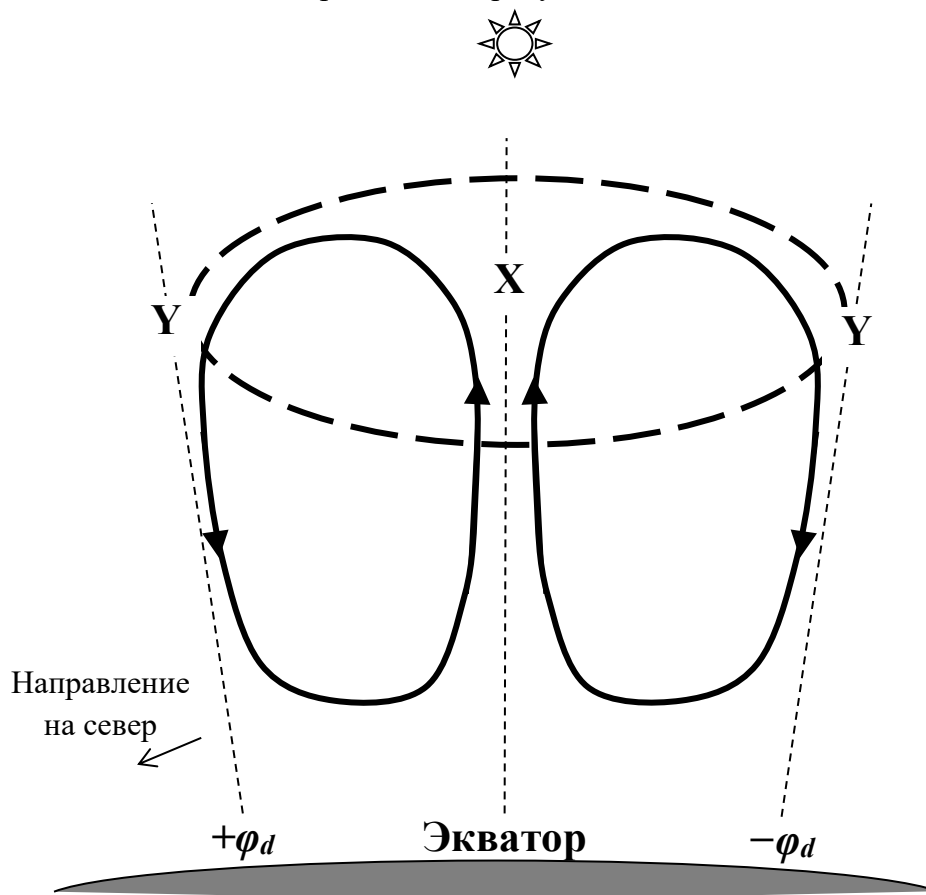


Задача 1

На первой картинке схематически показан процесс циркуляции имени Хадли, который происходит вблизи тропической атмосферы Земли во время весеннего равноденствия. В этом процессе воздух поднимается от экватора и движется по направлению к полюсам, спускаясь в субтропиках на широтах $\pm\varphi_d$, где положительные и отрицательные знаки соответствуют северной и южной полусферам. В верхних частях циркуляции (выделена пунктирной линией) сохраняется момент импульса относительно оси вращения Земли. Заметьте что в приведенном рисунке масштаб не соблюден.

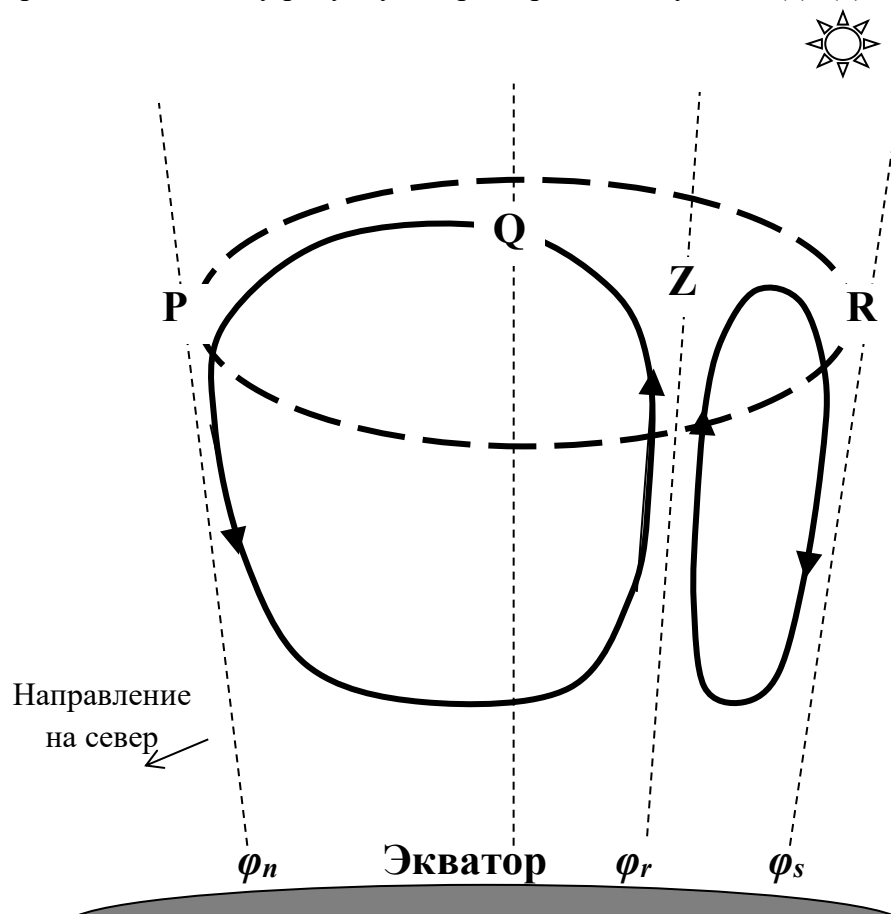


- (а) **(2 балла)** Получите выражение для скорости ветра u_Y вблизи точек Y в направлении восток-запад, полагая что вблизи точки X в направлении восток-запад ветер отсутствует. В данной задаче приняты обозначения положительного знака для скорости точки движущейся в направлении от запада к востоку.
(Угловая скорость вращения Земли вокруг ее оси равна Ω , радиус Земли равен a , в то время как толщина атмосферы много меньше чем a .)

(b) (1 балл) Объясните почему в нижних частях циркуляции Хадли не соблюдается закон сохранения момента импульса. Здесь могут быть несколько правильных вариантов. Укажите их все галочками на листе ответов.

- (I) Из-за трения с поверхностью Земли.
- (II) Из-за турбулентности в нижних частях атмосферы, где смешиваются различные слои воздуха.
- (III) Воздух в нижних частях атмосферы более плотный, так что благодаря инерции движение вокруг оси Земли замедляется.
- (IV) Воздух более влажен в нижних частях атмосферы, вызывая замедление скорости ветра.

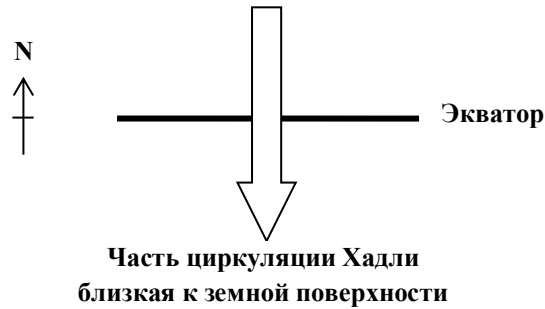
Во время зимнего (для северного полушария) солнцестояния, потоки воздуха циркуляции Хадли поднимаются на широте φ_r , а спускаются на широтах φ_n и φ_s для северного и южного полушарий соответственно, как показано на рисунке снизу. Обращайтесь к этому рисунку во время решения пунктов (c), (d), и (e).



(c) (2 балла) Найдите скорость ветра в направлении восток-запад u_P , u_Q и u_R в точках P, Q и R. Для этого можете предположить, что ветер в направлении восток-запад вблизи точки Z отсутствует, широты имеют следующие числовые значения $\varphi_r = -8^\circ$, $\varphi_n = 28^\circ$ и $\varphi_s = -20^\circ$, а радиус Земли $a = 6370$ км. Таким образом, в каком полушарии Земли наблюдается более сильные атмосферные потоки?

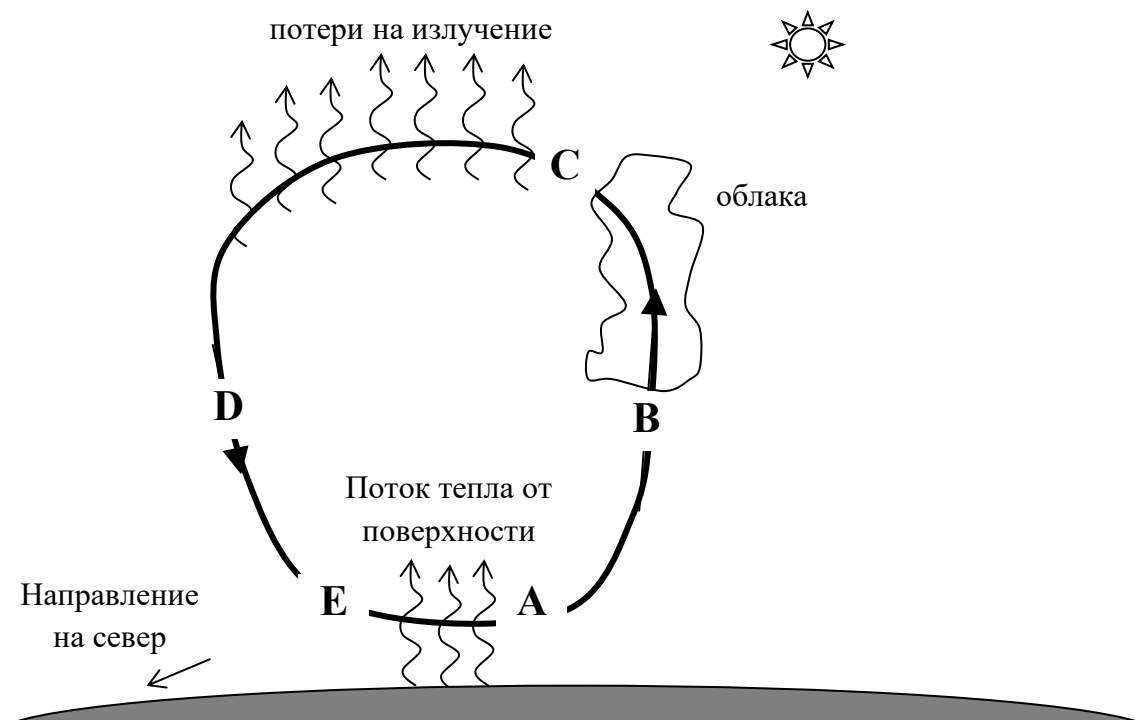
- (I) В северное полушарии.
- (II) В южном полушарии.
- (III) Потоки одинаковы по мощности в обоих полушариях.

- (d) (1 балл) Поток от части циркуляции Хадли близкой к земной поверхности движется в южном направлении, пересекая экватор. На приведенном снизу рисунке укажите стрелочками направления сил Кориоллиса действующих на поток тропического воздуха в северной и южных частях экватора.



- (e) (1 балл) Учитывая ответ из части (d) и тот факт, что потери на трение вблизи поверхности практически компенсируются силой Кориоллиса в направлении восток-запад, нарисуйте схематически структуру ветра(линии потока) в тропиках во время зимнего (для северных регионов) солнцестояния.

Предположим, что циркуляция Хадли может быть смоделирована как тепловая машина показанная на рисунке снизу. Рассмотрим лишь циркуляцию Хадли на полушарии, где наблюдается зима. Для рисунка показанного снизу, воздушные массы перемещаются от точек А к В и от D к E подчиняюсь адиабатическому закону, в то время как перемещения от В к С, от С к D и от E к А изотермические. Воздух нагревается от контакта с земной поверхностью, а также во время конденсации воды в атмосфере, в то время как потери энергии воздушного потока происходят благодаря излучению в верхних частях.



- (f) **(2 балла)** Учитывая, что атмосферное давление по вертикали возникает из-за веса столба воздуха находящегося сверху, свяжите давления p_A, p_B, p_C, p_D, p_E , в точках А, В, С, D, Е системой неравенств.
- (g) **(2 балла)** Пусть T_H и T_C - температуры воздуха вблизи поверхности и на верху атмосферы соответственно. Учитывая, что разница давлений между точками А и Е равна 20 гкПа, вычислите температуру T_C , если $T_H = 300$ К. Используйте факт, что κ - отношение молярной газовой постоянной (R) к молярной удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении (c_p), равно $2/7$. ($p_A = 1000$ hPa, $p_D = 225$ hPa. Напоминание: 1hPa (гектапаскаль) = 100Pa)
- (h) **(2 балла)** Вычислите давление p_B .
- (i) Продолжая рассматривать циркуляцию Хадли для воздуха в полусфере с зимним временем года, и используя молярную газовую постоянную R , а также выражения полученные ранее, запишите выражения для:
- (А) **(2 балла)** суммарной работы совершенной одним молем воздуха W_{net} , пренебрегая потери на трения о земную поверхность
- (В) **(1 балл)** потерь в верхних частях атмосферы Q_{loss} в пересчете на один моль воздуха.
- (j) **(1 балл)** Каково значение идеального КПД цикла ε_i для рассматриваемого случая циркуляции Хадли (зимнее полушарие)?
- (k) **(2 балла)** Используя математические выкладки, покажите что в реальности КПД для рассматриваемой модели циркуляции Хадли ε всегда меньше чем идеальный случай ε_i .
- (l) **(1 балл)** Какое из утверждений, приведенных ниже объясняет почему ε меньше идеального значения? Укажите галочками правильные ответы. Учтите что правильных ответов может быть несколько.
- (I) Потому что работа совершенная против трения у поверхности не была учтена.
- (II) Потому что конденсация происходит при температуре, которая ниже чем температура источника тепла.
- (III) Из-за необратимого испарения воды вблизи поверхности.
- (IV) Формула для идеального КПД применима только в случае, когда нет смены фаз состояния воды.