

**Сухобезразличная стратификация** ( $\gamma = \gamma_a$ ). При безразличной стратификации потенциальная температура частиц воздуха, расположенных на уровнях  $z_1$  и  $z_2$ , одинакова ( $\Theta_1 = \Theta_2$ ), т. е. потенциальная температура не изменяется с высотой.

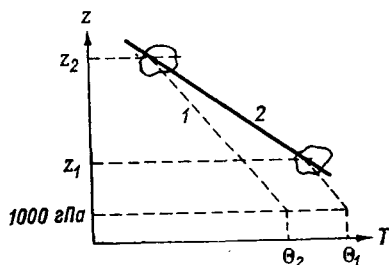


Рис. 4.2. Изменение потенциальной температуры с высотой при сухонестойчивой стратификации ( $\theta_2 < \theta_1$ ).

Усл. обозначения см. рис. 4.1.

Если прологарифмировать и взять производную по высоте от правой и левой частей формулы (4.1), то получим

$$\frac{1}{\Theta} \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{R_c}{c_p p} \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (6.1)$$

при этом индекс  $i$  опускаем на том основании, что рассматриваем изменение  $\Theta$  в атмосфере. Воспользовавшись основным уравнением статики, формулу (6.1) приведем к виду

$$\frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\Theta}{T} (\gamma_a - \gamma). \quad (6.2)$$

Из формулы (6.2) непосредственно следует, что при сухонестойчивой стратификации  $\partial \Theta / \partial z < 0$ , при сухобезразличной  $\partial \Theta / \partial z = 0$ , при сухоустойчивой  $\partial \Theta / \partial z > 0$ , что согласуется с выводами, полученными качественным путем.

## 7 Адиабатические процессы во влажном ненасыщенном воздухе

В предыдущих параграфах изучались термодинамические процессы, протекающие в сухом воздухе. Если воздух влажный, но ненасыщенный, то термодинамические процессы в нем с количественной стороны не будут существенно отличаться от процессов в сухом воздухе. В самом деле, если единичной массе влажного воздуха сообщается некоторое количество тепла  $dq$ , то оно расхо-

дуются на работу расширения  $dw = p dv_i$ , изменение внутренней энергии сухой частицы воздуха  $du_c = (1 - s) c_{vc} dT_i$  и водяного пара  $du_{\text{п}} = s c_{\text{вп}} dT_i$  ( $s$  — доля водяного пара,  $c_{vc}$  и  $c_{\text{вп}}$  — удельные теплоемкости сухого воздуха и водяного пара при постоянном объеме).

По первому началу термодинамики

$$dq = du_c + du_{\text{п}} + dw \text{ или } dq = [(1 - s) c_{vc} + s c_{\text{вп}}] dT_i + p dv_i. \quad (7.1)$$

Если воспользоваться уравнением состояния влажного воздуха

$$p_i v_i = [R_c (1 - s) + R_{\text{п}} s] T_i,$$

то уравнение (7.1) можно привести к виду

$$dq = [(1 - s) c_{pc} + s c_{\text{пп}}] dT_i - \frac{RT_i}{p} dp, \quad (7.2)$$

где  $c_{pc}$  и  $c_{\text{пп}}$  — удельные теплоемкости сухого воздуха и водяного пара при постоянном давлении;  $R = R_c (1 - s) + R_{\text{п}} s$  — удельная газовая постоянная влажного воздуха.

При адиабатическом подъеме ( $dq = 0$ ) влажного ненасыщенного воздуха изменение температуры, отнесенное к единице высоты, по (7.2), с учетом уравнения статики равно

$$-\frac{dT_i}{dz} = \frac{g}{(1 - s) c_{pc} + s c_{\text{пп}}} \frac{R}{R_e} \frac{T_i}{T_e}. \quad (7.3)$$

Здесь  $R_e$  — удельная газовая постоянная окружающего частицу воздуха.

Доля пара  $s$  в реальных условиях не больше 0,03—0,04, это значит, что  $R$  и  $R_e$  близки к удельной газовой постоянной сухого воздуха  $R \approx R_e \approx R_c$ , а  $(1 - s) c_{pc} + s c_{\text{пп}} \approx c_{pc}$ . С учетом этого формула (7.3) принимает вид

$$-\frac{dT_i}{dz} = \frac{g}{c_{pc}} \frac{T_i}{T_e} = \gamma_a \approx 1 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ м}. \quad (7.4)$$

Таким образом, температура влажной ненасыщенной частицы изменяется при адиабатическом подъеме практически так же, как и температура сухой частицы, а кривой состояния для влажного ненасыщенного воздуха служит *сухая адиабата*.

## 8 Влажноадиабатические процессы

*Влажноадиабатическим* называется адиабатический процесс, протекающий во влажном *насыщенном* воздухе. При таком процессе происходит конденсация водяного пара или испарение капель воды.