодно близкой к абсолютному нулю температуре не затвердевает, если, помимо температуры, на него не действует давление в 25 или больше атмосфер. Второго такого вещества в природе нет. Это наилучший среди газов проводник электричества и второй, после водорода, проводник тепла. Его теплоемкость очень велика, а вязкость, наоборот, мала.

Гелий, дирижабли, водолазы и ядерная энергетика…

Впервые гелий применили в Германии. В 1915 году они немцы стали наполнять им свои дирижабли, бомбившие Лондон. Вскоре легкий, но негорючий гелий стал незаменимым наполнителем воздухоплавательных аппаратов. Начавшийся в середине 30-х годов упадок дирижаблестроения повлек некоторый спад в производстве гелия, но лишь на короткое время. Этот газ все больше привлекал к себе внимание химиков, металлургов и машиностроителей.

Еще одна сфера применения гелия обусловлена тем, что многие технологические процессы и операции нельзя вести в воздушной среде. Чтобы избежать взаимодействия получаемого вещества (или исходного сырья) с газами воздуха, создают специальные защитные среды, и нет для этих целей более подходящего газа, чем гелий.

В гелиевой защитной среде проходят отдельные стадии получения ядерного горючего. В контейнерах, заполненных гелием, хранят и транспортируют тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. С помощью особых течеискателей, действие которых основано на исключительной диффузионной способности гелия, выявляют малейшие возможности утечки в атомных реакторах и других системах, находящихся под давлением или вакуумом.

В научных исследованиях и в технике широко применяется жидкий гелий. Сверхнизкие температуры благоприятствуют углубленному познанию вещества и его строения – при более высоких температурах тонкие детали энергетических спектров маскируются тепловым движением атомов.

Уже существуют сверхпроводящие соленоиды из особых сплавов, создающие при температуре жидкого гелия сильные магнитные поля (до 300 тысяч эрстед) при ничтожных затратах энергии. При температуре жидкого гелия многие металлы и сплавы становятся сверхпроводниками. Сверхпроводниковые реле-криотроны все шире применяются в конструкциях электронно-вычислительных машин. Они просты, надежны, очень компактны. Сверхпроводники, а с ними и жидкий гелий становятся необходимыми для электроники. Они входят в конструкции детекторов инфракрасного излучения, молекулярных усилителей (мазеров), оптических квантовых генераторов (лазеров), приборов для измерения сверхвысоких частот.

Гелиокислородные смеси стали надежным средством профилактики кессонной болезни и дали большой выигрыш по времени при подъеме водолазов. Как известно, растворимость газов в жидкостях, при прочих равных данных, прямо пропорциональна давлению. У водолазов, работающих под большим давлением, в крови растворено азота гораздо больше в сравнении с нормальными условиями, существующими на поверхности воды. При подъеме с глубины, когда давление приближается к нормальному, растворимость азота понижается, и его избыток начинает выделяться. Если подъем совершается быстро, выделение избытка растворенных газов происходит столь бурно, что кровь и богатые водой ткани организма, насыщенные газом, вспениваются от массы пузырьков азота — подобно шампанскому при открывании бутылки.

Образование пузырьков азота в кровеносных сосудах нарушает работу сердца, появление их в мозгу нарушает его функции, а все это вместе ведет к тяжелым расстройствам жизнедеятельности организма и в итоге — к смерти. Для того, чтобы предупредить развитие описанных явлений, известных под именем «кессонной болезни», подъем водолазов, т. е. переход от повышенного давления к нормальному, производится весьма медленно.

При этом избыток растворенных газов выделяется постепенно и никаких болезненных расстройств не происходит. С применением искусственного воздуха, в котором азот заменяется менее растворимым гелием, возможность вредных расстройств устраняется почти полностью. Это позволяет увеличивать глубину опускания водолазов (до 100 и более метров) и удлинять время пребывания под водой.

«Гелиевый» воздух имеет плотность в три раза меньше плотности обычного воздуха. Поэтому дышать таким воздухом легче, чем обычным (уменьшается работа дыхательных мышц). Это обстоятельство имеет важное значение при заболевании органов дыхания. Поэтому «гелиевый» воздух применяется также в медицине при лечении астмы, удуший и других болезней.

Еще не вечный, но уже безвредный

В Лос-Аламосской национальной лаборатории имени Э. Ферми (штат Нью-Мексико) разработан новый двигатель, который может серьезно изменить представления об автомобиле как одном из главных источников загрязнения. При сопоставимом с двигателем внутреннего сгорания коэффициенте полезного действия (30–40%) он лишен основных его недостатков: движущихся частей, нуждающихся в смазке для уменьшения трения и износа, и вредных для окружающей среды выбросов продуктов неполного сгорания топлива.

По сути, речь идет об усовершенствовании хорошо известного двигателя внешнего сгорания, предложенного шотландским священником Р. Стирлингом еще в 1816 г. Этот двигатель не получил широкого распространения на автотранспорте из-за более сложной по сравнению с двигателем внутреннего сгорания конструкции, большей материалоемкости и стоимости. Но термоакустический преобразователь энергии, предложенный американскими учеными, в котором рабочим телом служит сжатый гелий, выгодно отличается от своего предшественника отсутствием громоздких теплообменников, препятствовавших его использованию в легковых автомобилях, и в недалеком будущем способен стать экологически приемлемой альтернативой не только двигателя внутреннего сгорания, но и преобразователя солнечной энергии, холодильника, кондиционера. Масштабы его применения пока даже трудно представить.