

в исходное положение после прекращения действия внешних сил.¹ Стратификация атмосферы при $\gamma < \gamma_a$ носит название *сухоустойчивой стратификации*. С практической точки зрения особенно большое значение имеют два частных случая сухоустойчивой стратификации: изотермическая ($\gamma=0$) и инверсионная ($\gamma < 0$).

Из предыдущего следует, что при устойчивой стратификации вообще, а при инверсии в особенности перемещение воздушных частиц по вертикали затруднено: в случае особо сильной инверсии оно полностью исключено. При неустойчивой же стратификации создаются благоприятные условия для возникновения и развития вертикальных движений воздушных частиц.

В рассмотренном методе анализа термодинамической устойчивости показателем состояния атмосферы является поведение индивидуальной воздушной частицы. Поэтому его называют *методом частицы*. Предполагалось, что вертикальные перемещения частицы происходили адиабатически. В реальных условиях атмосферы это предположение, строго говоря, не выполняется вследствие наличия теплообмена частицы с окружающей средой. Но, несмотря на это, с качественной стороны сделанные выше выводы об условиях развития вертикальных движений частиц соответствуют тому, что наблюдается в атмосфере.

6 Изменение потенциальной температуры с высотой при различных видах стратификации атмосферы

Представляет интерес изучить распределение потенциальной температуры по высоте при различных видах стратификации атмосферы, так как в дальнейшем будет показано, что с особенностями этого распределения связано направление турбулентного потока тепла в атмосфере. Рассмотрим сначала изменение потенциальной температуры Θ с высотой с качественной стороны.

Сухонеустойчивая стратификация ($\gamma > \gamma_a$). Выделим в атмосфере два каких-либо уровня: z_1 и z_2 (рис. 4.2). Приведем адиабатически частицы воздуха, расположенные на этих уровнях, к уровню $p=1000$ гПа. Из рис. 4.2 непосредственно следует, что $\Theta_2 < \Theta_1$. Это означает, что при сухонеустойчивой стратификации вверху лежат воздушные массы, потенциально более холодные по сравнению с нижележащими массами, т. е. потенциальная температура *убывает с высотой*.

¹ Строго говоря, при устойчивой стратификации частица, выведенная из начального положения, будет совершать колебательное движение

около исходного уровня с частотой, называемой частотой Брента—Вяйсяля.

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.

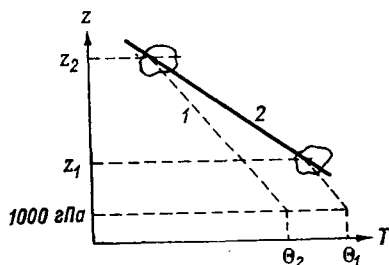


Рис. 4.2. Изменение потенциальной температуры с высотой при сухонестойчивой стратификации ($\theta_2 < \theta_1$).

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 Θ 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-