

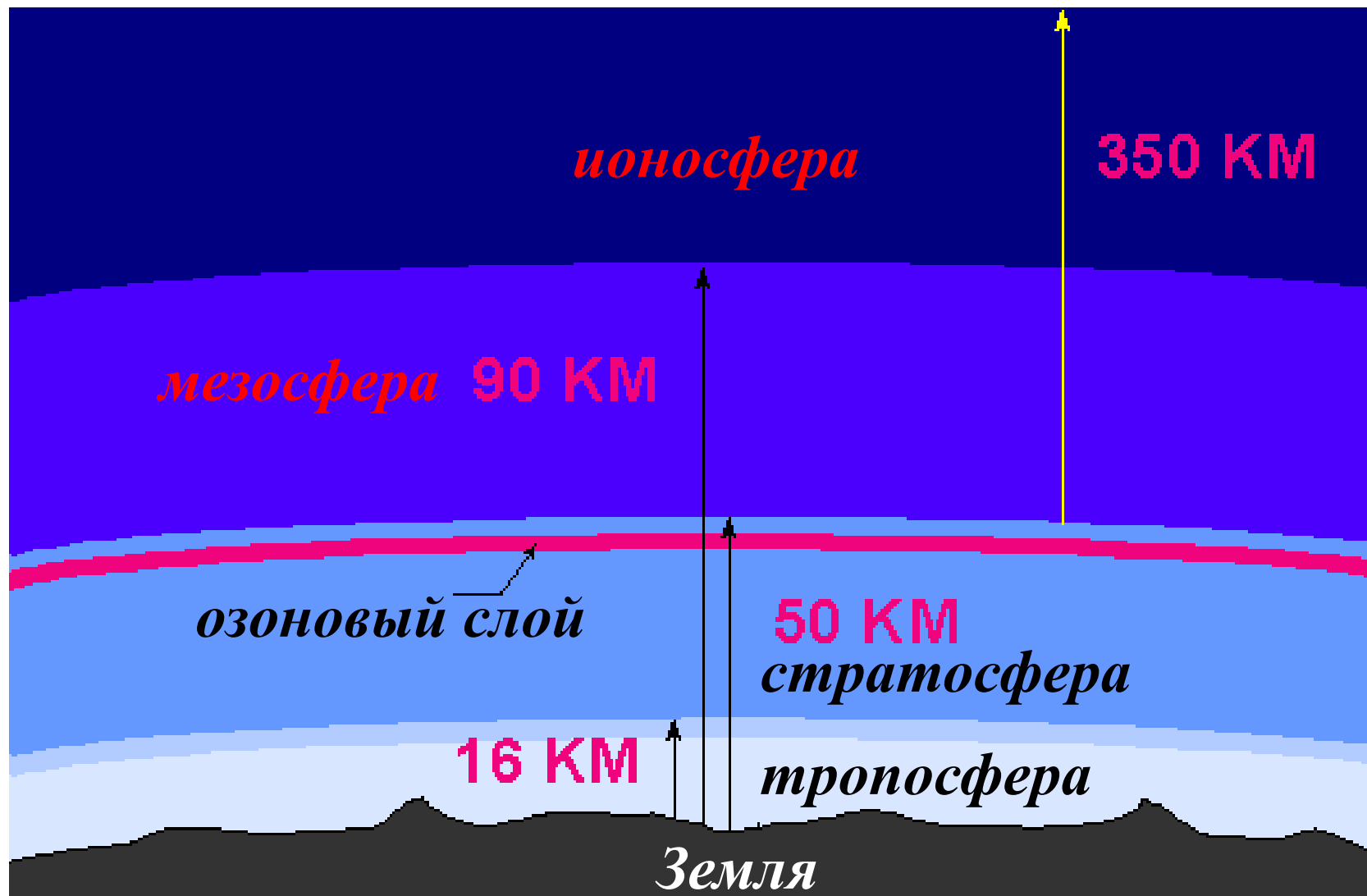
«Введение в физику атмосферы»:

- как устроена атмосфера,**
- как меняются её характеристики с высотой**
- как атмосфера стала такой, как она есть**
- почему дуют ветры и**
- как вращение Земли влияет на их направление**
- откуда ураганы берут свою энергию**

Атмосфера - воздушное одеало Земли



Слои атмосферы



Слои атмосферы

тропосфера

Тропосфера - (от греческого *τροπος* - поворот, движение) - слой атмосферы, где

- находится больше 90 % всех газов атмосферы, необходимых для жизни и почти отсутствует ионизирующее излучение,
- происходят все явления, определяющие погоду,
- температура падает на 6,5 градусов с подъёмом на каждый км (с +17 до -52°C), а давление до 1/10 от давления на уровне моря,
- воздушные массы могут двигаться вверх и вниз; в более высоких слоях слои атмосферы двигаются только горизонтально,
- сверху тропосферы находится тонкий (1-2 км) слой, где всегда дуют ветры на восток

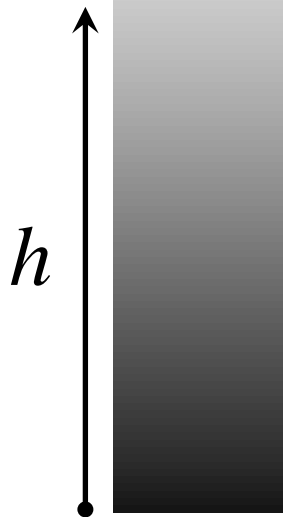
Почему тропосфера кончается на высоте 15 км?

Как изменяется давление воздуха с высотой ?

Ответ: уменьшается. А почему?

Ответ: газ притягивается к Земле.

По какому закону уменьшается давление с высотой?



$$p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\mu g}{RT} h},$$

где $p(h)$ – давление на высоте h ,

$p(0)$ – давление на уровне моря,

g – ускорение свободного падения,

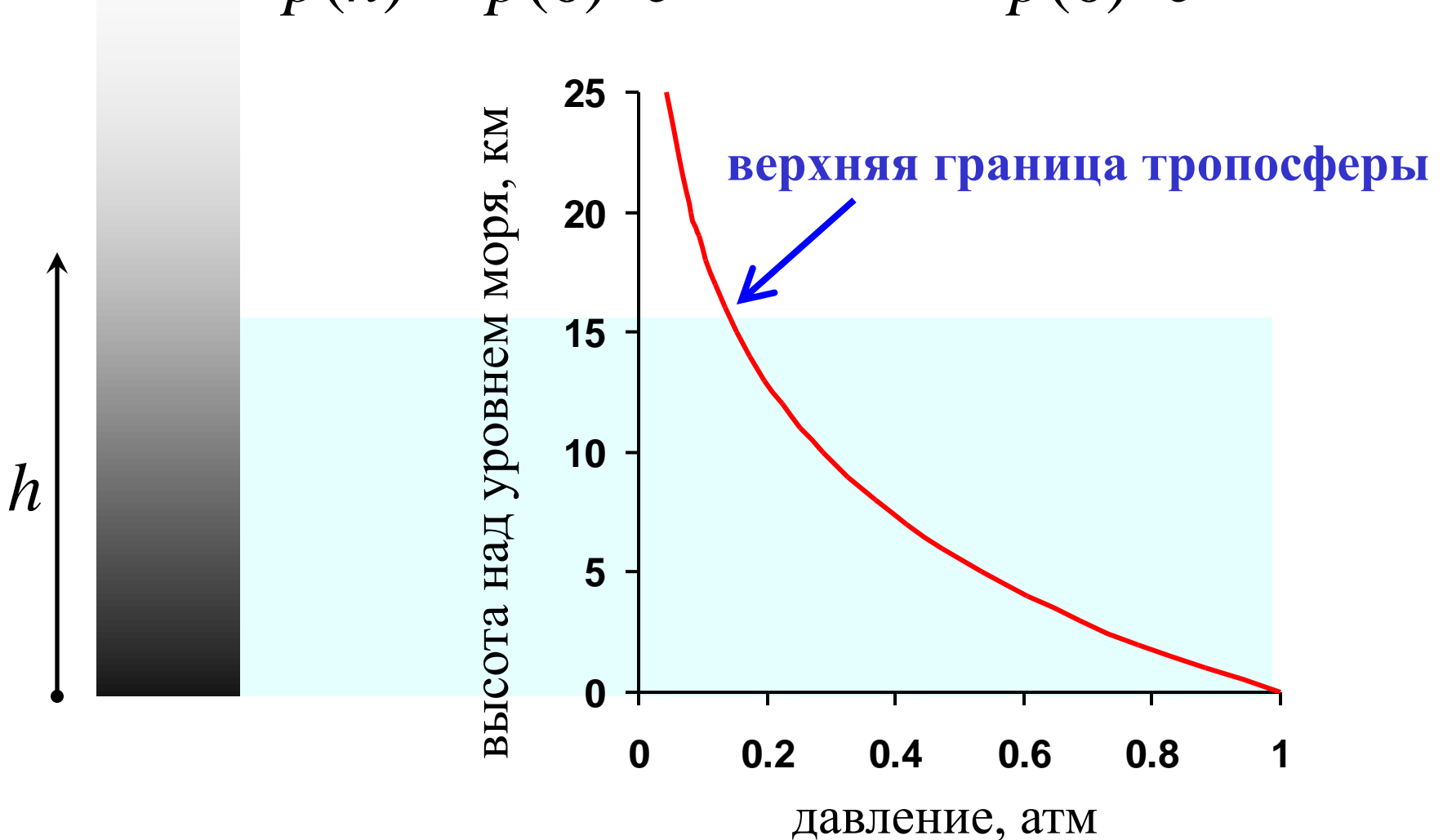
μ – молярная масса,

R – газовая постоянная,

T – абсолютная температура

Как уменьшается давление воздуха с высотой ?

$$p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\mu g}{RT} h} = p(0) \cdot e^{-\frac{h}{8 \text{ км}}}$$



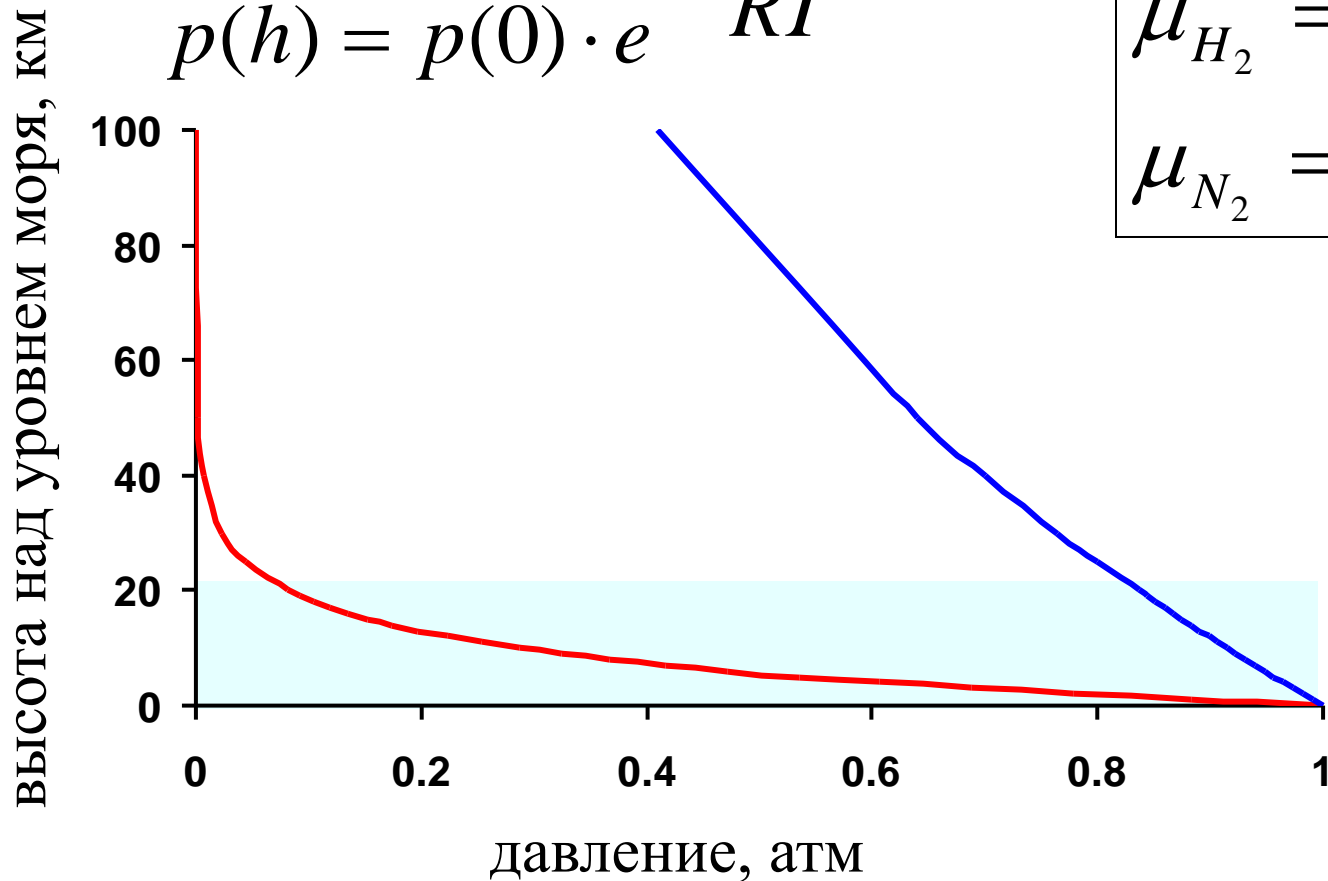
Как распределены в атмосфере лёгкие и тяжёлые газы

Сравним **водород** и **азот**

$$p(h) = p(0) \cdot e^{-\frac{\mu g}{RT} h}$$

$$\mu_{H_2} = 0,002 \text{ кг}$$

$$\mu_{N_2} = 0,028 \text{ кг}$$



Лёгкие газы со временем покидают тропосферу

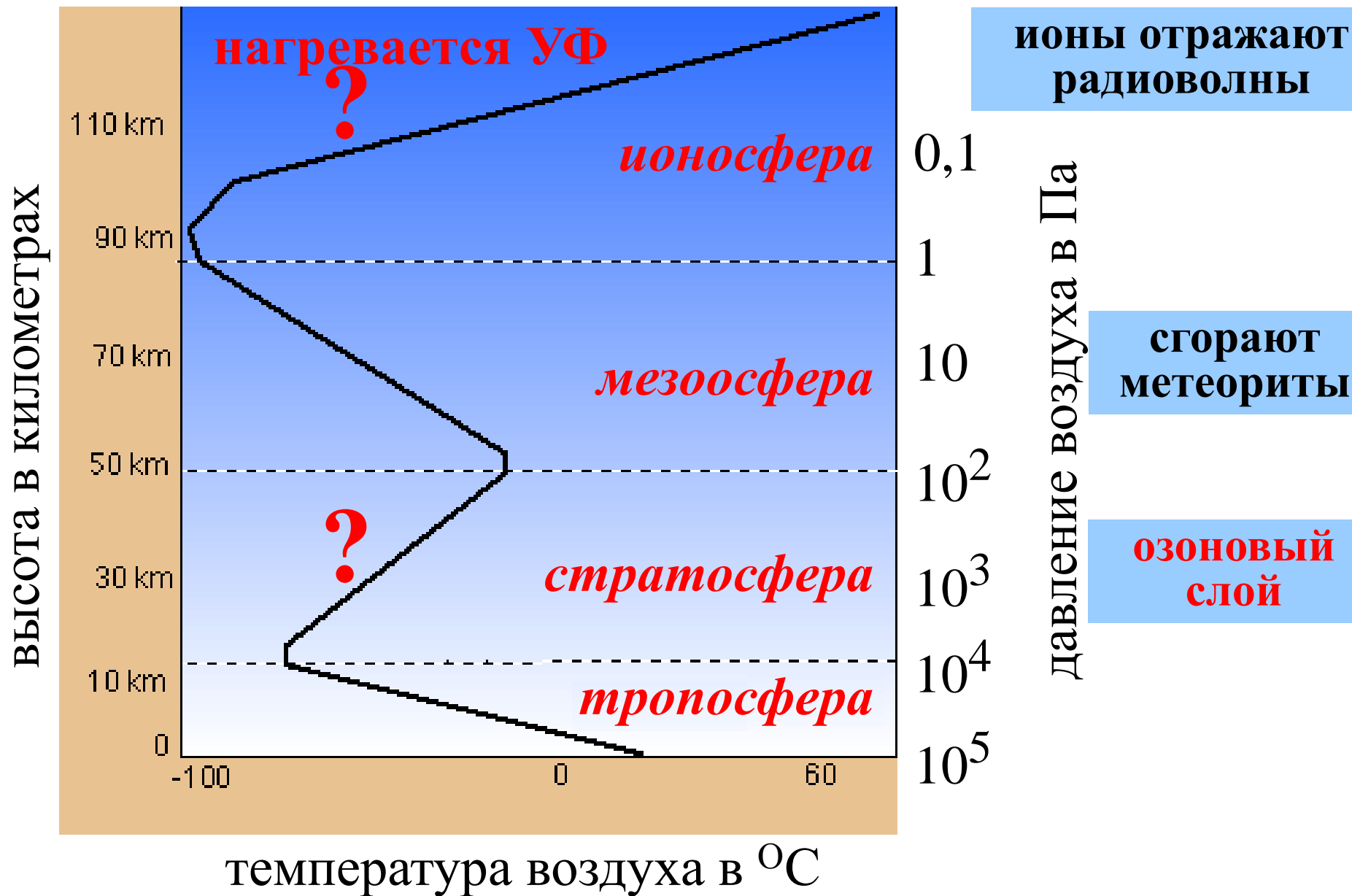
Как изменяется температура воздуха с высотой ?

Ответ: понижается до -52°C при подъёме на высоту 15 км.

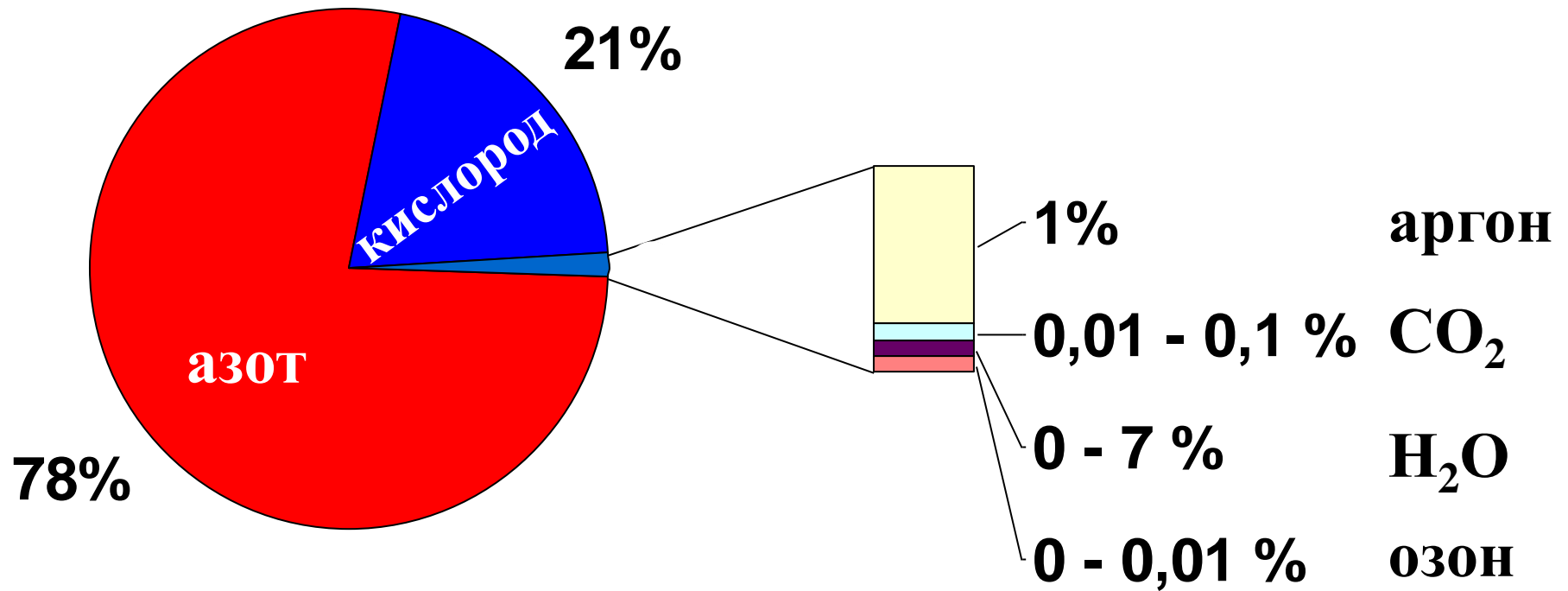
А почему? Ведь к Солнцу-то ближе!

Ответ: мы находимся под влиянием двух источников теплоты - Солнца и Земли. Приближение к Солнцу на 10 км не увеличивает падающего на нас потока тепла, так как расстояние до него очень велико, а такое же удаление от Земли - значительно уменьшает поток тепла от Земли.

Как изменяется температура воздуха с высотой ?



Газовый состав атмосферы Земли



Всегда ли состав атмосферы был таким?

Как атмосфера стала такой, какой она есть?



- Земля образовалась 5 миллиардов лет тому назад
- в течение первых 500 миллионов лет из глубин остывающей Земли извергались газы:

H_2 , N_2 , NH_3 , CH_4 , CO_2 и пары воды.

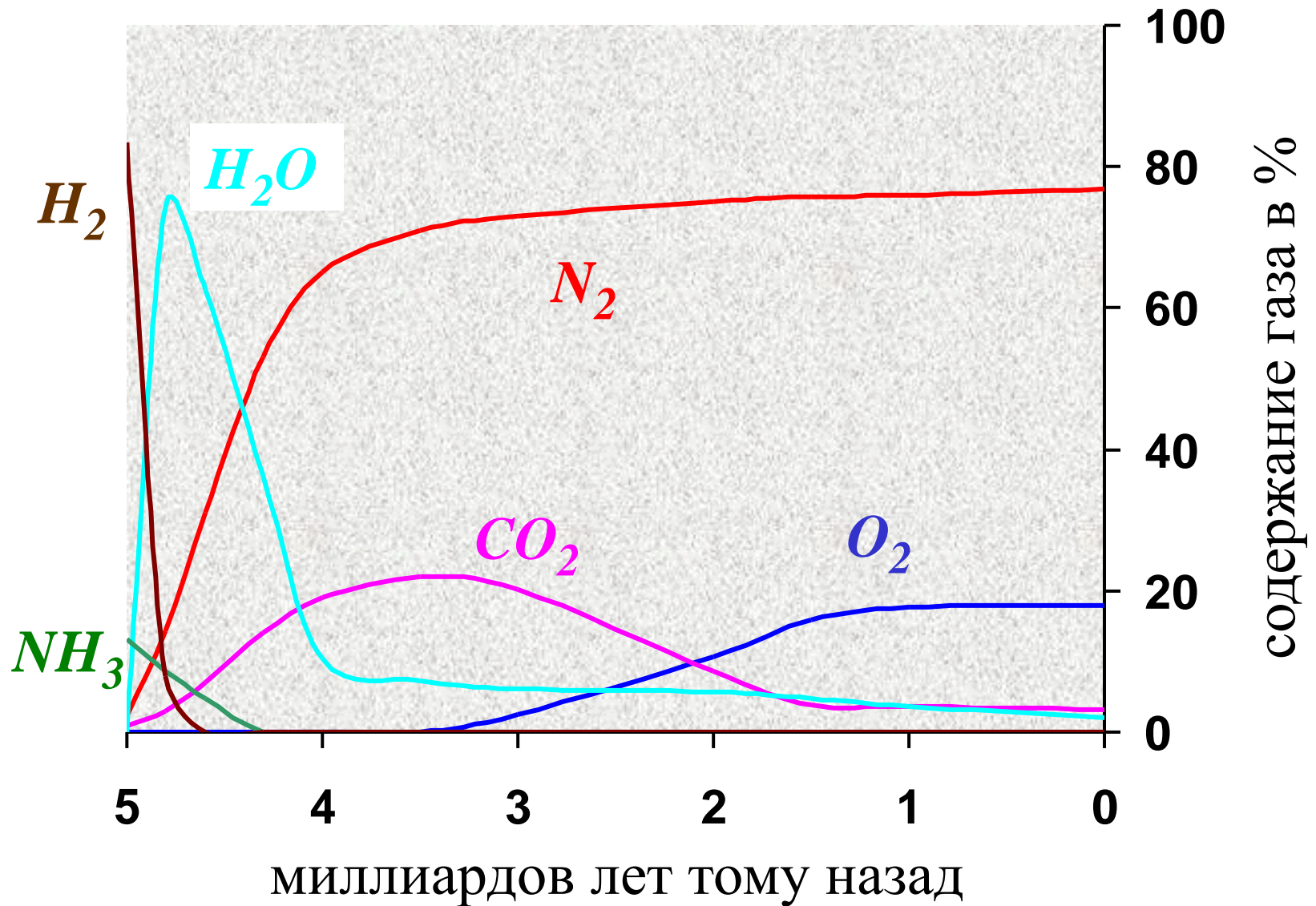
- **кислорода** в первоначальной атмосфере Земли
не было

Как атмосфера стала такой, какой она есть?

- 4 миллиарда лет тому назад Земля стала остывать, а пары воды - конденсироваться в водоёмы
- 3,5 миллиарда лет тому назад первые фотосинтезирующие (сине-зелёные) водоросли стали производить *кислород* из воды и CO_2
- под действием излучения Солнца из кислорода образовывался озон O_3 , который стал УФ-щитом Земли
- концентрация кислорода в атмосфере стала расти, а CO_2 и водяных паров - падать
- легкие газы (H_2 , CH_4 и NH_3) улетучились в космос

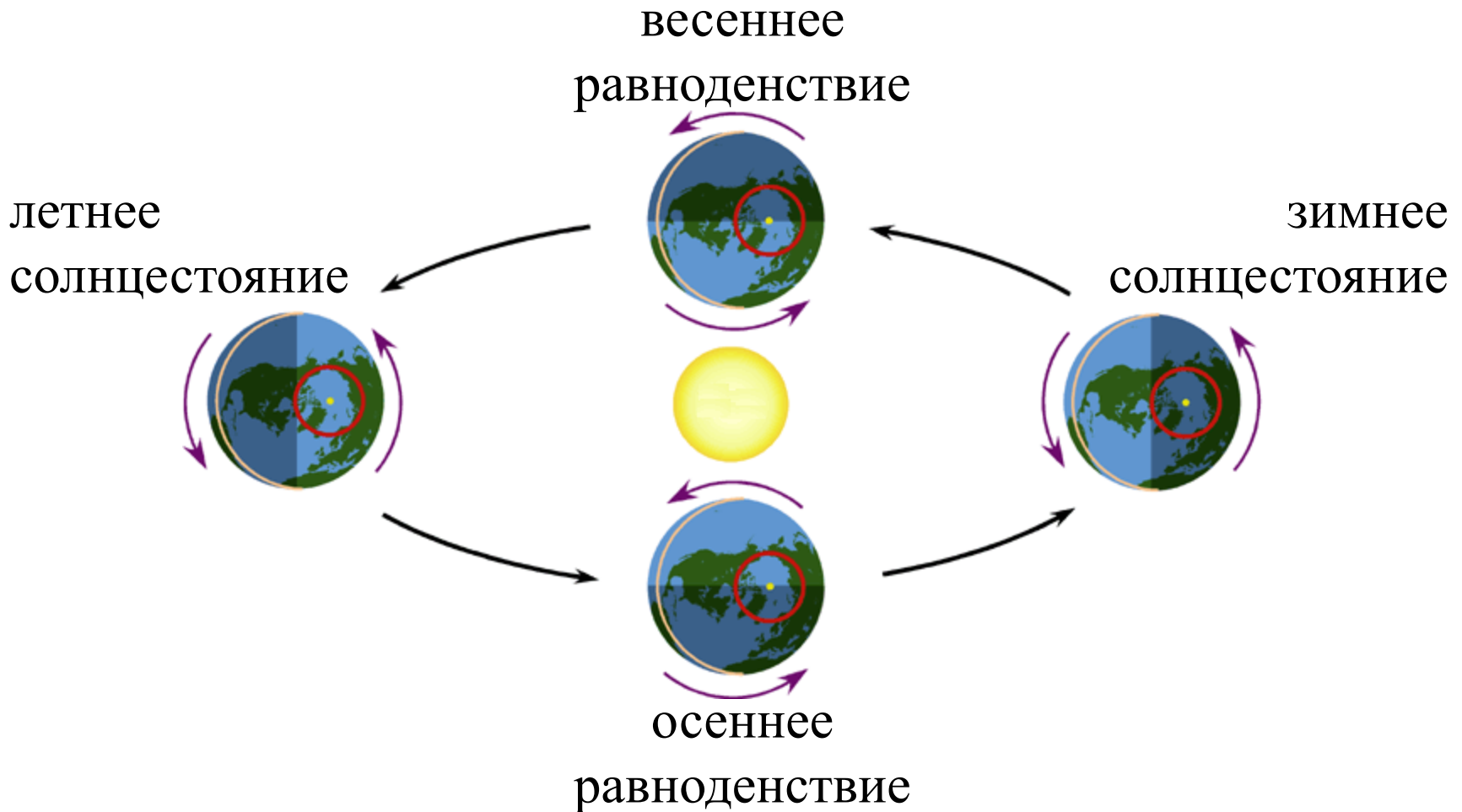


Как атмосфера стала такой, какой она есть?



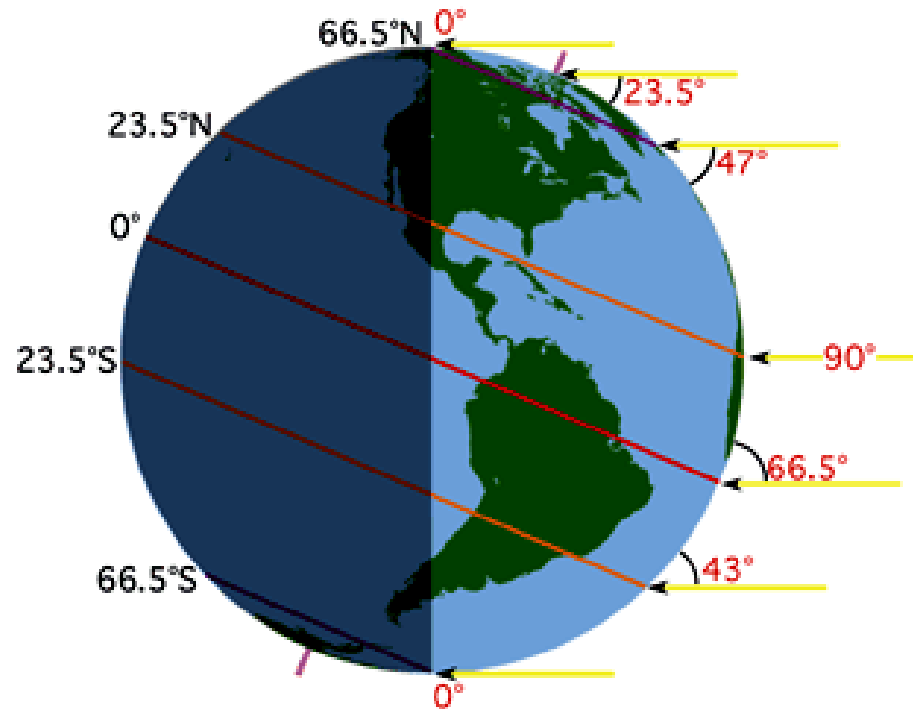
Почему дуют ветры?

Как Земля движется вокруг Солнца



Как называются положения Земли на орбите, показанные на рисунке (начиная с крайне правого)?

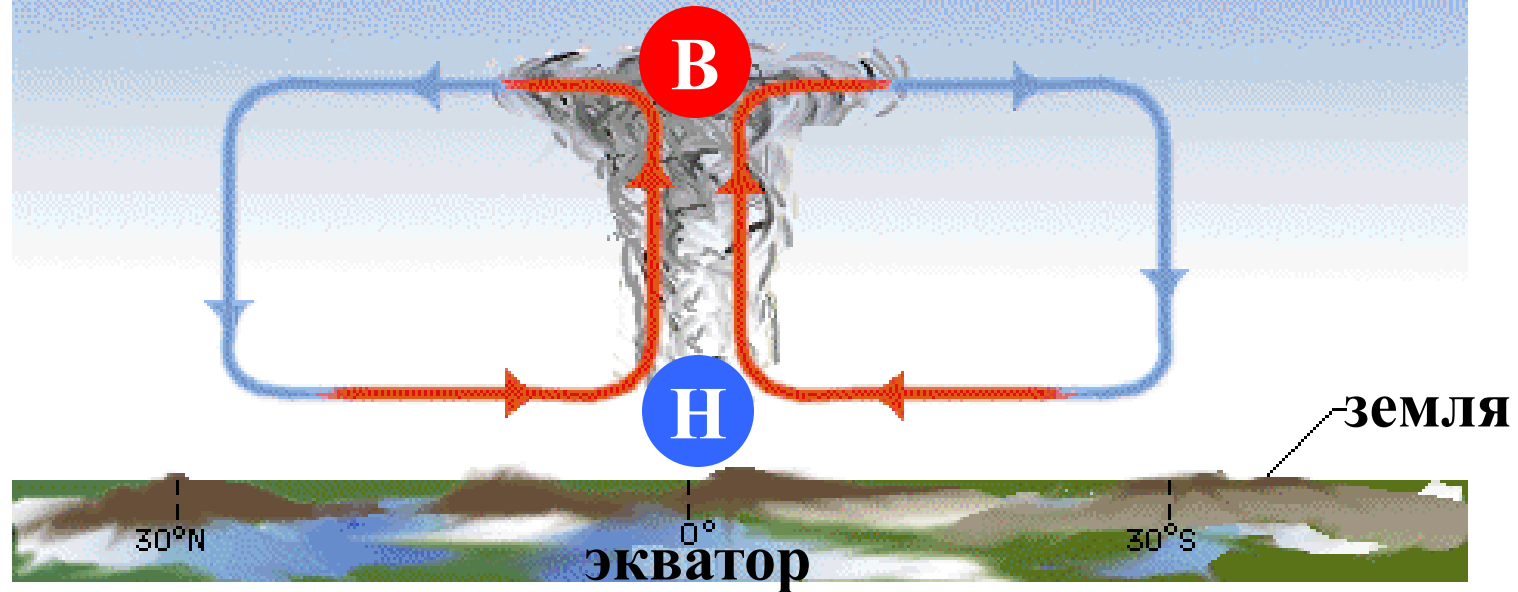
Почему дуют ветры?



Ответ: потому что поверхность Земли *неодинаково* нагревается Солнцем.

- приполярные области излучают тепла в космос больше, чем получают от Солнца, а
- экваториальные излучают меньше, чем получают, становясь источниками энергии ветров, дующих от экватора к полюсу.

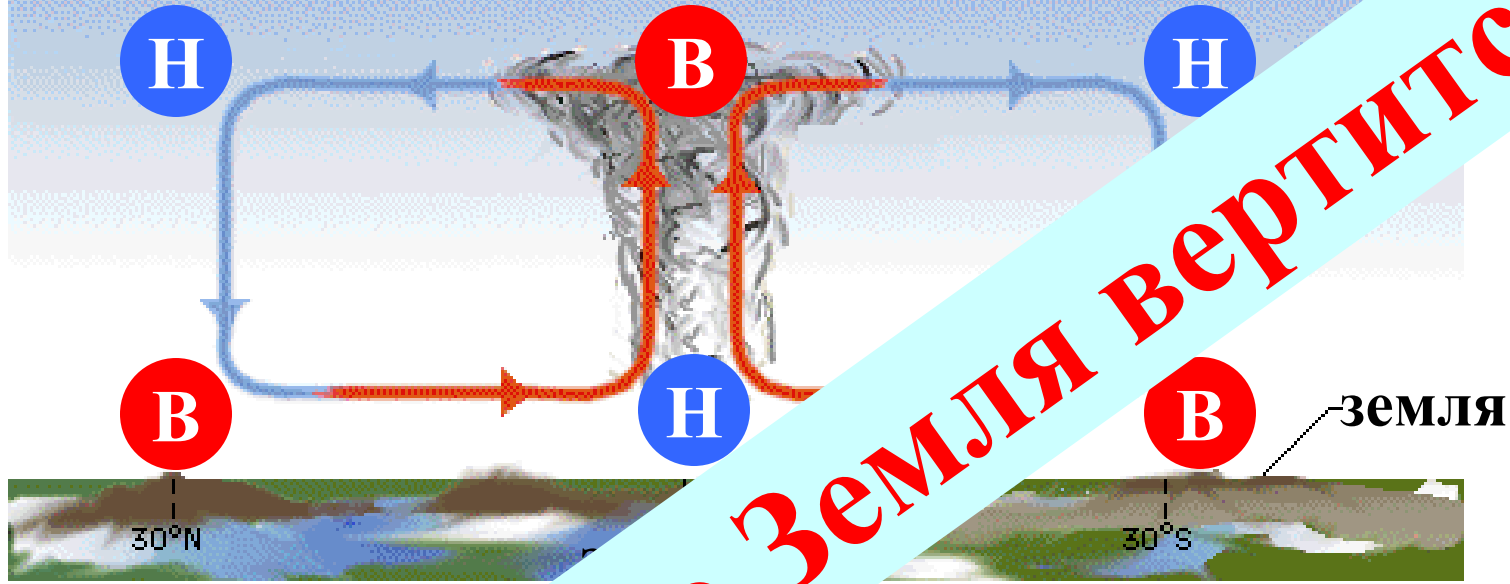
Почему дуют ветры?



- ТЁПЛЫЙ ВОЗДУХ над экватором поднимается вверх,
- ПОДНИМАЯСЬ, ВОЗДУХ охлаждается,
- начинается КОНДЕНСАЦИЯ водяных паров,
- ВОЗДУХ опять начинает нагреваться и подниматься,
- **НАВЕРХУ** образуется область **ВЫСОКОГО** давления

ячейка Хэдли (1735)

Почему дуют ветры (продолжение)?



- **НАВЕРХУ** образуются области **ВЫСОКОГО** давления,
- **ПОДНЯВШИЙСЯ** воздух движется к **ХОЛОДНЫМ** полюсам,
- **ОХЛАЖДАВШИЙСЯ** воздух становится тяжелее и опускается,
- **ОПУСКАВШИЙСЯ** воздух движется вдоль земли к экватору.

МЫ ЗАБЫЛИ, ЧТО ЗЕМЛЯ ВЕРТИТСЯ!
Если, ветры могут дуть только вдоль меридиан?

Как дуют ветры на **вращающейся** Земле



Закон сохранения момента импульса

Что произойдёт, если вращающийся на диске опустит руки?

Ответ: станет вращаться быстрее

Куда “потянет” человека, стоящего в центре **большого** вращающегося диска, если он направится к его краю?

Ответ: сила инерции станет его толкать в сторону, противоположную вращению диска и

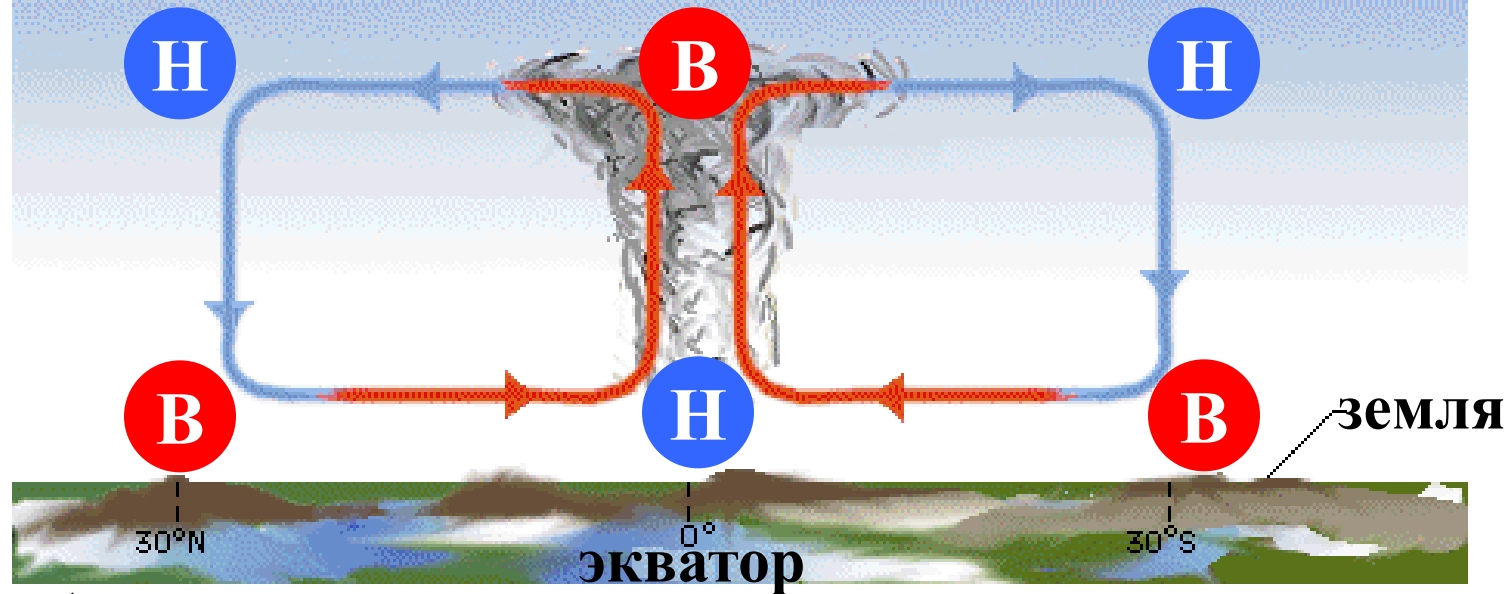
называется эта сила -

силой *Кориолиса*

**самобразование: закон сохранения момента импульса
(параграф 7.6-7.9 “Механика”, Мякишев)**

Как дуют ветры на **вращающейся** Земле

ячейка Хэдли



Куда будут толкать силы инерции вращающейся Земли воздушные массы,двигающиеся от **северного** тропика к экватору в нижних слоях атмосферы?

Ответ: на запад, и мы называем эти ветры северо-восточными пассатами (от нем. *Passat* - ветер)

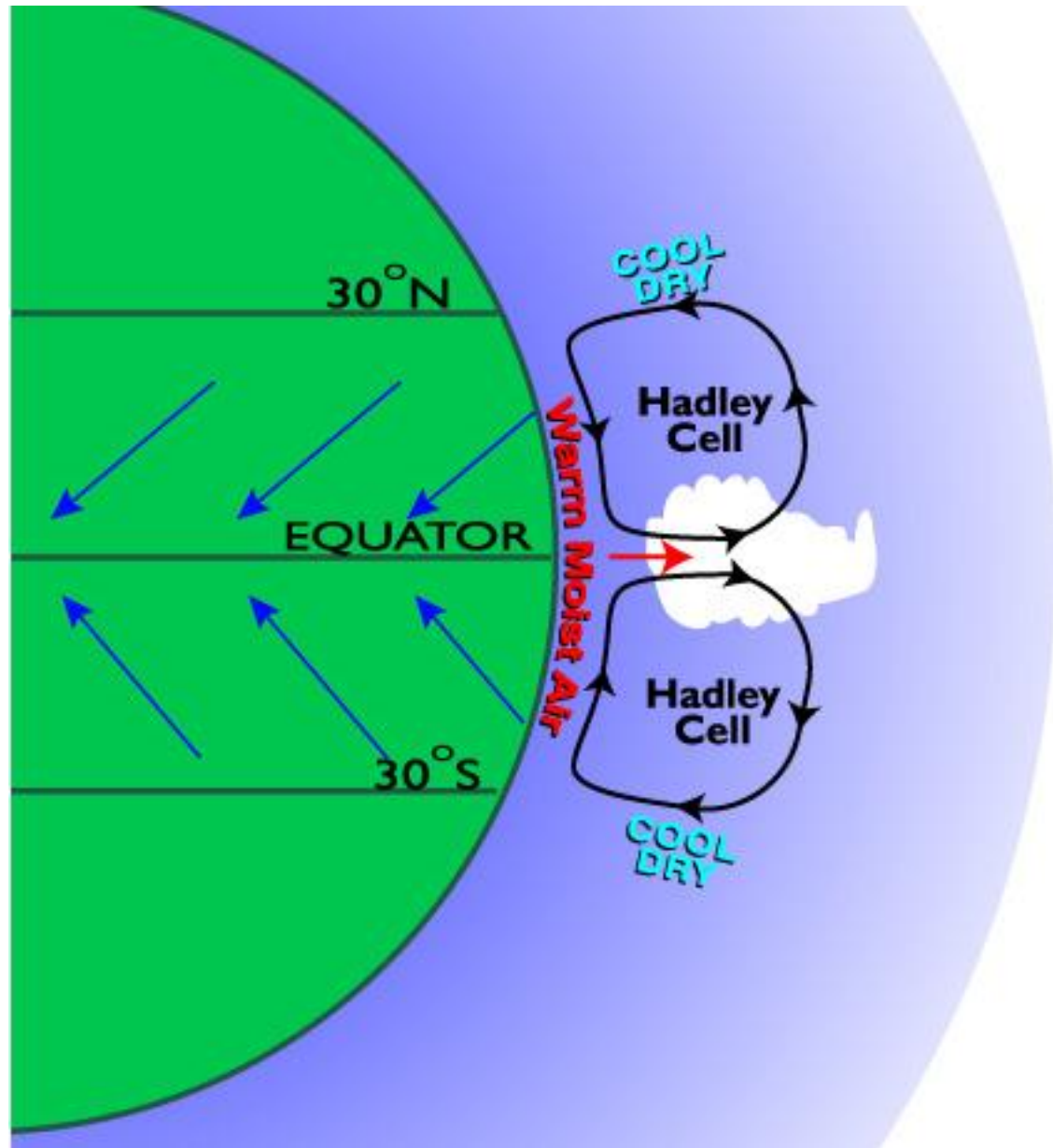
Воздушные массы,двигающиеся от **южного** тропика к экватору будут отклоняться...

Ответ: тоже на запад, и называются юго-восточными пассатами

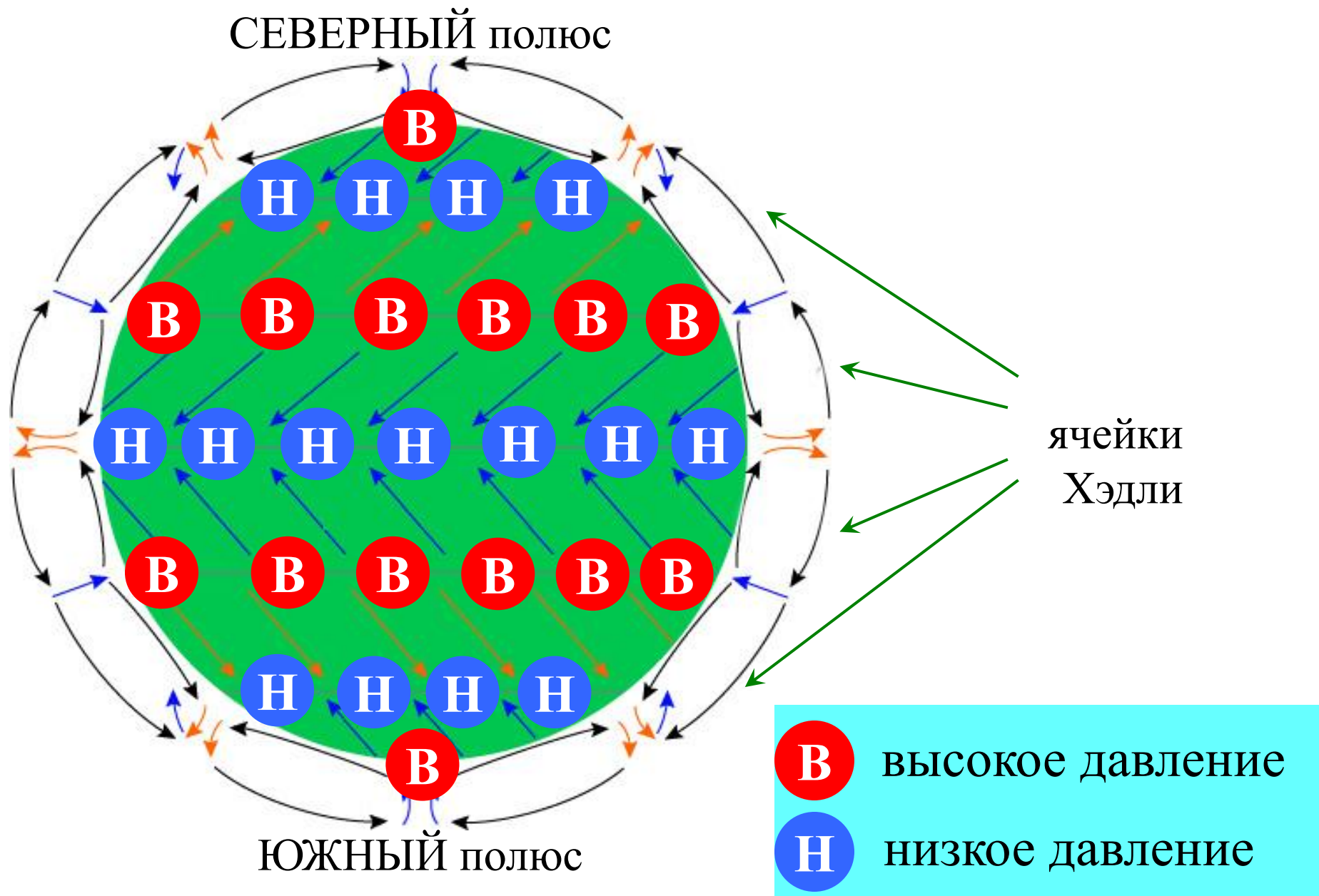
Как дуют ветры на **вращающейся** Земле, вблизи экватора


направление пассатов

Англичане называют
эти ветры “trade winds”
- торговыми ветрами

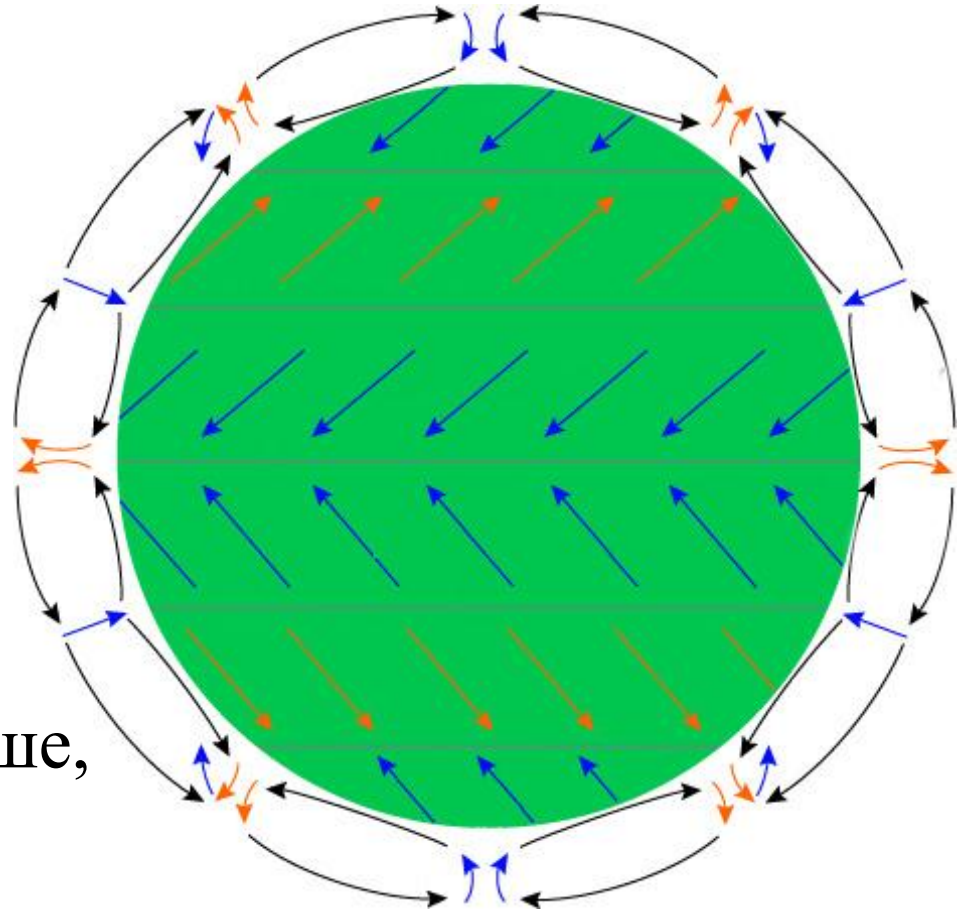


Как дуют ветры на **вращающейся** Земле

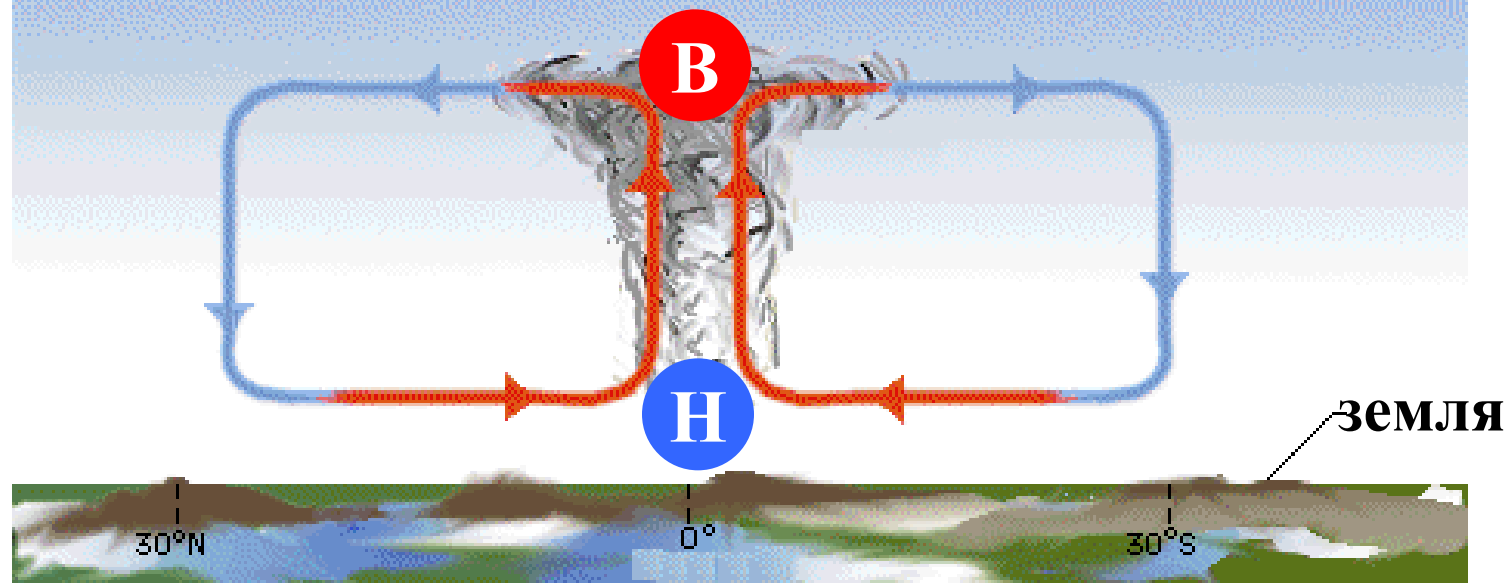


В *верхних* слоях тропосферы (10 км) ветры дуют:

- на восток в Северном полушарии и
- в Южном,
- поэтому из Москвы в Новосибирск лететь на час меньше, чем обратно



Откуда берётся энергия дующих ветров?



Ответ: из тепла, которое выделяется при конденсации пара, поднимающегося на высоту.

Откуда берётся пар в воздухе?

Ответ: Солнце превращает часть воды на Земле в пар.

Вывод: пар служит громадным запасником энергии на Земле, конденсация которого определяет погоду на ней.

Сколько энергии появляется при конденсации водяного пара?

Ответ: 2,26 МДж/кг (удельная теплота парообразования)

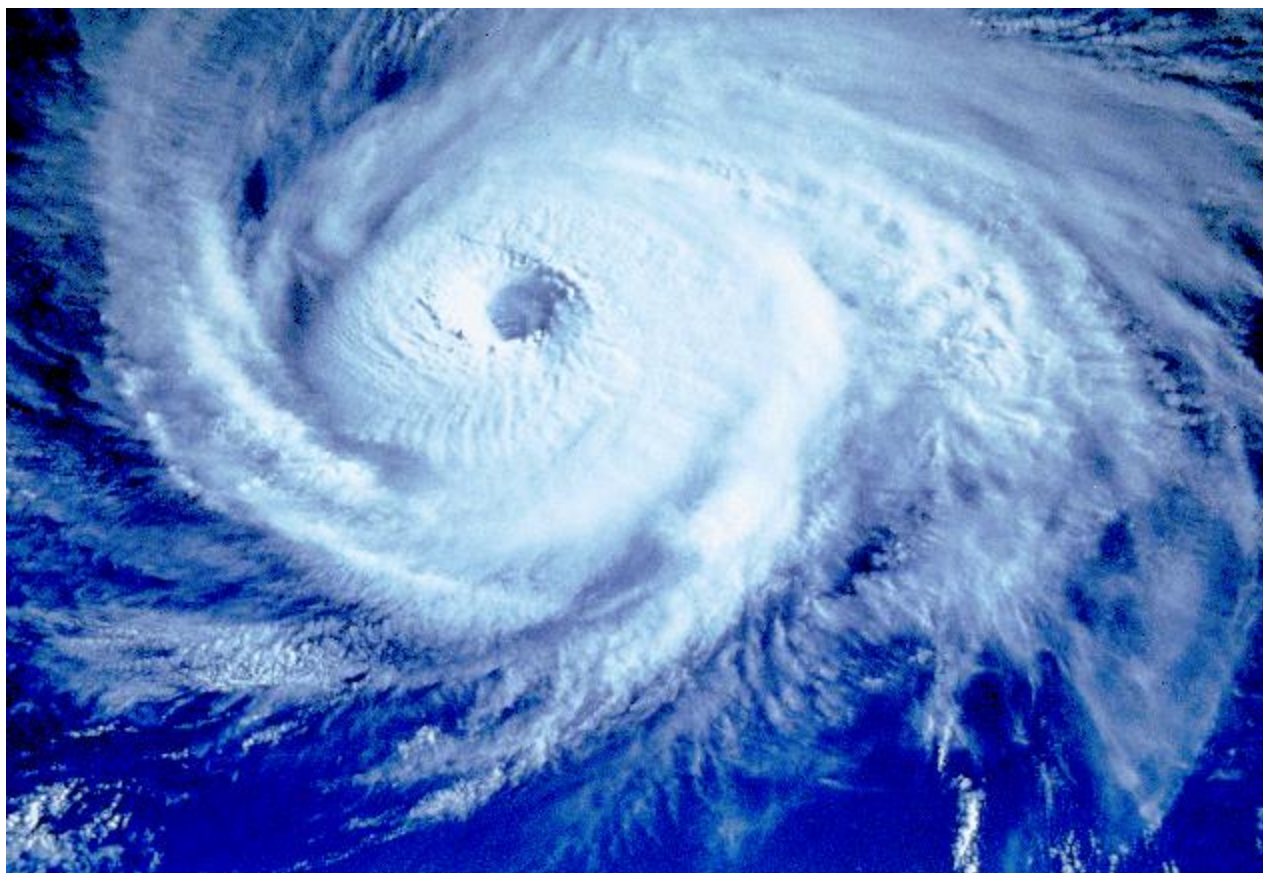
Много это или мало?

Посчитайте, сколько выделится тепла при конденсации пара, содержащегося в 1 кубическом километре воздуха, если его парциальное давление составляет 5 % ($R=8,3$ Дж/моль/°К; $T=300$ °К, $P=100000$ Па).

Ответ: $0,8 \cdot 10^{14}$ Дж -

половина энергии **АТОМНОЙ БОМБЫ**, сброшенной на Хиросиму!!!

Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



Закручены против часовой стрелки в Северном
полушарии и по часовой - в Южном

Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



ураган Эндрю 23-25 августа 1992 года



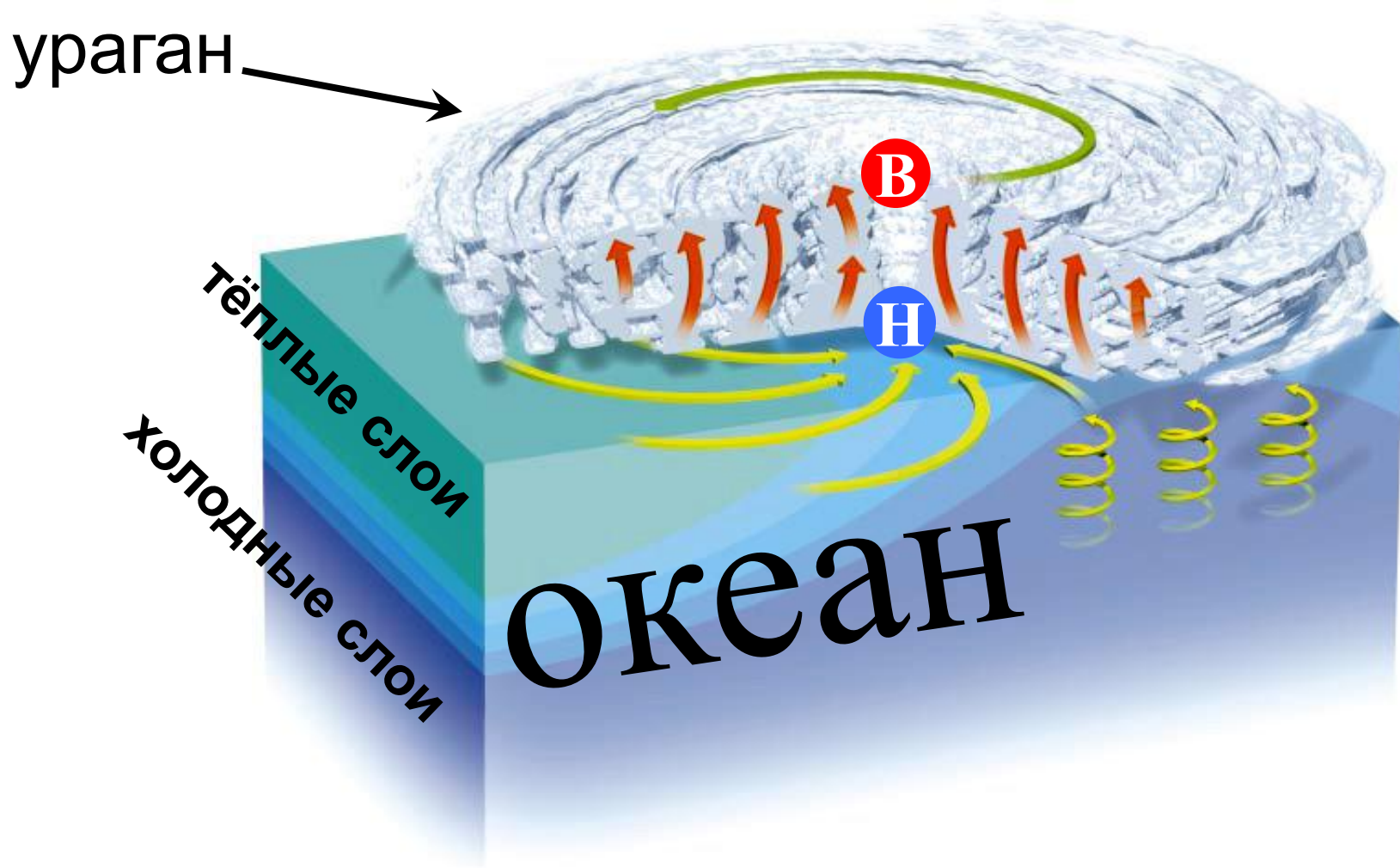
вблизи
“глаза”

Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



Размеры ураганов могут достигать тысяч километров, а скорость воздуха в них - 300 км/час

Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



Ураганы, циклоны и тайфуны - атмосферные бомбы, определяющие погоду на Земле



последствия ураганов

Как бороться с засухой?



Как бороться с засухой?

Чтобы вызвать дождь из проплывающих мимо облаков:

- **надо в облаках, насыщенных парами воды, создавать “ядра” конденсации**
- **ядра конденсации - это микрочастицы, к которым “прилипают” находящиеся рядом молекулы воды**
- **когда размеры капель увеличиваются до 1 мм, они выпадают на землю в виде дождя, преодолевая движение восходящих потоков теплого воздуха**

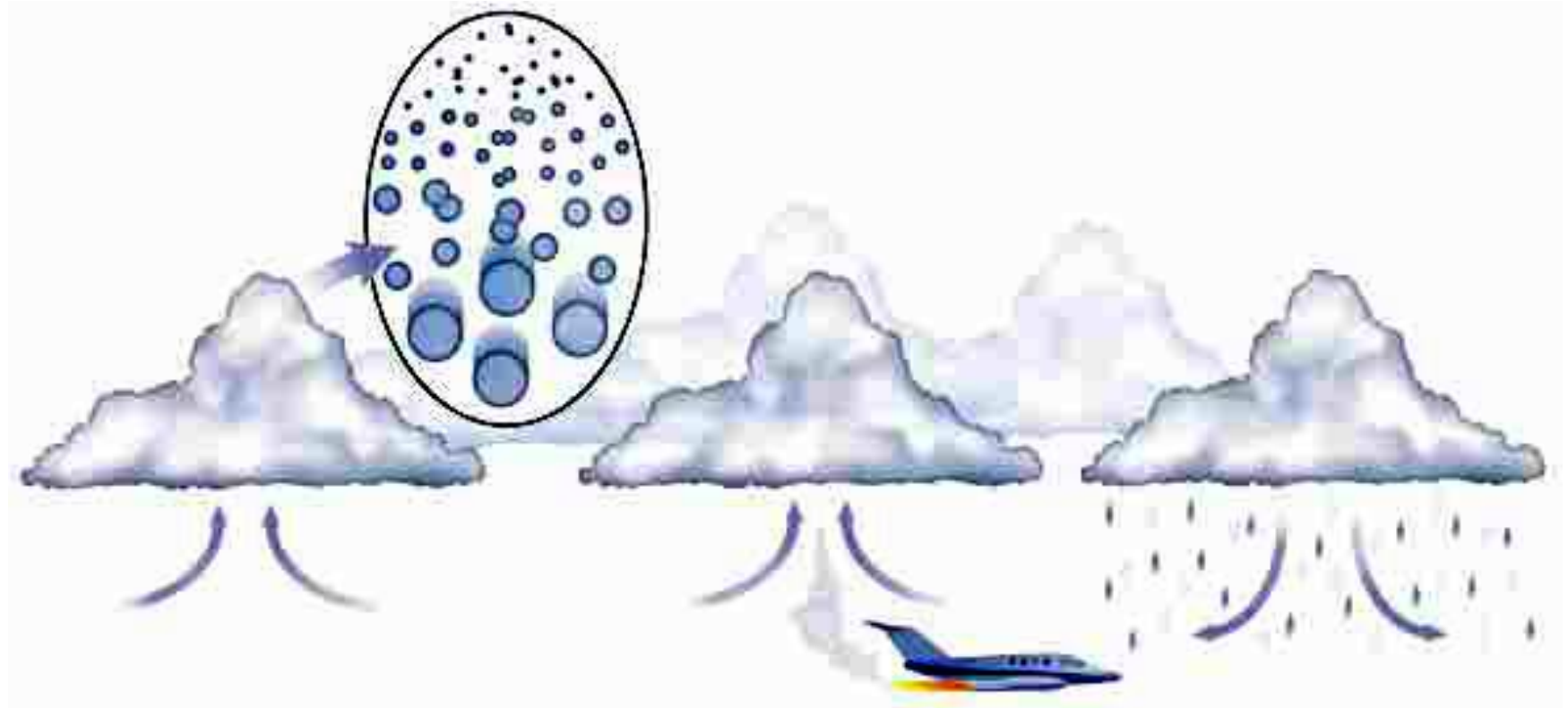
Как бороться с засухой?



Распыление:

- сухого льда или
- йодата серебра, или
- микроскопических частиц гигроскопичных солей

Как бороться с засухой?



до распыления

после распыления

Дождь начинается, когда размер капли > 1 мм

Как бороться с засухой?



до распыления
йодата серебра



после распыления
йодата серебра