

ственно), лонсдейлит (получен искусственно, затем обнаружен в метеоритах) и фуллерит (см. Фуллерены); наиб. важны графит и алмаз. Графит — серо-чёрный, мягкий, жирный на ощупь, слоистый материал. Структура гексагональная с параметрами решётки $a=245,6$ пм и $c=669,6$ пм. $t_{пл}$ ок. 4000°C (наивысшая среди всех известных веществ), $t_{кип}$ ок. 4200°C . В тройной точке «твёрдый графит — пар — жидкость» давление ок. $10,5$ МПа, темп-ра 4492°C . Значение уд. теплоёмкости $c_p=8,736$ Дж/(моль·К). Уд. электрич. сопротивление при 20°C $13,0$ мкОм·м, при 2500°C $15,0$ мкОм·м, температурный коэф. электрич. сопротивления $0,4 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$. Магн. восприимчивость графита $\chi = -1,22 \cdot 10^{-9}$. Многие характеристики графита анизотропны. Так, вдоль оси c и в перпендикулярном направлении характеристик. темп-ры Дебая соответственно равны 2280 и 760 К, теплопроводность при 300°C $1,56$ и 281 Вт/(м·К), коэф. линейного расширения при 0°C $27,2 \cdot 10^{-6}$ и $12,7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Тв. графита по шкале Мооса равна 1; временное сопротивление при растяжении графита лежит в интервале $0,3—17$ МПа в зависимости от его качества.

Алмаз — прозрачный, твёрдый, сильно преломляющий свет (показатель преломления $n=2,407—2,465$) кристалл, окраска к-рого определяется примесями и др. дефектами структуры. Решётка алмаза — кубическая, её параметр $356,679$ пм. Плотн. $3,515$ кг/дм³. При нагревании до 1800°C в отсутствие кислорода превращается в графит. В тройной точке «алмаз — графит — жидкость» давление $12,4$ ГПа и темп-ра 3000°C . Тв. алмаза — наибольшая из всех известных веществ, по шкале Мооса она равна 10. Диэлектрик, хорошо проводит тепло. Магн. восприимчивость $\chi = -0,492 \cdot 10^{-9}$. Характеристич. темп-ра Дебая 1860 К. Драгоценный камень, спец. образом огранённые алмазы — бриллианты; существует спец. единица массы алмаза — карат (равна $0,2$ г); природные алмазы достигают 1000 карат. Искусств. алмазы получают в аппаратах высокого давления при темп-рах $1300—1600^\circ\text{C}$ и давлениях $4,5—8,0$ ГПа.

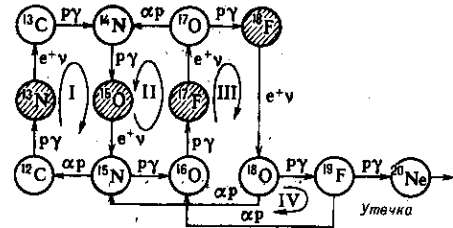
У. во всех модификациях химически относительно инертен. В соединениях проявляет степени окисления $+4$, -4 и реже $+2$ и -2 . При взаимодействии с кислородом образует углекислый газ (диоксид У.) CO_2 и сильно ядовитый угарный газ (монооксид У.) CO . При растворении в воде CO_2 образует слабую угольную кислоту H_2CO_3 , соли к-рой (карбонаты) широко представлены в природе (мрамор, доломит и др.) и применяются в технике (сода Na_2CO_3 , поташ K_2CO_3 и др.). Важная особенность атомов У. — образовывать цепочки атомов —С—С—С—, возможны также многоатомные шарообразные и цилиндрич. образования У. — фуллерены. Химия У. наз. органической, к соединениям У. относятся углеводы, белки, жиры и др. вещества, составляющие организмы и продукты их жизнедеятельности.

У. образует с др. элементами твёрдые соединения — карбиды (напр., близкий по твёрдости к алмазу карборунд SiC , карбид бора B_4C , также обладающий высокой твёрдостью карбид железа Fe_3C , входящий в состав сталей). У. — осн. элемент углей, он составляет $91—99,5\%$ кокса, к-рый применяется в металлургии. Из графита изготовляют электроды, мембраны микрофонов, грифели карандашей, графитовые смазки. Специально обработанный У. — т. н. активированный У., характеризующийся высокой уд. поверхностью (до $100 \text{ м}^2/\text{г}$ и выше), используют как сорбент. Высокоочищенный графит служит замедлителем нейтронов в ядерных реакторах. Алмаз применяют как абразивный материал для обработки металлов и др. материалов. Искусств. радионуклид ^{14}C в форме разл. соединений используют в хим., биол. и медицинских исследованиях.

С. С. Бердоносов.

УГЛЕРОДНО-АЗОТНЫЙ ЦИКЛ — последовательность термоядерных реакций в звёздах, приводящая к образованию гелия из водорода с участием углерода, азота, кислорода и фтора в качестве катализаторов. У.-а. ц. — осн. источник энергии массивных ($M \geq 1,2 M_\odot$) звёзд на нач. стадиях их существования (см. Эволюция звёзд). Вблизи

центра таких звёзд темп-ра достаточно высока для того, чтобы У.-а. ц. был эффективнее водородного цикла. Реакции У.-а. ц. образуют 4 переплетающихся цикла (I—IV), направления обхода к-рых на рис. указаны изогнутыми



стрелками. В сокращённой записи эти циклы выглядят следующим образом:

- I. $^{12}\text{C}(p, \gamma)^{13}\text{N}(e^+ \nu)^{13}\text{C}(p, \gamma)^{14}\text{N}(p, \gamma)^{15}\text{O}(e^+ \nu)^{15}\text{N}(p, \alpha)^{12}\text{C}$.
- II. $^{14}\text{N}(p, \gamma)^{15}\text{O}(e^+ \nu)^{15}\text{N}(p, \gamma)^{16}\text{O}(p, \gamma)^{17}\text{F}(e^+ \nu)^{17}\text{O}(p, \alpha)^{14}\text{N}$.
- III. $^{15}\text{N}(p, \gamma)^{16}\text{O}(p, \gamma)^{17}\text{F}(e^+ \nu)^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}(e^+ \nu)^{18}\text{O}(p, \alpha)^{15}\text{N}$.
- IV. $^{16}\text{O}(p, \gamma)^{17}\text{F}(e^+ \nu)^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}(e^+ \nu)^{18}\text{O}(p, \gamma)^{19}\text{F}(p, \alpha)^{16}\text{O}$.

Скорость превращения водорода в гелий и пропорциональная ей мощность выделения энергии определяются в осн. циклом I: ядро ^{12}C захватывает протон (p) и после испускания γ -фотона переходит в неустойчивое ядро ^{13}N , распадающееся с испусканием позитрона (e^+) и нейтрино (ν) и образованием ядра ^{13}C ; затем после двух последоват. радиационных захватов протонов и распада неустойчивого ядра ^{15}O образуется ядро ^{15}N . Это ядро примечательно тем, что для него реакция (p, α) (захват протона с выбросом α -частицы) протекает с выделением энергии, т. е. является беспороговой и поэтому эффективной при характерных для звёздного вещества низких энергиях частиц (для аналогичных реакций с участием др. изотопов из цикла I потребовались бы протоны с энергиями неск. МэВ, к-рые отсутствуют в звёздном веществе). Реакция $^{15}\text{N}(p, \alpha)^{12}\text{C}$ замыкает цикл I. В итоге 4 протона превращаются в α -частицу — ядро ^4He . К такому же результату приводят и циклы II—IV.

Взаимодействие протона с ядром ^{15}N иногда заканчивается образованием ядра ^{16}O [примерно на 1000 реакций (p, α) приходится 1 радиац. захват протона], что приводит к двум дополнит. циклам, II и III. Эти циклы протекают прибл. в одинаковом темпе, т. к. сравнимы скорости реакций $^{17}\text{O}(p, \alpha)^{14}\text{N}$ и $^{17}\text{O}(p, \gamma)^{18}\text{F}$, от к-рых зависит их относит. частота. Цикл IV оказывается ещё более редким вследствие того, что скорость реакции $^{18}\text{O}(p, \gamma)^{19}\text{F}$ по крайней мере на 3 порядка меньше скорости реакции $^{18}\text{O}(p, \alpha)^{15}\text{N}$. В установившемся У.-а. ц. на каждую реализацию цикла IV приходится более 1000 циклов II и III и более 10^6 циклов I. Хотя циклы II—IV играют второстепенную роль в скорости выделения энергии, они определяют концентрации изотопов ^{17}O и ^{18}O , к-рые на более поздних стадиях эволюции звезды могут вступать в термоядерные реакции с выделением нейтронов. Эти реакции имеют существенное значение для теории нуклеосинтеза. Цикл IV может быть важен для объяснения происхождения ^{19}F .

В У.-а. ц. участвуют все стабильные изотопы C, N, O и F, а также неск. нестабильных изотопов этих элементов (на рис. они отмечены штриховкой). Поэтому в совр. астрофиз. литературе У.-а. ц. часто наз. CNO-циклом (изотопы F имеют очень малые концентрации, и их вклад в общее число изотопов У.-а. ц. мал). Через нек-рое время после начала эволюции массивной звезды У.-а. ц. приходит в равновесное состояние, когда концентрации всех