

А все-таки она вертится!

Условие



Задание 11-2. «А все-таки она вертится!»

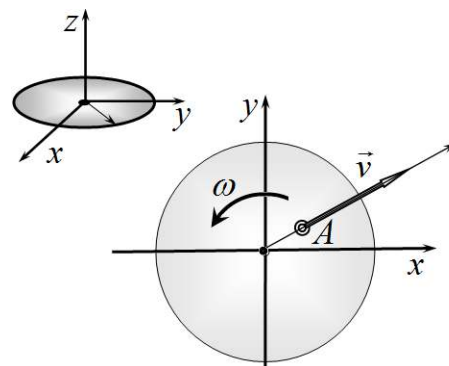
Доказать наличие вращения Земли вокруг своей оси можно, не сходя с ее поверхности. Существует целый ряд природных эффектов, которые наглядно подтверждают то, что Земля вращается. В данном задании рассматриваются два таких природных явления: преимущественное подмывание одного из берегов реки и западный перенос ветров в белорусских широтах. Эрудированные, но не очень понимающие физики «спецы» для объяснения этих эффектов ссылаются на таинственную силу Кориолиса, но естественно, не могут объяснить, что это такое.

На самом деле все гораздо проще: достаточно перейти из неинерциальной вращающейся системы отсчета в привычную неподвижную (следовательно, инерциальную) систему отсчета и все становится почти очевидным. Учитывать движение Земли вокруг Солнца не следует.

Часть 1. Введение в понимание.

Рассмотрим диск, который вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью ω . По поверхности диска движется материальная точка A (например, жук). Будем описывать движение этого жука в инерциальной (неподвижной) системе отсчета XYZ , ось z которой совпадает с осью диска, а оси x и y лежат в плоскости диска.

Пусть жук движется относительно диска строго радиально (на диске нарисован радиус, и жук с него не сходит). Скорость жука относительно диска постоянна и равна $\vec{v}$.



1.1 В некоторый момент времени t жук находится на расстоянии r от центра диска. Нарисуйте вектор полной скорости жука в неподвижной системе отсчета (в плоскости XY), разложите его на компоненты направленную вдоль радиуса и перпендикулярную ему. Укажите, чему равны модули этих компонент? 1.2 Нарисуйте вектор полной скорости жука скорости через малый промежуток времени Δt . 1.3 Найдите ускорение жука в неподвижной системе отсчета. Укажите направление вектора ускорения в момент времени t . 1.4 Какая сила может сообщить это ускорение жуку?

В дальнейших расчетах считайте Землю шаром радиуса

$R = 6400$ км, вращающимся вокруг собственной оси. Надеемся, что период вращения Земли вам известен. Действие происходит на территории Беларуси, поэтому считайте, что географическая широта местности $\varphi = 50^\circ$. Напоминаем, географическая широта экватора равна нулю, а Солнце восходит на востоке.

Часть 2. Какой берег реки круче?

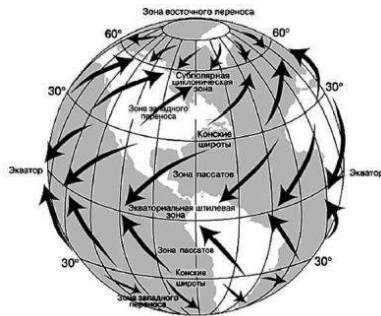


Будем считать, что река Днепр в Беларуси в Беларуси течет строго на юг, а река Неман строго на север. Русло каждой реки упрощенно будем считать прямоугольным желобом глубиной $h = 5,0$ м и шириной $l = 50$ м, скорость течения воды относительно поверхности Земли примем $v = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Плотность воды $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

2.1 Нарисуйте в проекции на плоскость экватора (вид со стороны Северного полюса) вектор полной скорости некоторой порции воды в неподвижной системе отсчета (оси которой лежат в плоскости экватора). Проведите разложение этого вектора на составляющие: вдоль проекции меридиана и вдоль параллели. 2.2 Проведите аналогичное построение вектора скорости через малый промежуток времени Δt . 2.3 Укажите, на какой берег (восточный, или западный; правый, или левый) вода действует с большей силой. 2.4 Рассчитайте разность давлений воды, действующих на разные берега реки.

Решение данной части задачи проведите отдельно для Днепра и для Немана. Обязательно укажите на рисунке восток и запад, и направление вращения Земли.

Часть 3. Почему в Беларуси преобладает западный перенос воздушных масс



Известный факт: в Беларуси преобладает западный перенос воздушных масс. На вопрос: «В чем причина этого явления?» чаще всего можно получить ответ: «Причина — вращение Земли!» В целом ответ, конечно, верный, но последующие вопросы ставят испытуемого в тупик. «Как Вы себе это представляете? Воздух остается на месте, а поверхность Земли вращается?» Если на этот вопрос Вы отвечаете: «Да, примерно так», то ответьте на следующие вопросы этого задания. Итак, принимаем гипотезу:

поверхность Земли воздух не увлекает: воздух остается на месте (относительно инерциальной неподвижной системы отсчета), а поверхность Земли вращается.

3.1 Оцените скорость ветра в Беларуси при справедливости высказанной гипотезы. 3.2 Укажите в каком направлении будет дуть этот ветер?

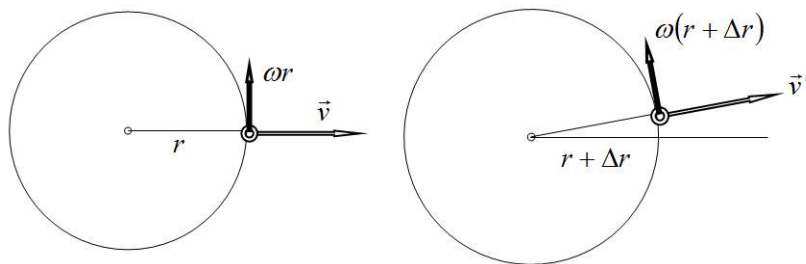
А теперь правильное объяснение. У поверхности Земли воздух разогревается сильнее всего вблизи экватора. Этот нагретый и влажный воздух поднимается в верхние слои атмосферы и растекается к полюсам. Достигнув наших средних широт, он, охладившись, начинает опускаться к поверхности Земли.

3.3 Укажите в каком направлении будет дуть этот ветер? 3.4 Какова была скорость ветра, если бы вязкость ветра отсутствовала?

Решение

Задание 11-2. «А все-таки она вертится!»

Часть 1. Введение в понимание.



На рисунке показаны необходимые построения векторов скорости жука и их разложения на составляющие. Из рисунка следует, что возросла компонента скорости, перпендикулярная радиальному направлению. Причем это возрастание обусловлено двум причинами:

Первое: увеличилось расстояния от оси вращения диска, поэтому скорость возросла на величину

$$\Delta v = \omega \Delta r \quad (1)$$

Второе: повернулся вектор относительной скорости, поэтому изменение скорости равно:

$$\Delta v = v \Delta \varphi \quad (2)$$

Следовательно, ускорение жука направлено перпендикулярно радиусу, а его модуль равен

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \omega \frac{\Delta r}{\Delta t} + v \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = 2\omega v \quad (3)$$

Такое ускорение жуку может сообщить, например, сила трения.

Часть 2. Какой берег реки круче?

Днепр течет на юг, поэтому днепровская вода удаляется от оси вращения. Следовательно, вода получает ускорение, направленное по вращению Земли, то есть на восток. Это ускорение может сообщить только сила, действующая со стороны правого (или западного берега).

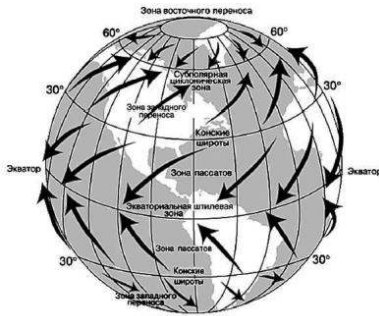
Величина ускорения определяется формулой (3), в которой в качестве скорости следует взять проекцию скорости течения на плоскость экватора, так именно эта компонента определяет изменение расстояния до оси вращения. Поэтому модуль ускорения равен

$$a = 2\omega v \sin \varphi \quad (4)$$

Это ускорение сообщает сила, действующая на воду со стороны правого берега. Тогда разность давлений со стороны берегов реки оказывается равной:

$$\Delta P = 2\rho h\omega v \sin \varphi \approx 11 \text{Па} \quad (5)$$

Аналогичный результат получается и для Немана, только эта сила направлена на запад, поэтому более крутой берег у Немана тоже правый.



Часть 3. Почему в Беларуси преобладает западный перенос воздушных масс

Скорость ветра в рамках сформулированной гипотезы равна скорости движения поверхности Земли, которая в белорусских широтах равна

$$v = \omega R \cos \varphi \approx 300 \frac{M}{c} \quad (6)$$

Что соответствует урагану неслыханной силы. И самое важное...

этот ветер должен дуть на запад! Таким образом, высказанная банальная гипотеза полностью отвергается. Правильное объяснение, связанное с глобальной циркуляцией атмосферы указывает правильное направление ветра с запада на восток, но величина скорости этого ветра также дает явно завышенное значение

$$v = \omega R(1 - \cos \varphi) \approx 160 \frac{M}{c}. \quad (7)$$