

(s -процесса, см. *Ядерная астрофизика*). По окончании Г. в. внеш. конвективная зона, проникающая в зону с изменённым хим. составом, может вывести образовавшиеся элементы на поверхность звезды. Т. к. звёзды красные сверхгиганты, имеющие слоевые источники энергии, интенсивно теряют массу, то они могут являться гл. поставщиками хим. элементов — продуктов s -процесса в межзвёздную среду.

Г. в. возможна также в белых карликах, интенсивно аккрецирующих вещество. При аккреции может образоваться массивный гелиевый карлик ($M_{\text{He}} \geq 0,6 M_{\odot}$), в к-ром горение гелия развивается в неустойчивом режиме и приводит к образованию детонационной волны. В конечном итоге происходит вспышка и полный разлёт вещества звезды с выбросом элементов группы железа и энергосвободением $\mathcal{E} \sim 10^{51}$ эрг. Такой карлик может быть предсверхновой I типа (см. *Сверхновые звёзды*).

Горение массивного слоя гелия [$M_{\text{He}} \sim (0,1-0,3) M_{\odot}$], аккрецированного углеродно-кислородным карликом, может привести либо к образованию двойной детонационной волны (внутри по углероду, наружу по гелию) и полному разлёту вещества звезды ($\mathcal{E} \sim 10^{51}$ эрг) с выбросом элементов группы железа, либо к образованию одиночной детонационной волны (по гелию наружу, волна внутри затухает), выбросу части вещества звезды в межзвёздную среду и формированию звёздного остатка (белого карлика); энергия взрыва $\sim \Delta M_{\text{He}}/M_{\odot} \approx 3 \cdot 10^{51}$ эрг, где ΔM_{He} — масса гелиевого слоя.

Г. в. могут происходить и в оболочках аккрецирующих нейтронных звёзд (см. *Барстеры*).

Лит. см. при ст. *Эволюция звёзд*.

Э. В. Эргма.

ГЕЛИЙ (от греч. *hēlios* — солнце; лат. *Helium*), He, — хим. элемент VIII группы периодич. системы элементов, инертный газ, ат. номер 2, ат. масса 4,002602. Электроновая конфигурация Г. $1s^2$. Энергия ионизации 24,587 эВ — самая высокая среди всех элементов. Радиус атома Г. по шкале Бокля — Белова 0,122 нм.

Природный Г. состоит из двух стабильных изотопов ^4He (99,999862%) и ^3He . Преобладание ^4He связано с его образованием при α -распаде природных радиоизотопов Th, U и др. элементов. В 1 т гранита, содержащего 3 г U и 15 г Th, за 7,9 млн. лет образуется 1 мг ^4He , но за время существования Земли в её коре накопились заметные кол-ва Г. (по отношению содержания ^4He к содержанию Th и U определяют возраст минералов). В воздухе содержится ок. $5 \cdot 10^{-4}$ % Г. (по объёму). В природных и нефтяных газах содержание Г. иногда достигает 5–10% по объёму (обычно значительно ниже).

Ядра ^4He (*альфа-частица*) характеризуются очень высокой энергией связи (28,2937 МэВ), образование их из четырёх протонов сопровождается испусканием двух позитронов и двух нейтрино ($4\text{H} = ^4\text{He} + 2\beta^+ + 2\nu$) и выделением огромной энергии. Реакция синтеза ^4He , по-видимому, является осн. источником энергии Солнца и др. звёзд, а также источником накопления значит. кол-ва Г. во Вселенной.

Г. — лёгкий бесцветный одноатомный газ, плотность (при темп-ре 0 °C и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па) $0,178467 \text{ кг/м}^3$, в воде плохо растворим (в 1 л воды при 0 °C растворяется 9,7 мл Г.). Теплопроводность (0 °C) $0,1438 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, вязкость (0 °C) $18,60 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$. Диэлектрич. проницаемость ϵ (при 0 °C и $1,013 \cdot 10^5$ Па) 1,000074. ^4He слабо диамагнитен, $\chi = -0,78 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3/\text{кг}$. Показатель преломления гелия для жёлтой линии $n_D = 1,000034$.

Темп-ра кипения — 4,22 К — самая низкая среди всех жидкостей, гелий жидкий обладает рядом уникальных свойств. Г. — единственный элемент, к-рый не отвердевает при нормальном давлении, переход в твёрдое состояние возможен только при давлениях св. 2,5 МПа (см. *Гелий твёрдый*).

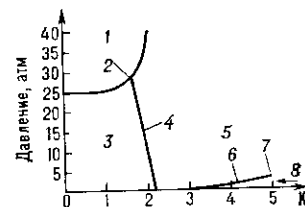
Химически Г. пассивен, устойчивые соединения Г. неизвестны. В атмосфере Г. проводят плавку, резку и сварку мн. металлов и сплавов, выращивание полупроводниковых и др. монокристаллов. Высокая теплопроводность Г. в сочетании с низкой способностью его ядер вступать в реакцию с нейтронами позволяет использовать Г. для охлаждения атомных реакторов.

Лит.: Фастовский В. Г., Ровинский А. Е., Петровский Ю. В., Инертные газы, 2 изд., М., 1972. С. С. Бердосова.

ГЕЛИЙ ЖИДКИЙ. Жидкие ^3He и ^4He (и их растворы) — единственные в природе жидкости, не затвердевающие при абс. нуле темп-ры (при атм. давлении). Благодаря малой массе атомов гелия и характерному для атомов благородных газов слабому притяжению между ними при понижении темп-ры квантовые эффекты в Г. ж. («нулевые колебания» атомов при $T=0$) препятствуют его кристаллизации. ^3He и ^4He — *квантовые жидкости*: при $T \leq 2$ К квантовые эффекты определяют поведение этих жидкостей и различие их свойств, вызванное различием в квантовой статистике, к-рой подчиняются ансамбли из атомов ^3He и ^4He . Жидкий ^4He — бозе-жидкость, т. к. его атомы — бозоны; их спин равен нулю, они подчиняются *Бозе — Эйнштейна статистике*. Жидкий ^3He , состоящий из фермионов — атомов со спином $1/2$, подчиняющихся *Ферми — Дирака статистике*, является ферми-жидкостью.

С понижением темп-ры ^4He при $T = T_{\lambda}$ (в т. н. λ -точке) испытывает *фазовый переход* 2-го рода, новую фазу называют He II. Темп-ра $T_{\lambda} = 2,17$ К соответствует давлению насыщенных паров Г. ж., с ростом давления T_{λ} уменьшается (рис. 1). He II обладает аномально высокой теплопроводностью и *сверхтекучестью* (П. Л. Капица, 1938). Вязкость He II, измеренная методом колеблющегося диска, тем не менее отлична от нуля и вблизи T_{λ} мало отличается

Рис. 1. Диаграмма состояния ^4He : 1 — твёрдый ^4He , 2 — кривая плавления, 3 — жидкий He I, 4 — λ -линия (линия λ -точек), 5 — жидкий He I, 6 — кривая испарения, 7 — критическая точка, 8 — газообразный ^4He .



от вязкости нормального (несверхтекучего) ^4He . Это противоречие разрешается в *Ландау теории сверхтекучести* (двухжидкостная модель He II, Л. Д. Ландау, 1941), согласно к-рой He II состоит из двух компонентов: нормального и сверхтекучего. Сверхтекучий

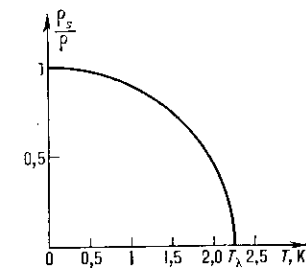


Рис. 2. Температурная зависимость относительного содержания (ρ_s/ρ) сверхтекучего компонента в He II. При критической температуре T_{λ} значение $\rho_s/\rho = 0$.

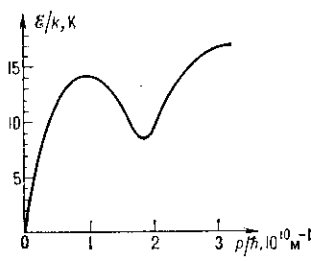


Рис. 3. Спектр возбуждений в He II, измеренный в нейтронных экспериментах; $\mathcal{E}$ — энергия квазичастицы, p — её импульс.

компонент — идеальная жидкость с потенциальным течением — не обладает *энтропией* и не испытывает сопротивления при протекании сквозь узкие капилляры. Её плотность ρ_s совпадает с полной плотностью жидкости ρ при $T=0$ К и уменьшается с ростом T