

## 3.1.3. Hel

Metoda orbitali molekularnych pozwala w formalny sposób, tak jak dla wodoru, przedstawić możliwości tworzenia drobin dwurdzeniowych helu.

Liczba e	0	1	2	3	4
Orbitale	$\sigma_b^0, \sigma_a^0$	$\sigma_b^1, \sigma_a^0$	$\sigma_b^2, \sigma_a^0$	$\sigma_b^2, \sigma_a^1$	$\sigma_b^2, \sigma_a^2$
Drobiny	$2\text{He}^{2+}$	$\text{He}_2^{3+}$	$\text{He}_2^{2+}$	$\text{He}_2^+$	$2\text{He}^0$

Wysoka energia wiązania elektronów (wysoka elektroujemność rdzeniowa helu) ogranicza możliwości istnienia większości tych drobin. Silnie wiążący elektrony rdzeń helu tworzy tylko jedną trwałą drobinę – atom  $\text{He}^0$ , a w ekstremalnych warunkach, metodami spektroskopowymi stwierdza się istnienie naładowanych dodatnio, jednordzeniowych i dwurdzeniowych drobin, które są jednak mniej stabilne od ich analogów wodorowych.

Właściwości fizyczne i fizykochemiczne jednopierwiastkowego związku jak i tworzą atomy helu zestawiono w tabl. 15.

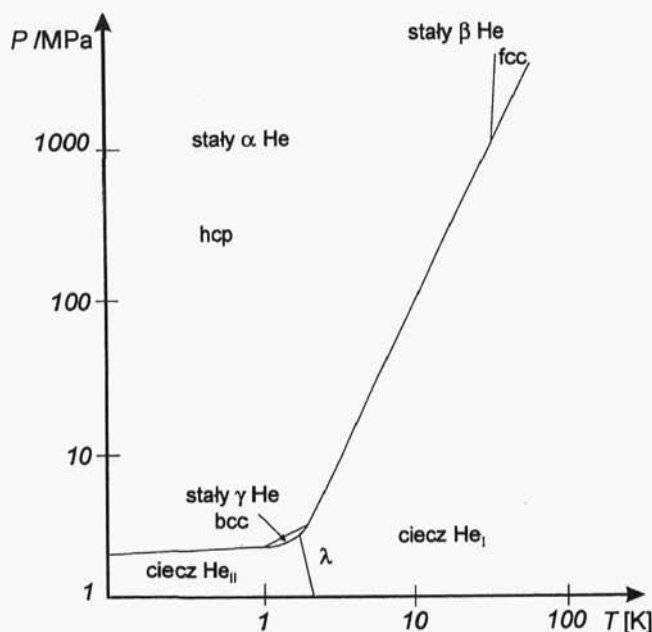
Z chemicznego punktu widzenia atomy helu, ze względu na wysoką energię wiązania elektronów walencyjnych, są nieczynne, co jest

Tablica 15  
Właściwości fizykochemiczne helu

Temperatura topnienia [K]		0,95 pod ciśnieniem (nie zestala się pod ciśnieniem własnej pary)
Temperatura wrzenia [K]		4,216
$\Delta H_{\text{parowania}}$ [kJ · mol <sup>-1</sup> ]		0,082
Gęstość	gaz w 273 K [g · dm <sup>-3</sup> ]	0,1785
	ciecz w 4,2 K [g · cm <sup>-3</sup> ]	0,1248
Przewodnictwo cieplne w 300 K [W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]		0,152
Przenikalność magnetyczna (gaz) [kg <sup>-1</sup> · m <sup>3</sup> ]		-5,9 · 10 <sup>-9</sup>
Ciepło właściwe [J · K <sup>-1</sup> · mol <sup>-1</sup> ]		20,79
Entropia [J · K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup> ]		126,15

wykorzystywane w jego zastosowaniach jako atmosfery ochronnej przy prowadzeniu wielu procesów chemicznych. Znaczenie helu wynika jednak głównie z jego unikalnych właściwości w różnych stanach skupienia. Atomy helu, a szczególnie jego izotop o liczbie masowej 4, mają niezwykle symetrię, zarówno jeśli chodzi o budowę jądra (o liczbie magicznej 2 w odniesieniu do protonów i neutronów), jak i o symetryczne wypełnienie powłoki  $K$  dwoma elektronami. W takim układzie zostają skompensowane zarówno spiny jądrowe, jak i spiny elektronów. Ma to wpływ na właściwości fizyczne helu we wszystkich jego stanach skupienia. Diagram fazowy helu ma kilka niezwykle i niespotykanych w innych związkach jednopierwiastkowych, obszarów. Oziębiany gazowy hel ulega skropleniu, w temp. 4,2 K i pod ciśnieniem własnej pary pozostaje cieczą aż do temp. 0 K nie ulegając zestaleniu. Hel nie ma punktu potrójnego, tj. punktu, w którym przy określonej temperaturze i ciśnieniu współistnieją ze sobą faza gazowa, ciekła i stała. W fazie ciekłej hel występuje w postaci dwóch cieczy  $\text{He}_I$  i  $\text{He}_{II}$ .  $\text{He}_I$  istnieje w przedziale temperaturowym od 4,2 K ( $t_{wz.}$ ) do punktu przejścia fazowego drugiego rodzaju w  $\text{He}_{II}$  (tzw. punkt  $\lambda$ ), które zachodzi w temp. 2,172 K pod ciśnieniem pary 5,04 kPa. Pod zwiększonym ciśnieniem temperatura przejścia fazowego ( $T_\lambda$ ) spada. Ciecz  $\text{He}_{II}$  ma niezwykle właściwości, uwidaczniają się w niej efekty kwantowe na skalę makroskopową, jest ona skondensowanym gazem Bosego-Einsteina, który w temp. 0 K jest opisany pojedynczym stanem kwantowym. Ciecz ta jest pozbawiona lepkości i wykazuje zjawisko nadpłynności, ma wysokie przewodnictwo cieplne, porównywalne z przewodnictwem metalicznej miedzi w temperaturze pokojowej.

Hel może istnieć jako faza stała przy ciśnieniach powyżej 2,5 MPa. Na otrzymanych dotychczas ciśnieniowych diagramach fazowych helu stwierdzono występowanie trzech stałych faz:  $\alpha$ -He,  $\beta$ -He i  $\gamma$ -He. Schematyczny diagram fazowy helu pokazano na rys. 83. Fazy  $\alpha$  i  $\gamma$  są stabilne pod stosunkowo niskimi ciśnieniami. Faza  $\alpha$ -He krystalizuje w układzie heksagonalnym najgęstszego upakowania (grupa przestrzenna  $P6_3/mmc$ ), a komórka elementarna (w temp. 3,96 K i pod ciśnieniem 13 MPa) ma parametry:  $a = 345,0$  pm,  $c = 551,9$  pm,  $Z = 2$ . Faza  $\gamma$ -He ma stosunkowo wąski zakres istnienia, ograniczony dwoma punktami równowag, od 1,464 K i 2,6 MPa (równowaga:  $\alpha$ -He,  $\gamma$ -He i ciecz  $\text{He}_{II}$ ) do 1,772 K



Rys. 83. Diagram fazowy helu

i 3,0 MPa (równowaga:  $\alpha$ -He,  $\gamma$ -He, ciecz  $\text{He}_{\text{II}}$  i  $\text{He}_{\text{I}}$ ). Faza  $\gamma$ -He krystalizuje w układzie regularnym wewnętrznie centrowanym (grupa przestrzenna  $Im\bar{3}m$ ) z parametrami komórki (w temp. 1,73 K i pod ciśnieniem 2,9 MPa):  $a = 411,0$  pm,  $Z = 2$ . Pod ciśnieniem ok. 110 MPa i w temp. 14,9 K stwierdzono istnienie punktu potrójnego z udziałem fazy  $\beta$ -He,  $\alpha$ -He i cieczy  $\text{He}_{\text{I}}$ . Faza  $\beta$ -He pod ciśnieniem 125 MPa i w temp. 16 K krystalizuje w układzie regularnym zewnętrznie centrowanym najgęstszego upakowania (grupa przestrzenna  $Fm\bar{3}m$ ) z komórką o parametrach:  $a = 424,0$  pm i  $Z = 4$ .

## 3.2. Pierwiastki pozbawione cech blokowych

### 3.2.1. Charakterystyka pierwiastków pozbawionych cech blokowych

Przynależność do bloków pierwiastków wynika z układu potencjalnych podpowłok walencyjnych wokół ich rdzeni. Charakterystycz-