

Процессы в плазме кучевого облака

Б.М.Смирнов

**Объединенный Институт Высоких
Температур РАН**

Содержание

- 1. Земля как электрический объект**
- 2. Ионизация атмосферного воздуха космическими лучами.**
- 3. Процессы конденсации воды в атмосфере**
- 4. Зарядка микрокапель.**
- 5. Свойства грозовых облаков**

Концепция глобальной эл. цепи



Тонкие стрелки – отрицательные ионы, толстые стрелки - вода

Земля как электрический объект

Напряженность эл. поля у поверхности **120 В/м**

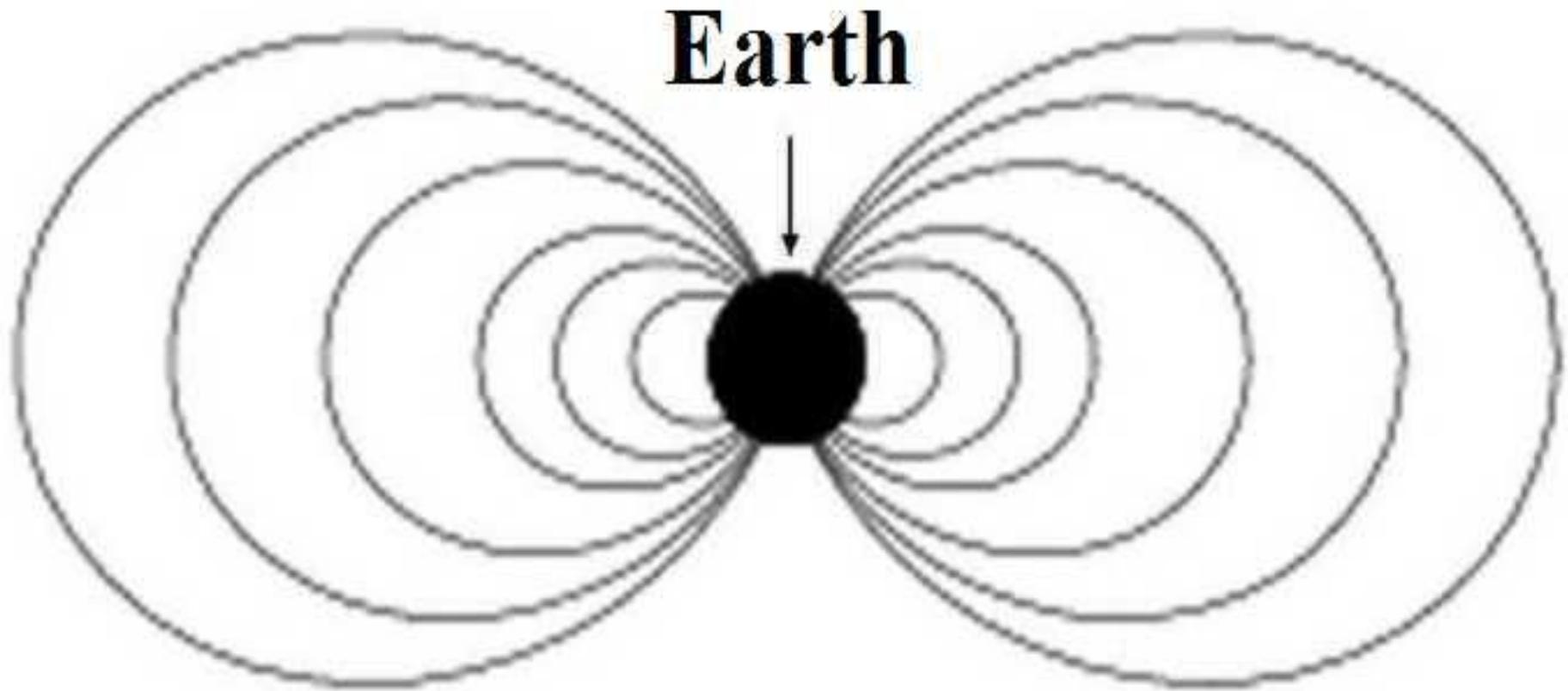
Эл. потенциал Земля – ионосфера **250 кВ**

Эл. ток зарядки и разрядки Земли **1700 А**

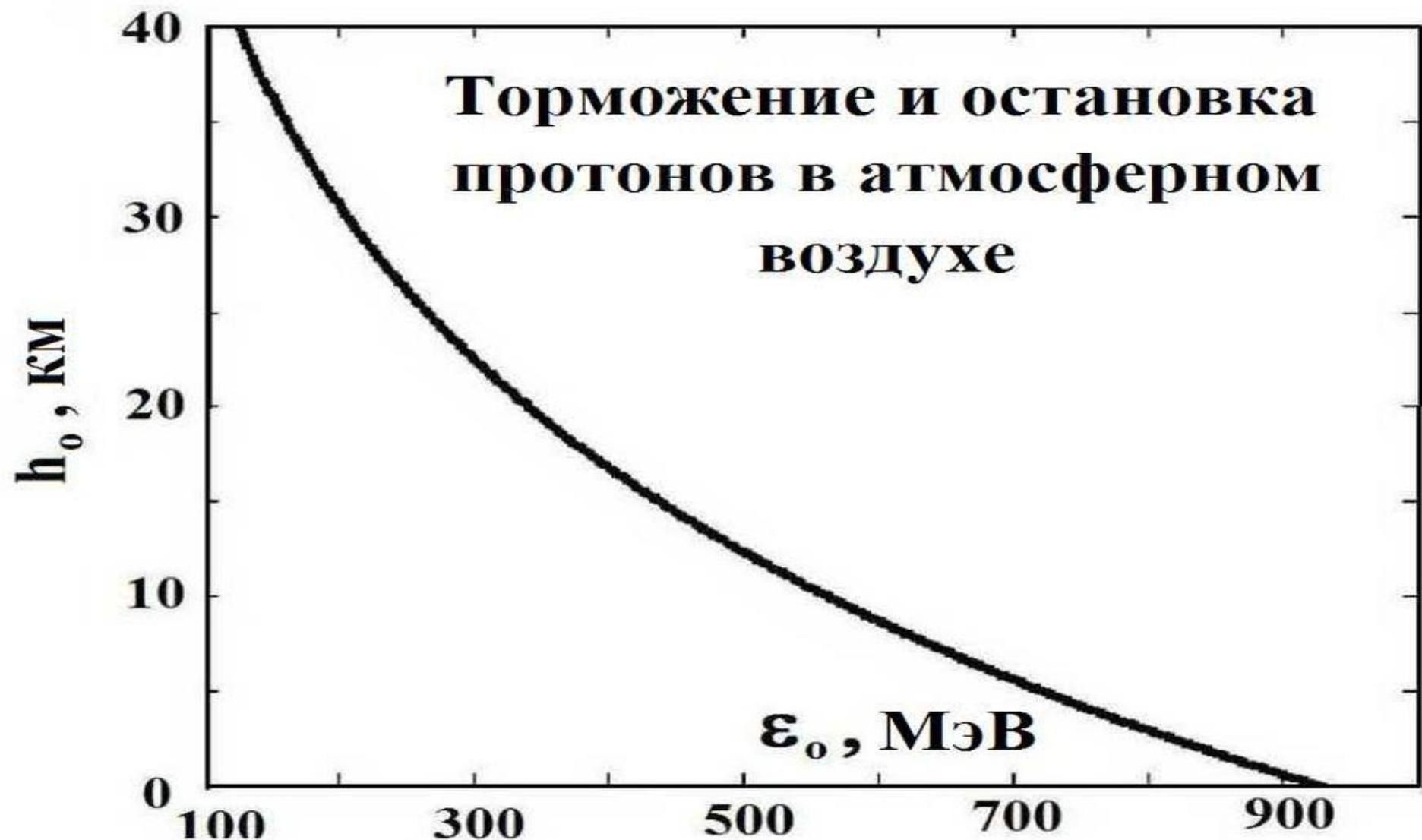
Сопротивление атмосферы **230 ом**

Отрицательный заряд Земли **600 000 Кл**

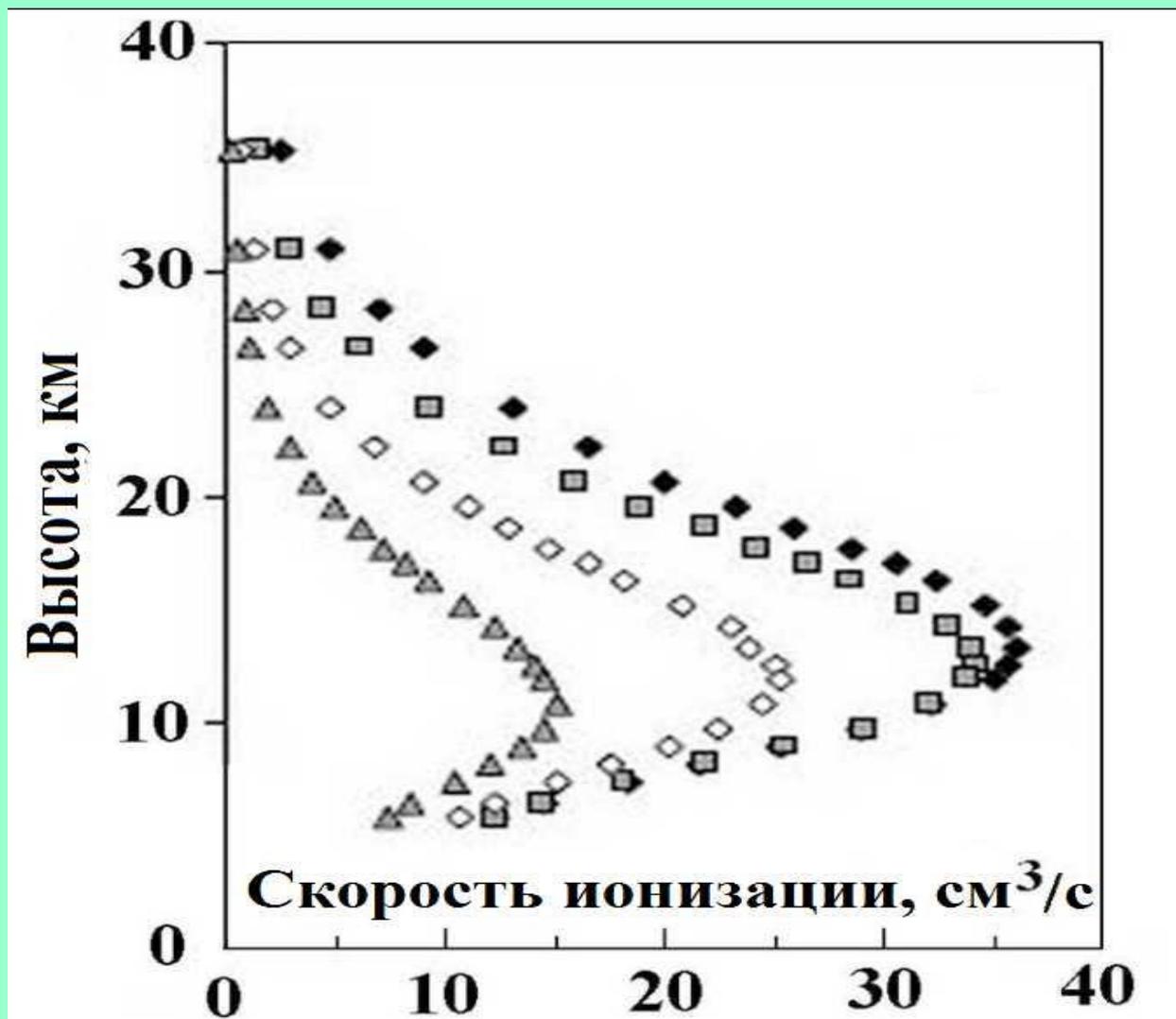
Земля – магнитный диполь



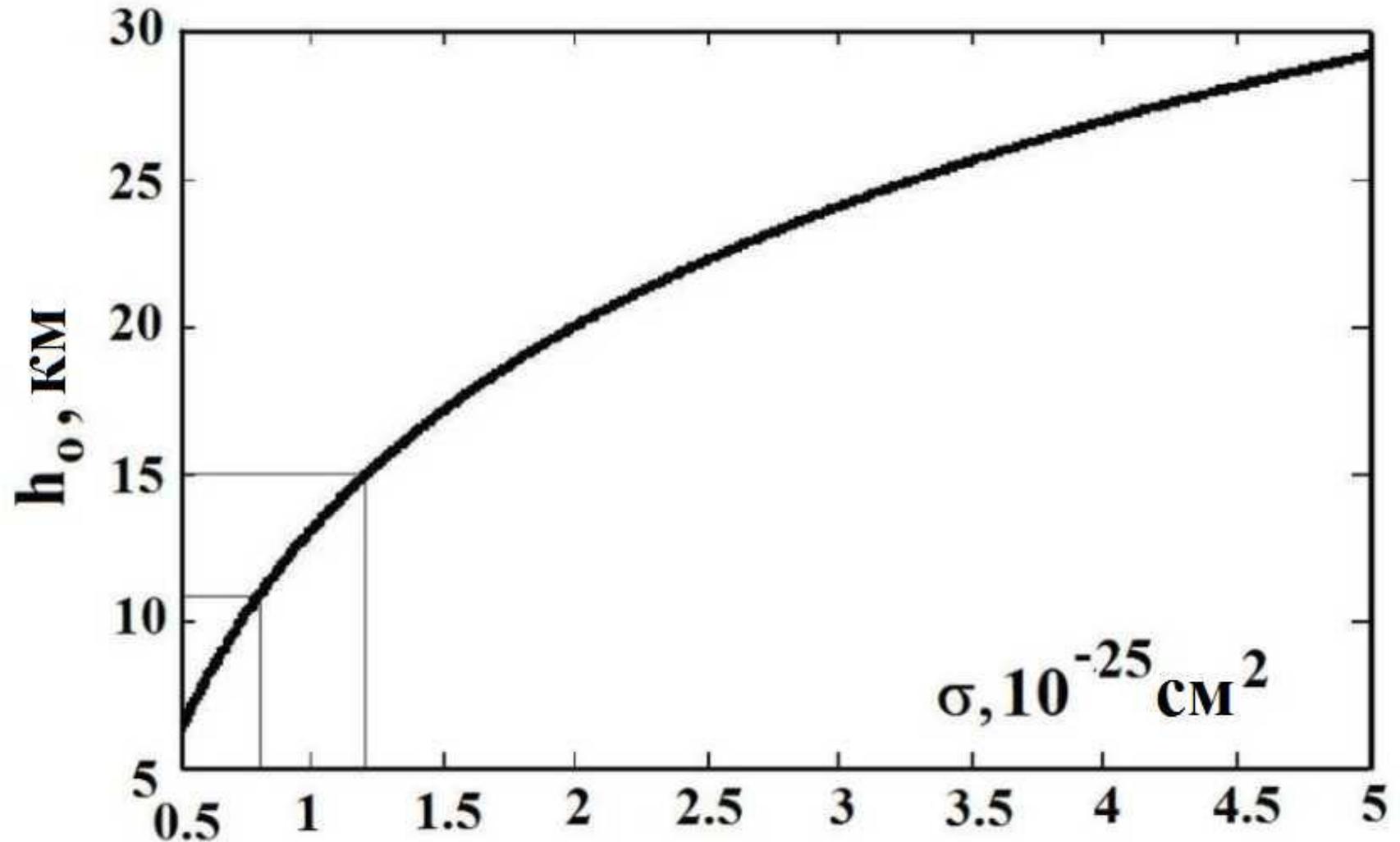
Прохождение космических протонов через атмосферу



Ионизация атмосферы космическими лучами



Высота максимальной скорости ионизации при ядерной реакции



Ионизация в атмосфере ясного неба

$$\frac{dN_i}{dt} = M - \alpha N_i^2$$

$$M = 20 \text{ cm}^{-3}, \quad \alpha \approx 10^{-6} \text{ cm}^3 / \text{s} \rightarrow$$

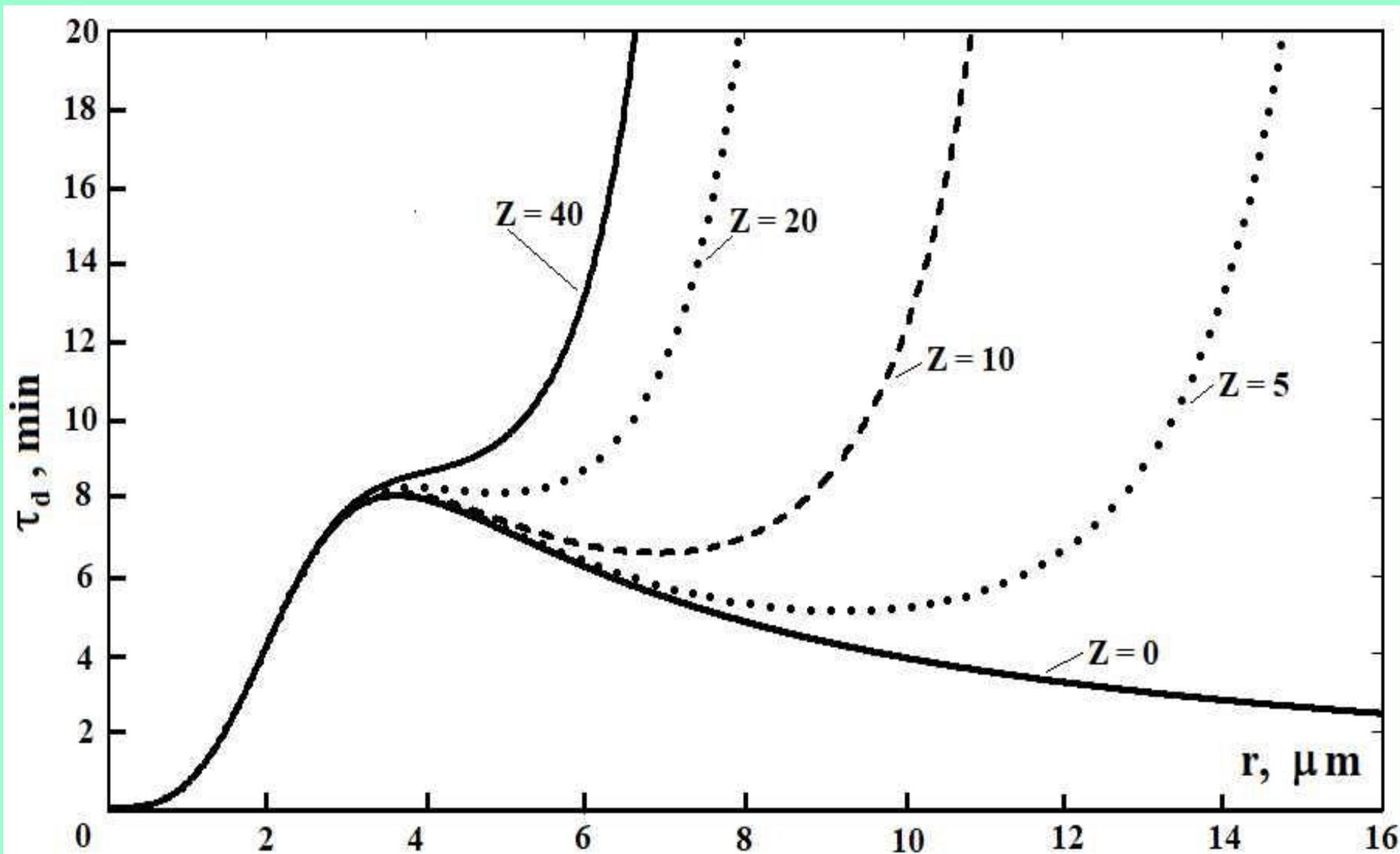
$$N_i = 4 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}, \quad \tau_r = 4 \text{ min}$$

$$K = 2 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}, \quad \rightarrow v = 2.5 \text{ cm} / \text{s}, \quad l = 5 \text{ m}$$

Кучевое облако в восходящем потоке



Время удвоения числа молекул воды в капле в пересыщенном паре



Рост микрокапель воды в пересыщенном паре

Измерения : $r = 8$ мкм, $N_d = 10^3$ см⁻³

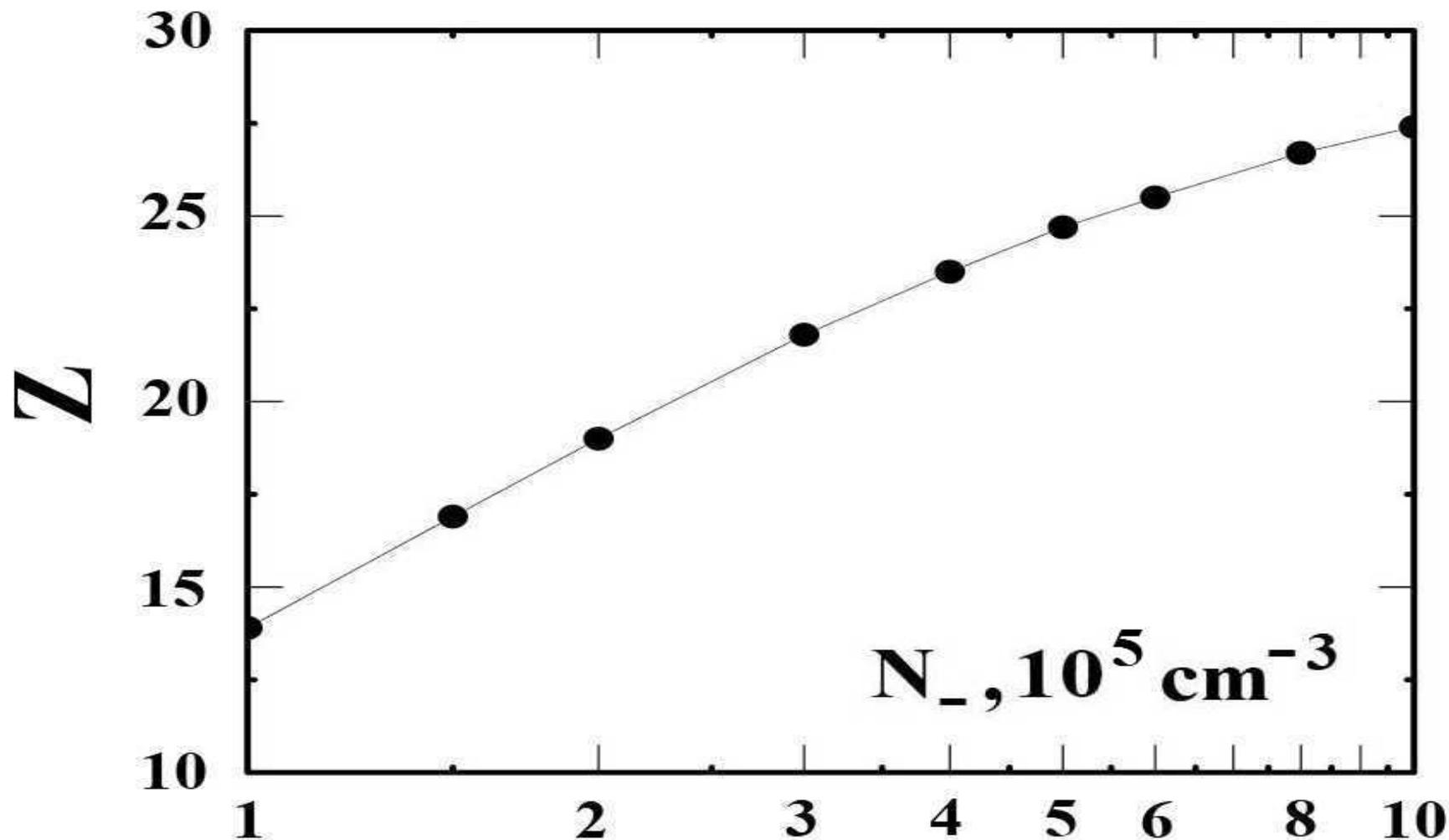
$$Z = \frac{rT}{e^2} \cdot \ln \left[\frac{K_-}{K_+ (1 + ZN_d / N_-)} \right] \quad \frac{K_-}{K_+} \approx 1.2$$

$$M = 20 \text{ см}^3 / \text{с} \rightarrow N_- = 33 \text{ см}^{-3},$$

$$N_+ = 42 \text{ см}^{-3}, Z = 0.01$$

Ожидаемые значения $Z=20-30$ заряда микрокапли реализуются в плазме высокой плотности

Равновесный заряд микрокапли в плазме



Параметры зарядки микрокапли

Примем размер зоны ионизации $R \sim 3$ см.

Время ее расширения $t \sim R^2 / D_i \sim 30$ с.

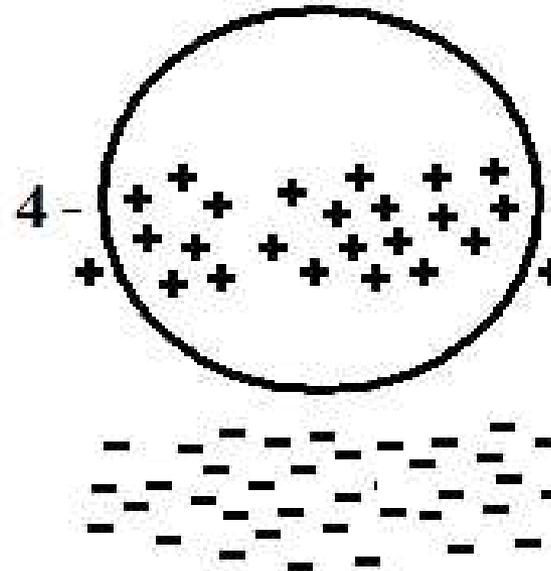
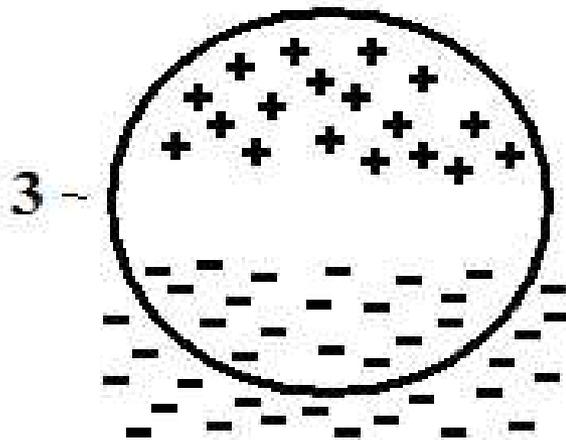
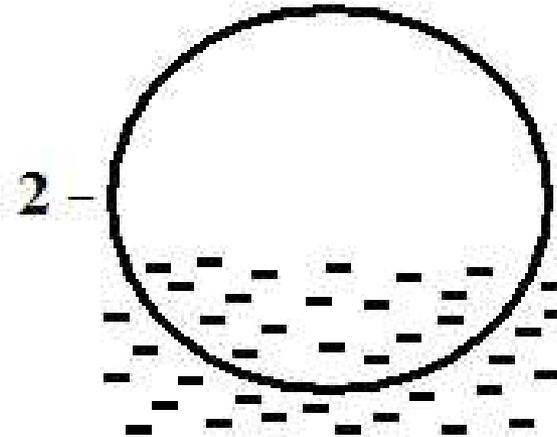
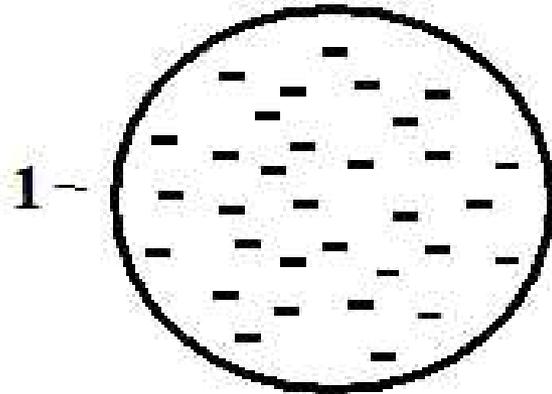
Время ухода из нее микрокапель $t \sim R/v \sim 4$ с.

Время установления заряда микрокапли :

$$\tau \sim \frac{Z}{\pi r^2 v N_i} \cdot \frac{K_i}{K_- - K_+} \sim 0.3 \text{ с}$$

Вывод : Большие микрокапли заряжаются положительно, а малые – отрицательно в случае неоднородного распределения микрокапель внутри облака. Тогда после ухода больших микрокапель из зоны ионизации малые микрокапли приобретают положительный заряд

Зарядка микрокапель при прохождении через зону ионизации



Атмосфера в предгрозовую погоду 1.

Эл. потенциал облако-земля $U=(20-100)МВ$

Напряженность эл. поля внутри облака $E= 300В/см$

Толщина заряженного слоя $H = U/E = (1-3) км.$

Приняв $t = 3$ часа – время созревания грозового облака, получим скорость падения микрокапель $v=H/t = (10-30) см/с$, откуда радиус падающих микрокапель $r = (30-50) мкм.$

Вывод : микрокапли растут в процессе созревания грозового облака

Атмосфера в предгрозовую погоду 2

Плотность заряда в грозовом облаке

$$\sigma = \frac{E}{4\pi} = 2 \cdot 10^9 \frac{e}{cm^2} = 3 \frac{C}{km^2}$$

Разделение заряда в грозовом облаке

$$N_- - N_+ = \frac{E}{4\pi eH} \sim 10^3 cm^{-3}$$

Горизонтальный размер грозового облака

$$L \sim (Q / \sigma)^{1/2} \sim 10km$$

Вывод : при полном разделении заряда облако неоднородно и микрокапли занимают малую часть грозового облака.

Атмосферное электричество как вторичное явление циркуляции воды через атмосферу

Отношение переносимого заряда q к массе переносимой воды m

Атмосферное электричество

$$q/m = I/dM/dt = 1.2 \cdot 10^{-10} \text{ C/g}$$

Микрокапли кучевого облака в момент образования

$$Z=20, r = 8 \text{ мкм} \quad q/m=2 \cdot 10^{-9} \text{ C/g}$$

Микрокапли кучевого облака после созревания

$$r = 20 \text{ мкм} \quad Z = 1-2$$

Каналы зарядки поверхности Земли

Зарядка Земли происходит по двум каналам – посредством молний и при падении заряженных микрокапель воды на поверхность Земли.

Три типа молний : внутри одного облака, между облаками и между облаком и землей. В последнем случае – 25% вспышек и ток отрицательного заряда на Землю в (3.2 ± 1.2) раза больше, чем положительного.

Со спутников фиксируется 50-60 вспышек молнии в сек. в среднем вспышка переносит заряд 4-5 Кл.

Средний ток на поверхность Земли за счет молний составляет (70 ± 20) А. Ток разрядки равен 1700А. 70% молний наблюдается в субтропиках.

Последовательность процессов зарядки

1. Ионизация атмосферы космическими лучами
2. Конденсация атмосферной воды с образованием микрокапель.
3. Зарядка микрокапель воды.
4. Падение микрокапель и создание электрического поля в атмосфере, которое может привести к молнии.

Общие выводы

- 1. Зарядка Земли происходит за счет падения заряженных микрокапель воды в кучевом облаке*
- 2. Конденсация в кучевом облаке является результатом перемешивания слоев атмосферы под действием восходящих потоков.*
- 3. Зарядка микрокапель осуществляется одновременно с конденсацией при прохождении очагов ионизации, созданных космическими лучами. Заряженные микрокапли занимают малую часть пространства.*
- 4. В процессе созревания кучевого облака микрокапли воды растут.*
- 5. Вклад молний в ток зарядки Земли составляет (3-5)%. Основной вклад дает непосредственный контакт микрокапель воды с землей.*

Спасибо !