

Влияние ориентации несферических частиц гидрометеоров на поляризационные характеристики теплового радиоизлучения дождевой атмосферы в микроволновом диапазоне

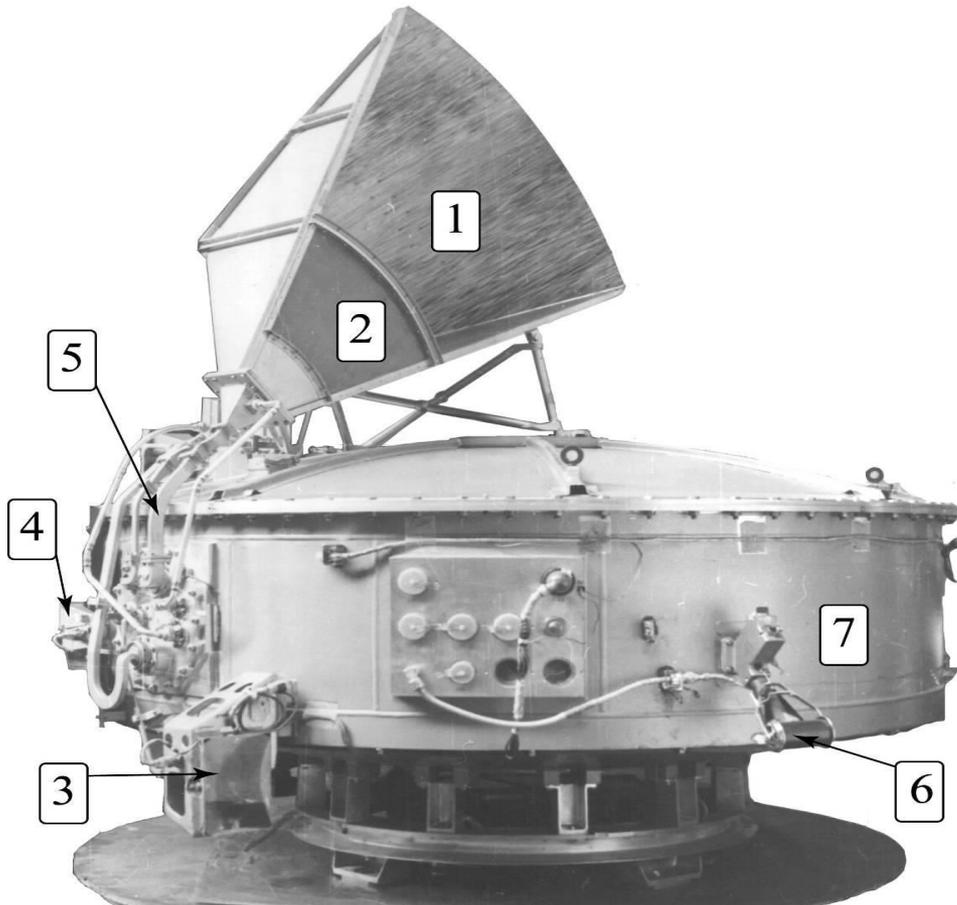
Я.А. Илюшин^{1,2}, Я.В. Копцов¹, Б.Г. Кутуза²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова

²Институт радиотехники и электроники В.А. Котельникова РАН

ilyushin@phys.msu.ru

Microwave radiometer on the S/C “Cosmos-243” («Kocmoc-243») before installing on the spacecraft platform

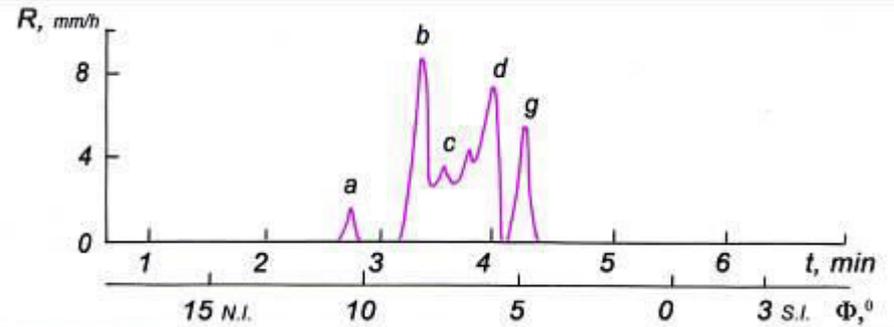
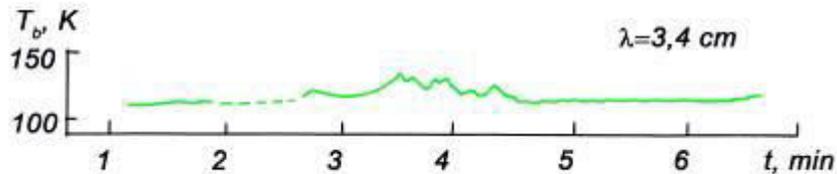
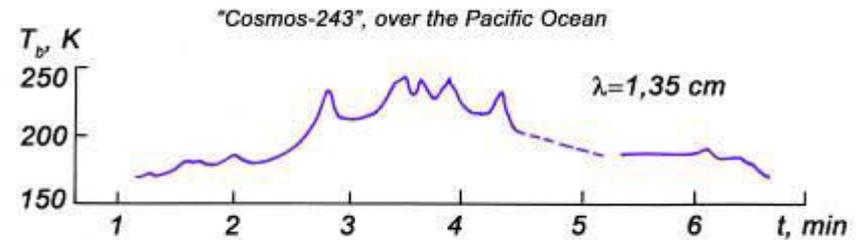
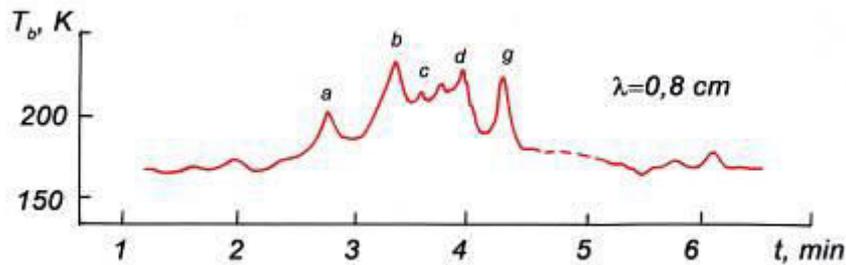


Technical specifications

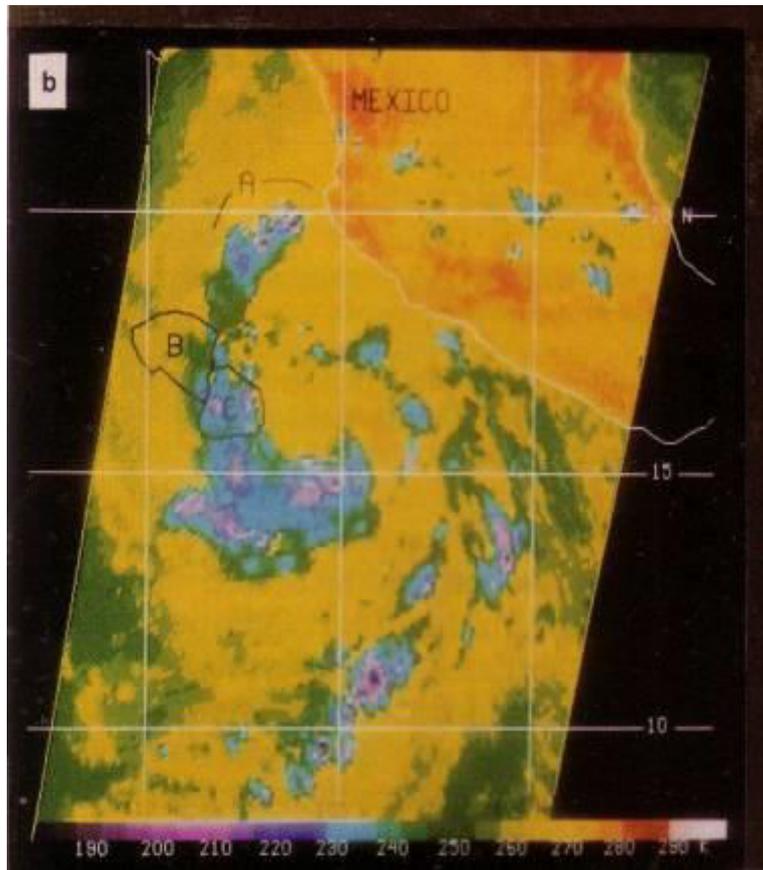
	Channels			
	1	2	3	4
Wavelength, cm	8.5	3.4	1.35	0.8
Sensitivity, °K	0.7	0.6	1.3	1.9
Antenna beam width, degrees	8.6	4.0	3.6	4.0

Thermal radiation of the precipitation over the oceanic surface measured by the Cosmos-243 spacecraft

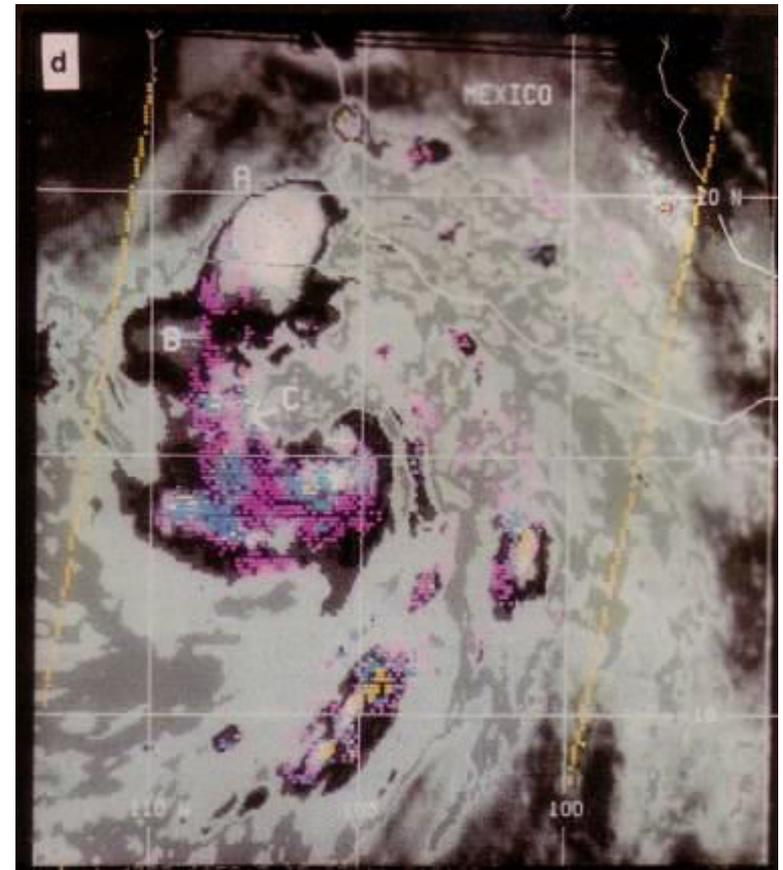
Nadir looking geometry: channels 8.8; 22.2; 37.5 GHz



Precipitation mapping over marine and land surfaces from the SSM/I spacecraft

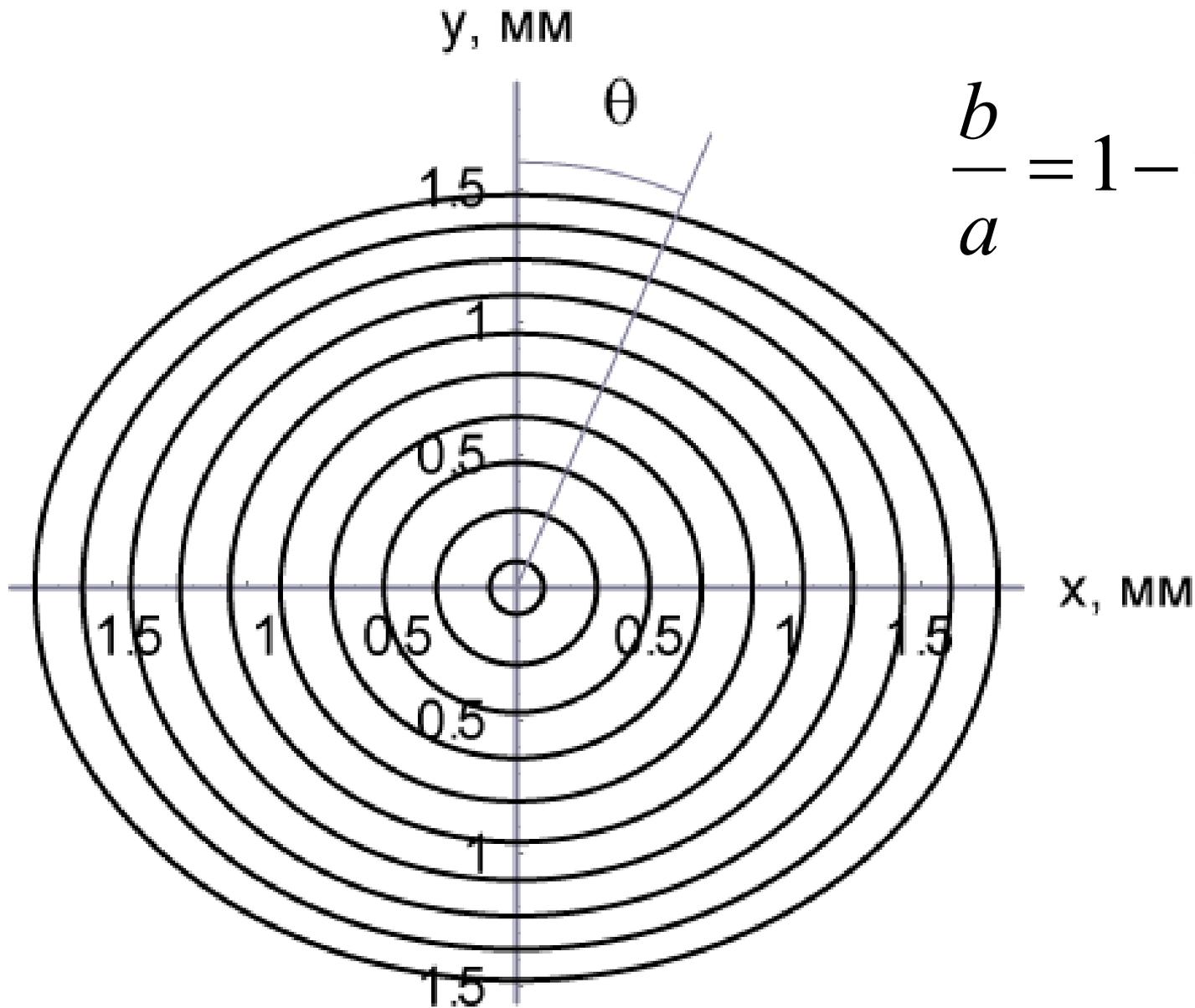


*Radio brightness temperatures
(SSM/I, 85.5 GHz, vertical polarization)*



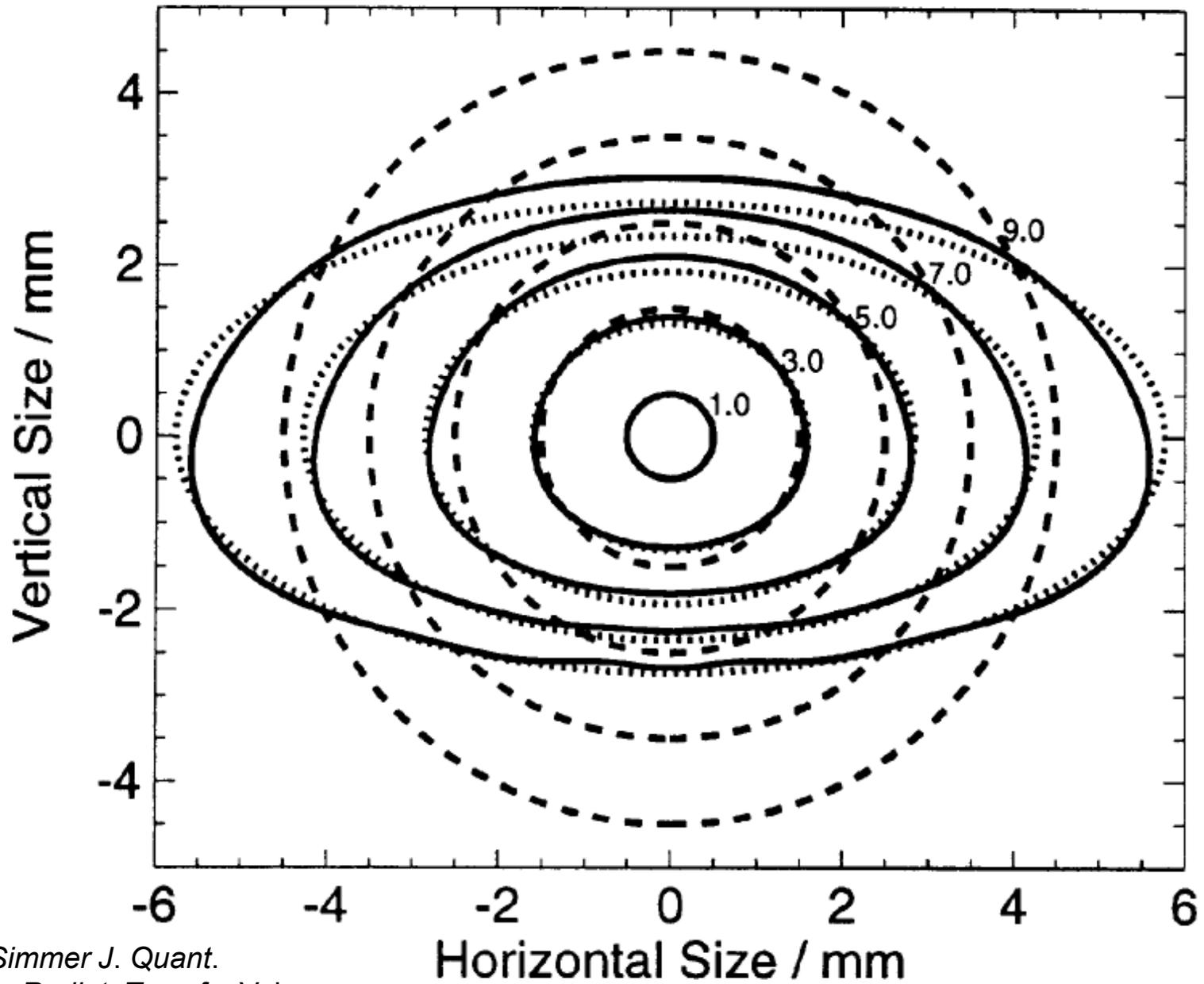
*Precipitation map
(SSM/I, 85.5 GHz)*

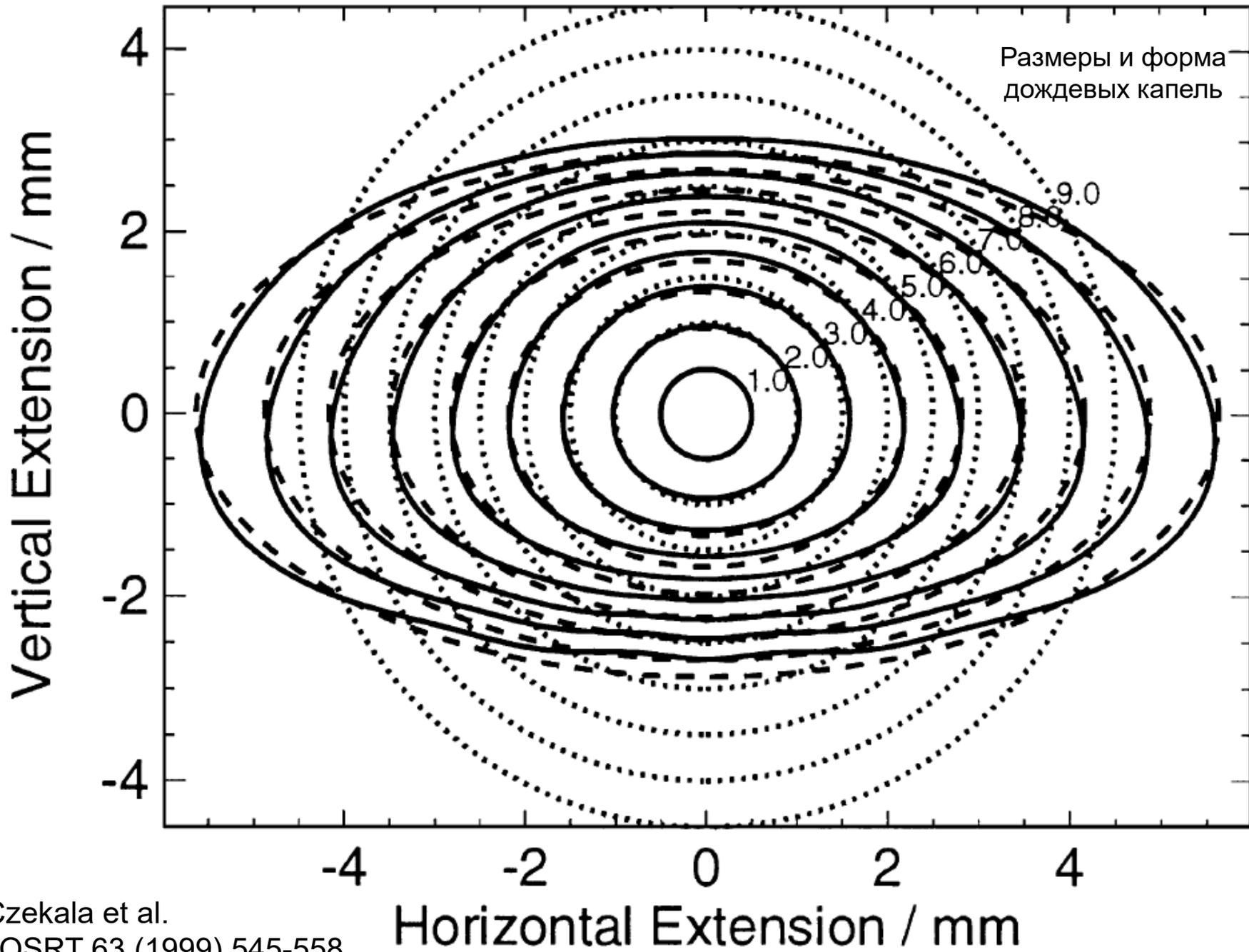
Размеры и форма дождевых капель



$$\frac{b}{a} = 1 - 0.091 \bar{a}$$

Размеры и форма дождевых капель

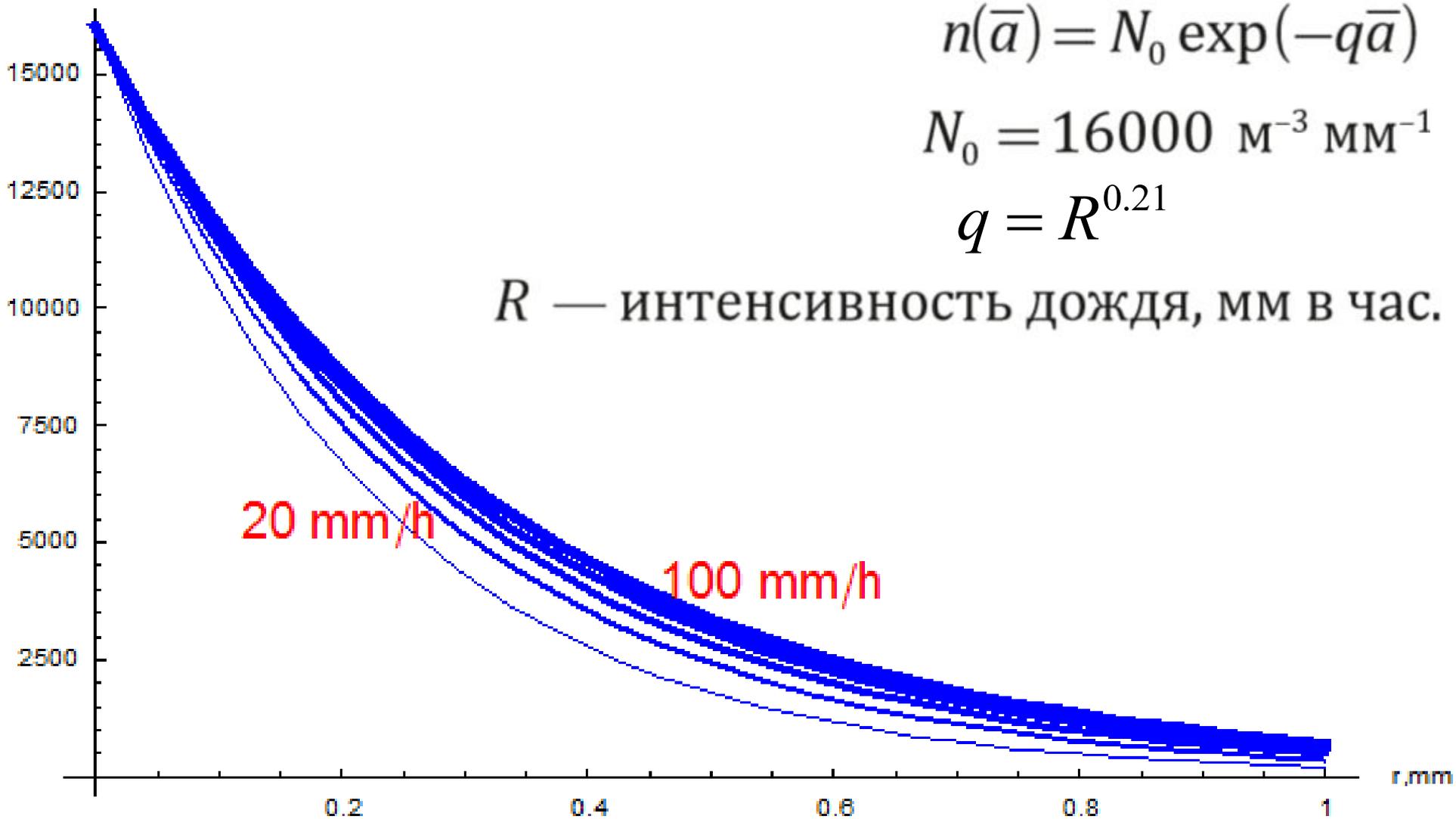




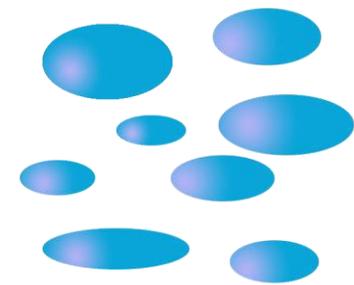
Распределение капель по размерам

Распределение Маршалла-Пальмера

$N, \text{m}^{-3} \text{m}^{-1}$

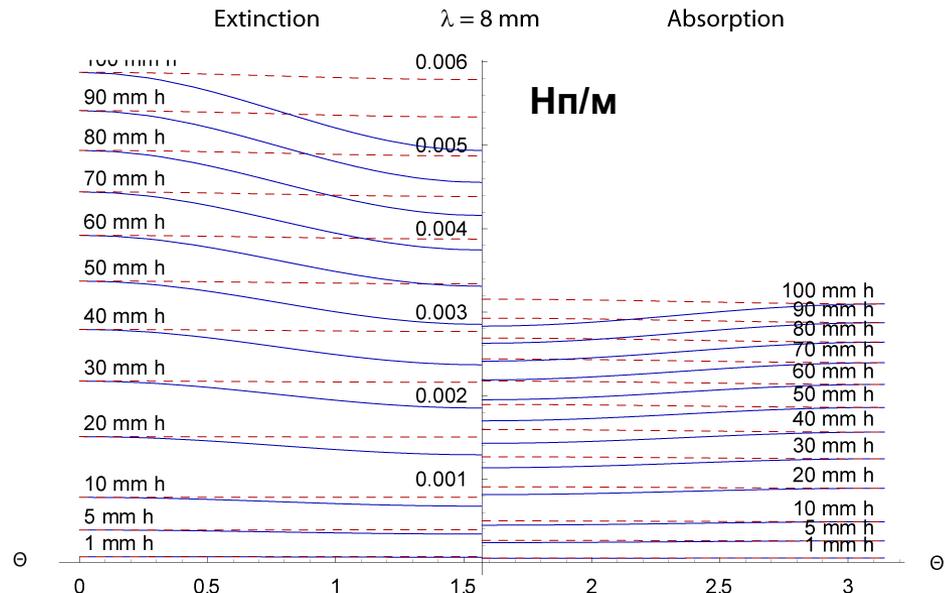
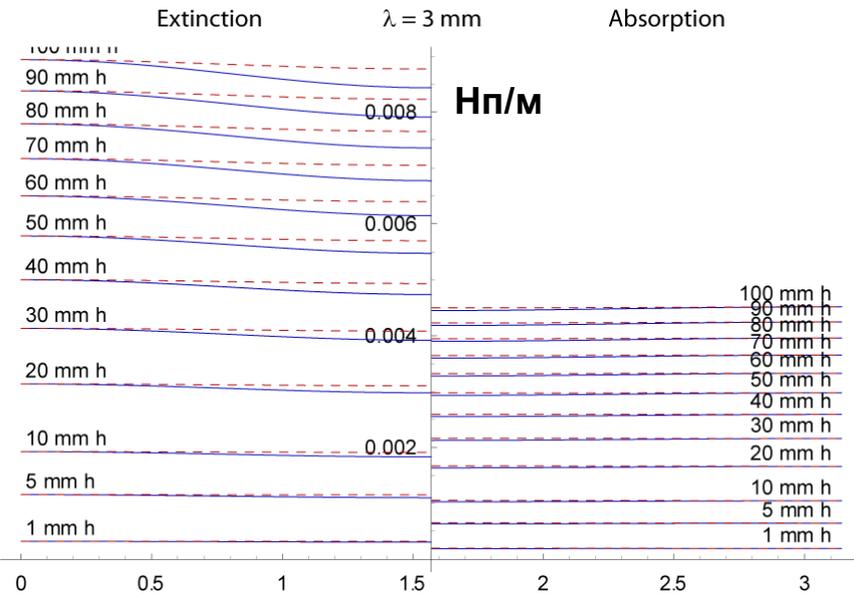


Угловые зависимости ослабления и поглощения миллиметровых волн в дождевых осадках



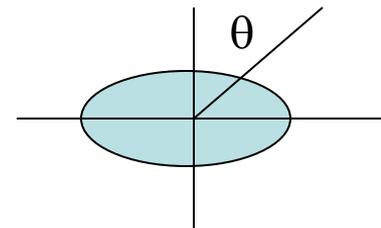
$\lambda = 3 \text{ мм}$

$\lambda = 8 \text{ мм}$



Ослабление и поглощение микроволнового излучения в дождевых осадках (Нп/м)

Пунктирные кривые – горизонтальная поляризация,
сплошные кривые – вертикальная поляризация.

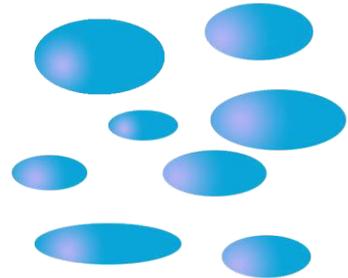


Scattering parameters calculated by T-matrix code for fixed nonspherical particles

http://www.giss.nasa.gov/staff/mmishchenko/t_matrix.html

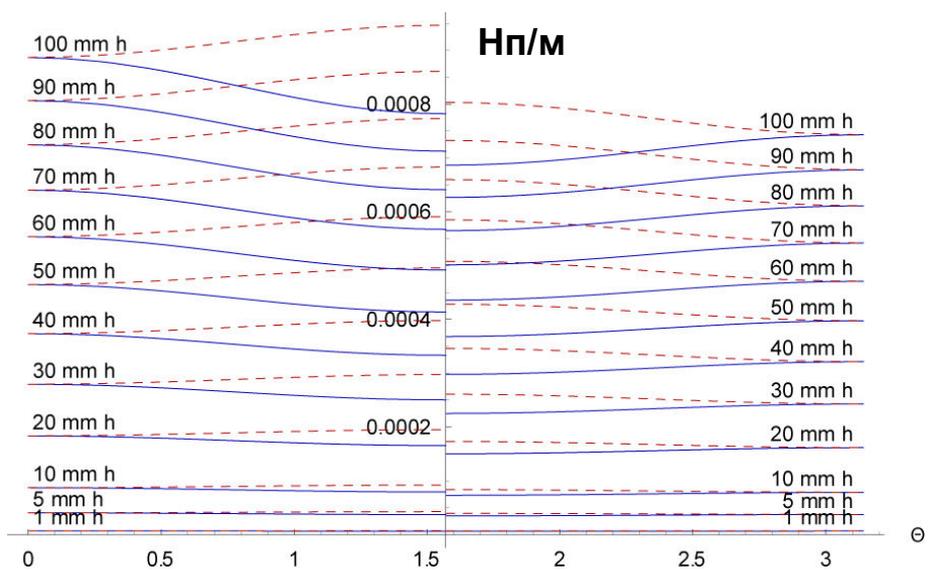
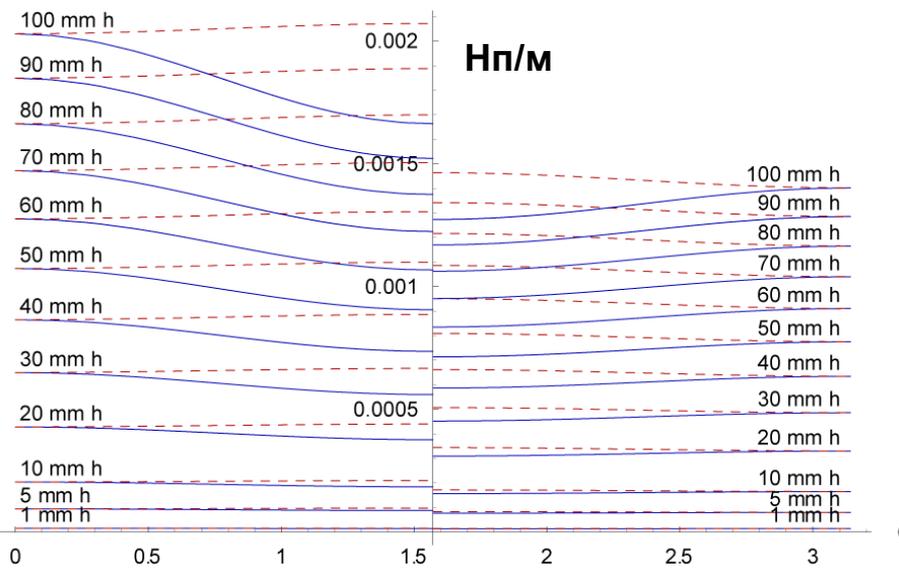
(Mishchenko, M. I., 1991: Extinction and polarization of transmitted light by partially aligned nonspherical grains, *Astrophys. J.* **367**, 561-574.)

Угловые зависимости ослабления и поглощения миллиметровых волн в дождевых осадках

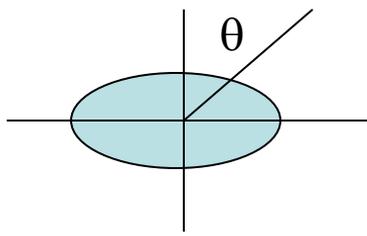


$\lambda = 15.4 \text{ мм}$

$\lambda = 22 \text{ мм}$



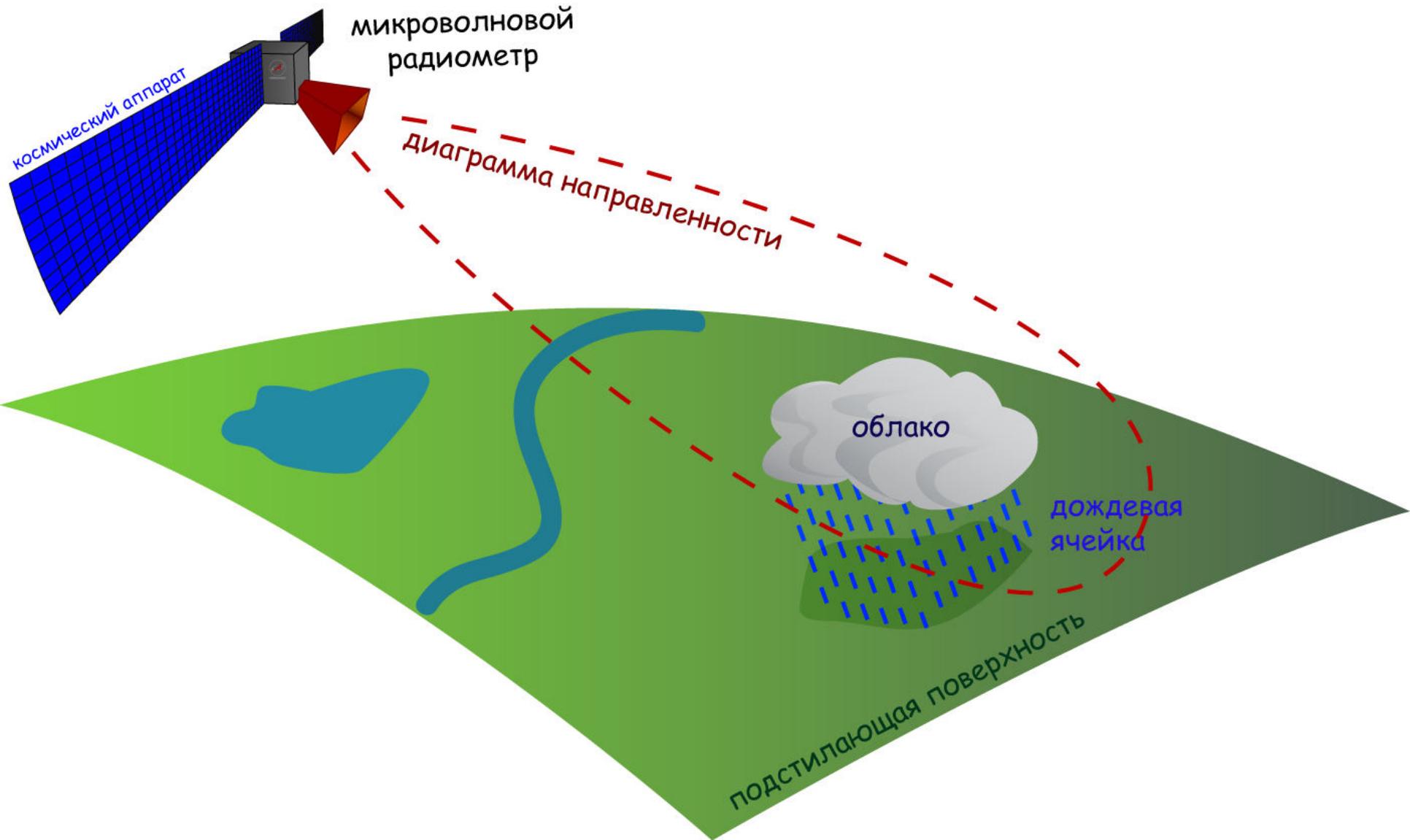
Ослабление и поглощение микроволнового излучения в дождевых осадках (Нп/м)
Пунктирные кривые – горизонтальная поляризация,
сплошные кривые – вертикальная поляризация.



Scattering parameters calculated by T-matrix code for fixed nonspherical particles
http://www.giss.nasa.gov/staff/mmishchenko/t_matrix.html

(Mishchenko, M. I., 1991: Extinction and polarization of transmitted light by partially aligned nonspherical grains, *Astrophys. J.* **367**, 561-574.)

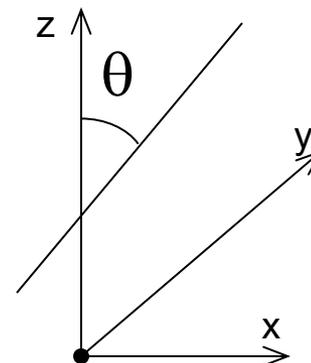
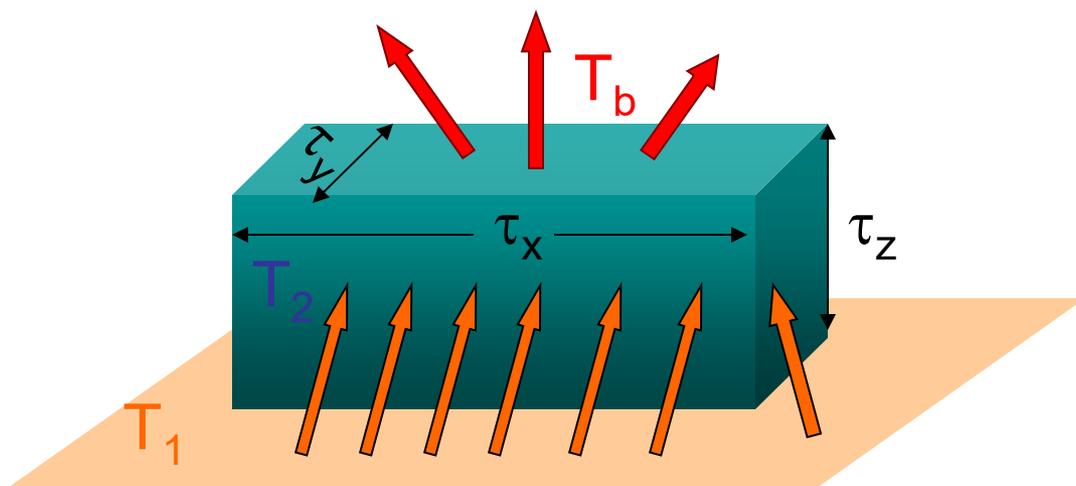
Радиометрическое зондирование дождевой ячейки



Прямоугольная дождевая ячейка. Численное решение векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ).

$$(\boldsymbol{\Omega} \cdot \nabla) \mathbf{I}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\Omega}) = -\hat{\sigma}_\varepsilon \mathbf{I}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\Omega}) + \bar{\sigma}_a B(T) + \frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} \hat{x}(\boldsymbol{\Omega}, \boldsymbol{\Omega}') \mathbf{I}(\mathbf{r}, \boldsymbol{\Omega}') d\boldsymbol{\Omega}' ,$$

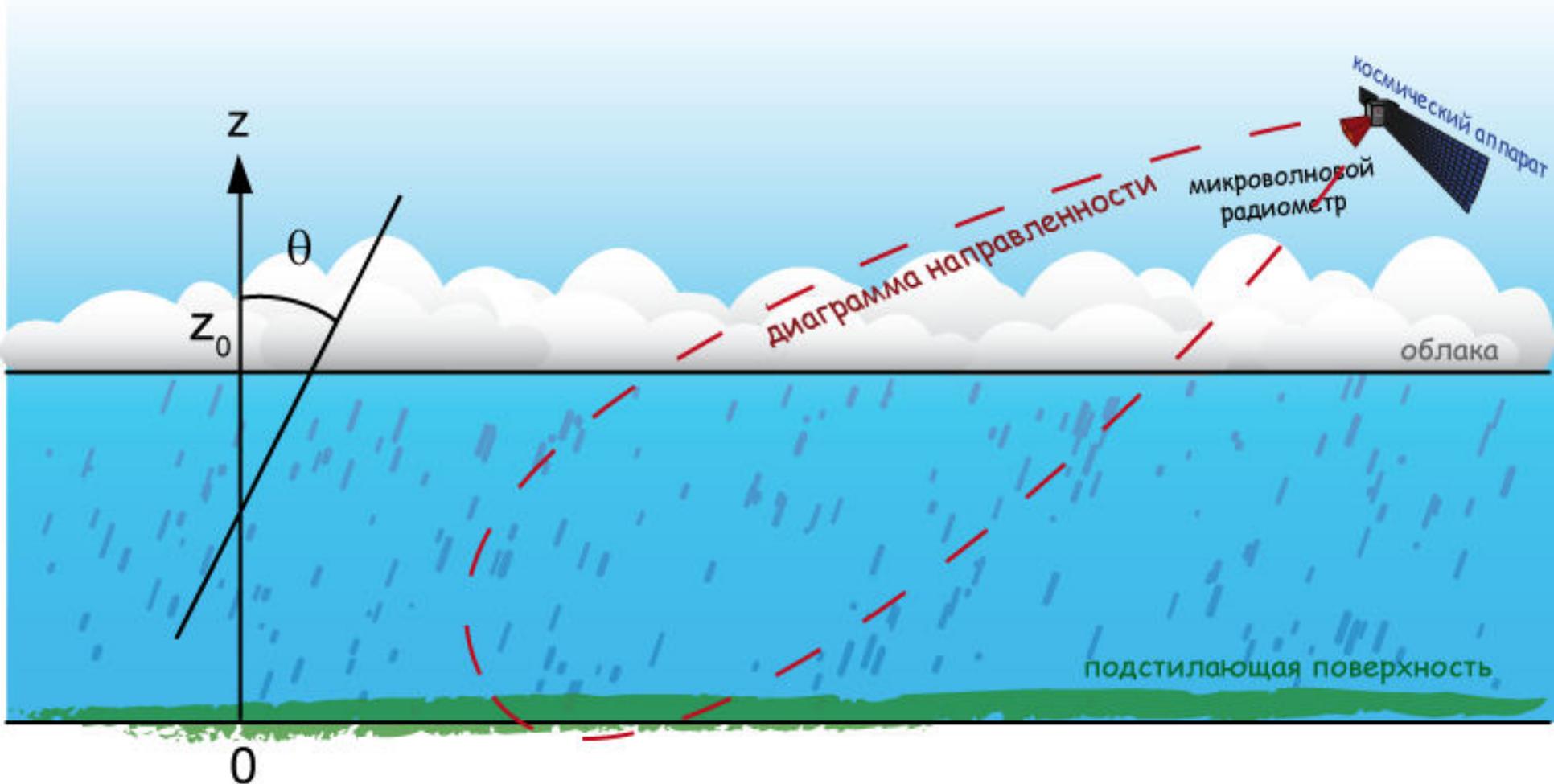
Прямоугольная дождевая ячейка



R_L – частичное ламбертовское отражение
от подстилающей поверхности

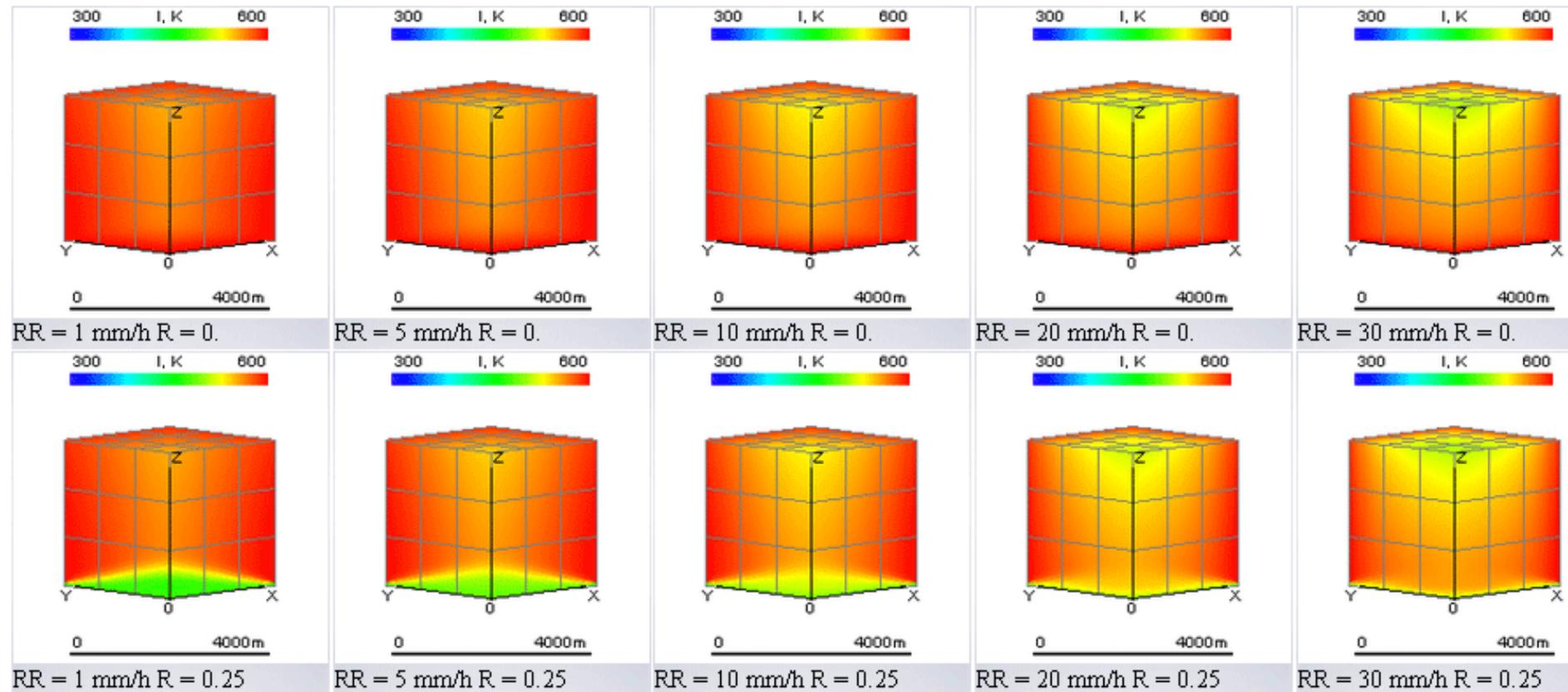
Численное моделирование проведено с
использованием ресурсов
супервычислительного комплекса
«Чебышев» НИВЦ МГУ

Модель плоского слоя среды



Распределение интенсивности I по поверхности кубической дождевой ячейки в зависимости от интенсивности дождя

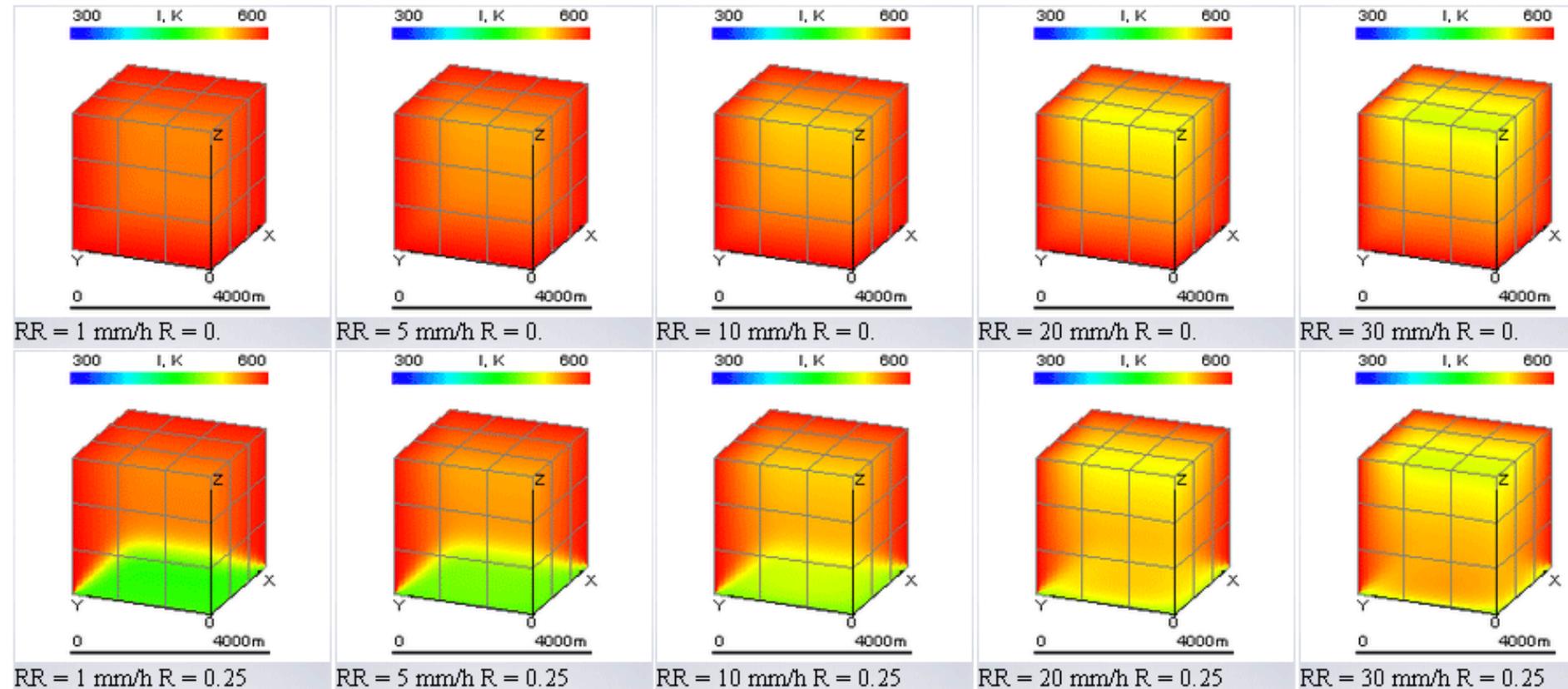
Stokes parameter I wave length 15.4 mm G29 node 15 of 302 $\theta = 83^\circ$ $\varphi = 45^\circ$



Коэффициент ламбертовского отражения подстилающей поверхности:
верхний ряд -- $R=0$, нижний ряд – $R=0.25$. Длина волны $\lambda = 15.4$ мм

Распределение интенсивности I по поверхности кубической дождевой ячейки в зависимости от интенсивности дождя

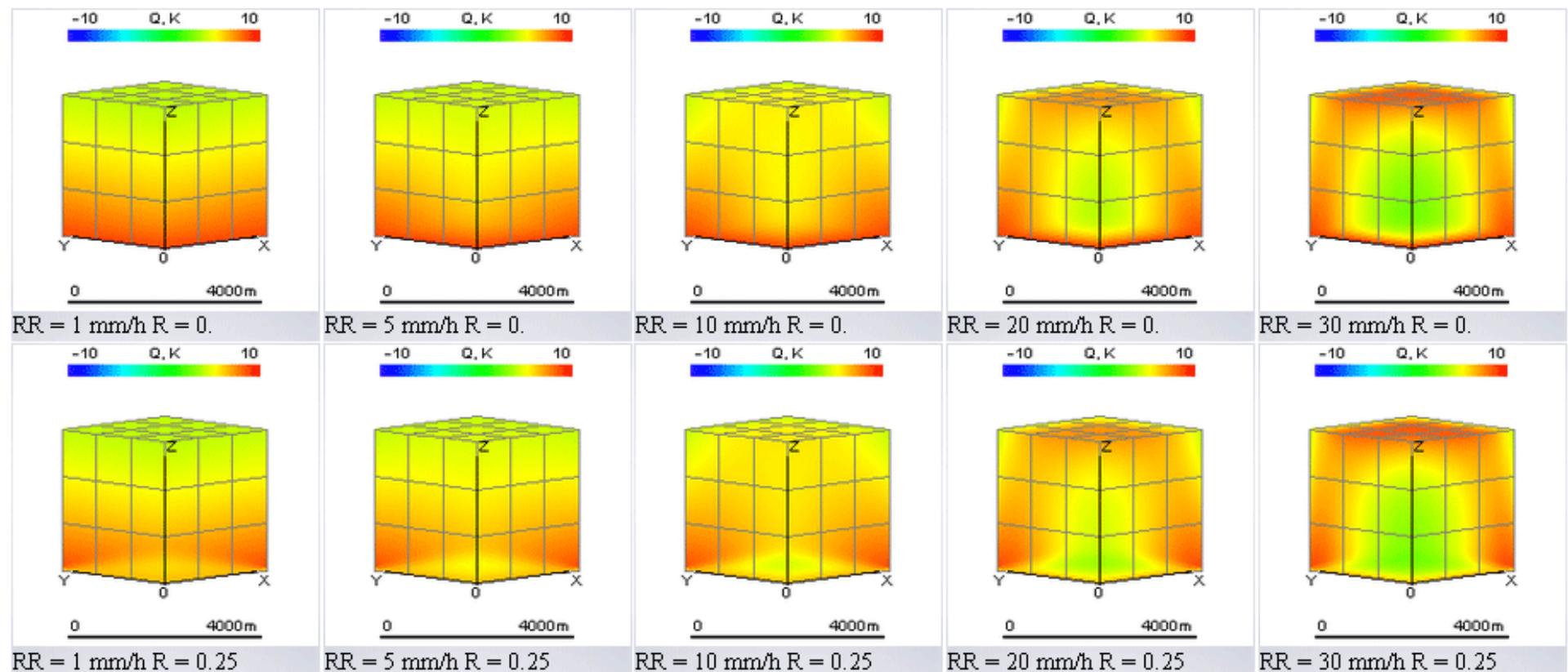
Stokes parameter I wave length 15.4 mm G29 node 89 of 302 $\theta = 69^\circ$ $\varphi = 22^\circ$



Коэффициент ламбертовского отражения подстилающей поверхности:
верхний ряд -- $R=0$, нижний ряд – $R=0.25$. Длина волны $\lambda = 15.4$ мм

Распределение поляризации Q по поверхности кубической дождевой ячейки в зависимости от интенсивности дождя

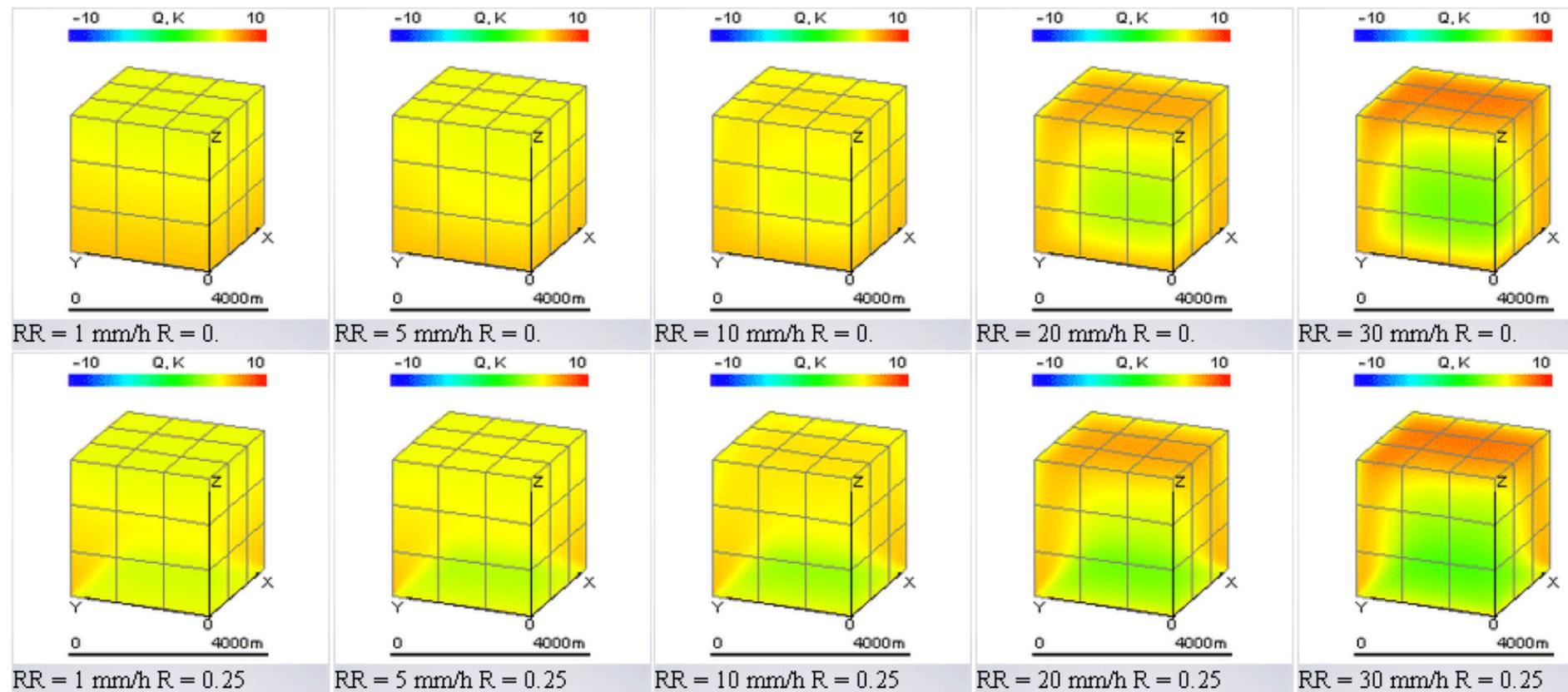
Stokes parameter Q wave length 15.4 mm G29 node 15 of 302 $\theta = 83^\circ$ $\phi = 45^\circ$



Коэффициент ламбертовского отражения подстилающей поверхности:
верхний ряд -- $R=0$, нижний ряд – $R=0.25$. Длина волны $\lambda = 15.4$ мм

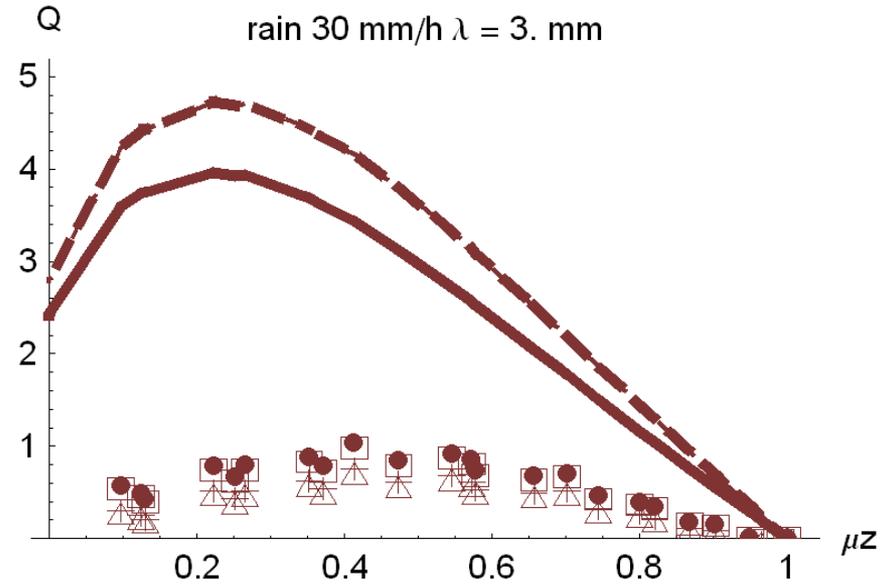
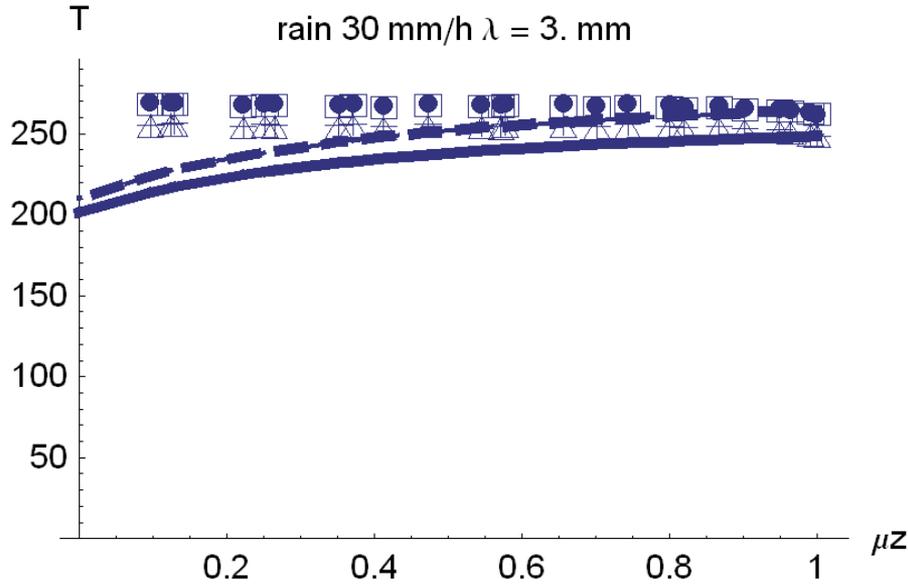
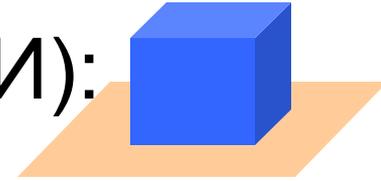
Распределение поляризации Q по поверхности кубической дождевой ячейки в зависимости от интенсивности дождя

Stokes parameter Q wave length 15.4 mm G29 node 89 of 302 $\theta = 69^\circ$ $\varphi = 22^\circ$



Коэффициент ламбертовского отражения подстилающей поверхности:
верхний ряд -- $R=0$, нижний ряд -- $R=0.25$. Длина волны $\lambda = 15.4$ мм

Численное решение векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ): 3D vs 1D.



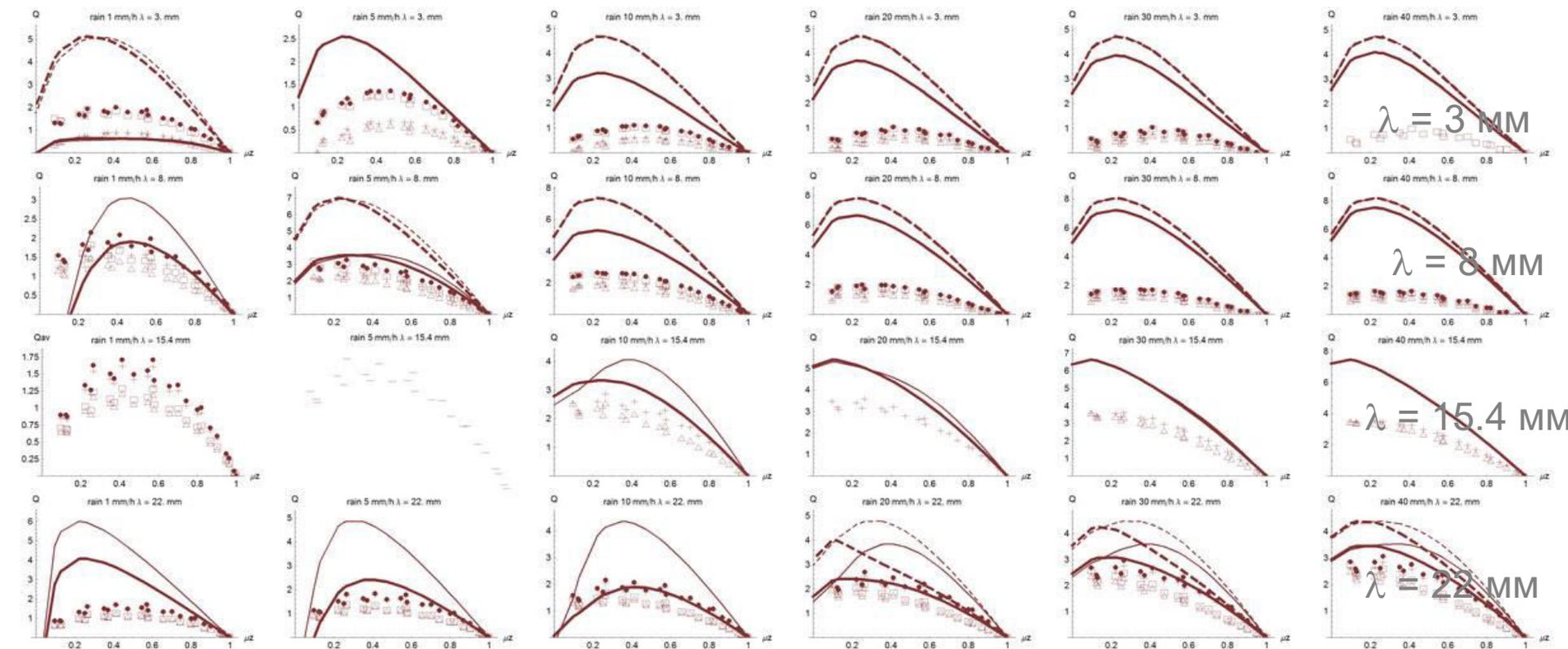
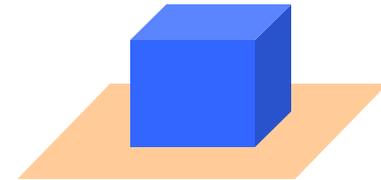
$T_1 = 300$ K $T_2 = 300$ K $X=Y=Z=3$ км ($\tau \sim 10$) $\lambda = 3$ мм RR = 30 мм/ч

1D	Поглощение	Нет поглощения
R=0	—————	-----
R=0.25	—————	-----

3D	Поглощение	Нет поглощения
R=0	+	•
R=0.25	△	□

Численное решение векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ): 3D vs 1D.

Второй параметр Стокса Q (линейная поляризация)



1

5

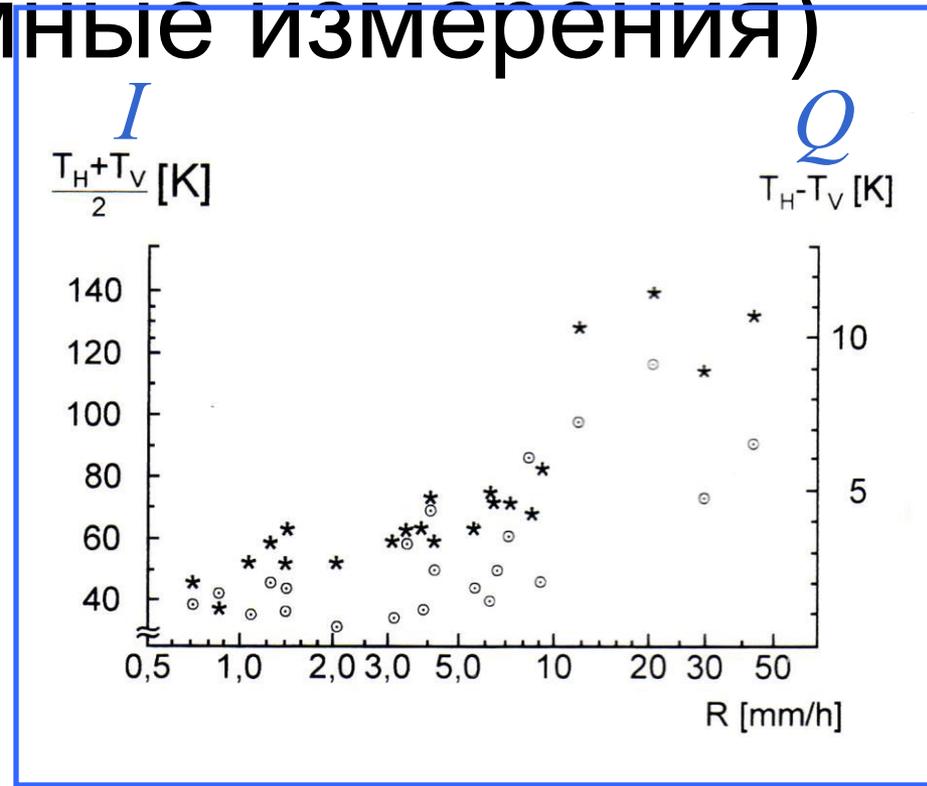
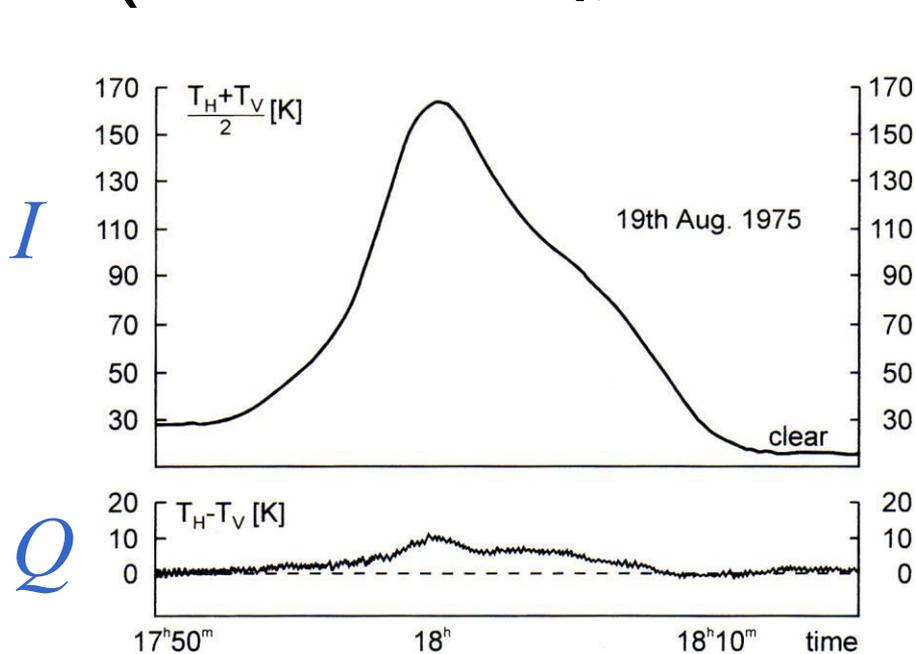
10

20

30

40 мм/ч

Поляризация теплового радиоизлучения дождя (13.3 ГГц, наземные измерения)

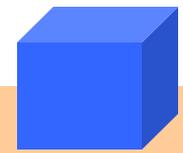


*Радиояростная температура дождевых осадков
(данные измерений на вертикальной и
горизонтальной поляризациях, угол места 15° ,
максимальная интенсивность осадков 10 мм/ч)*

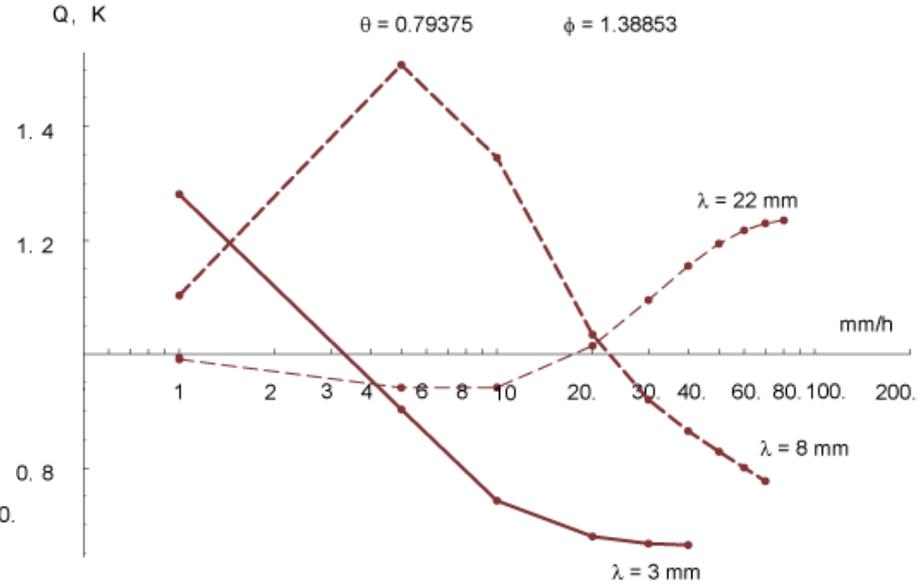
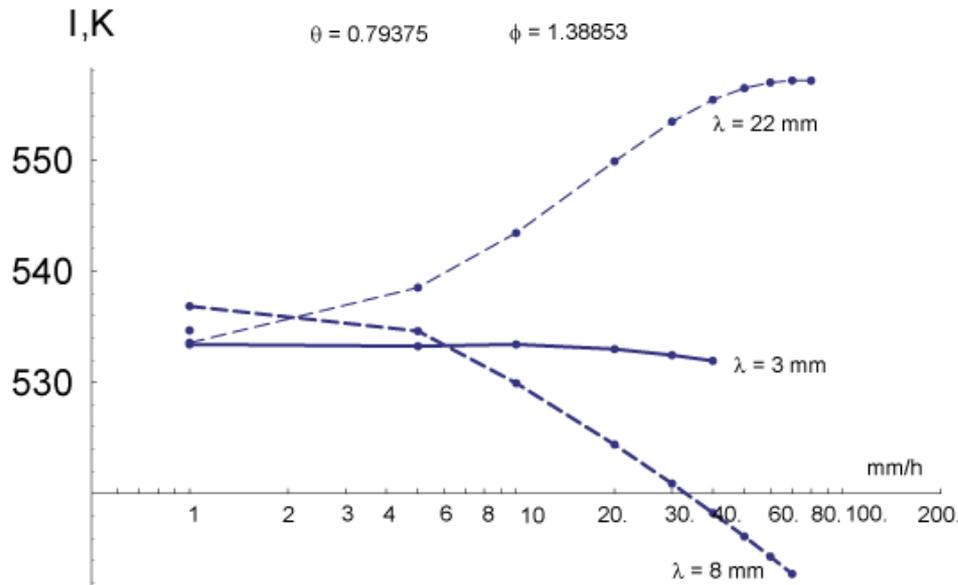
*Средняя яркостная температура
(первый параметр Стокса)
и разность (второй параметр Стокса Q)
излучения дождевых осадков в зависимости от
интенсивности (13.3 ГГц)*

13.3 ГГц = 22 мм

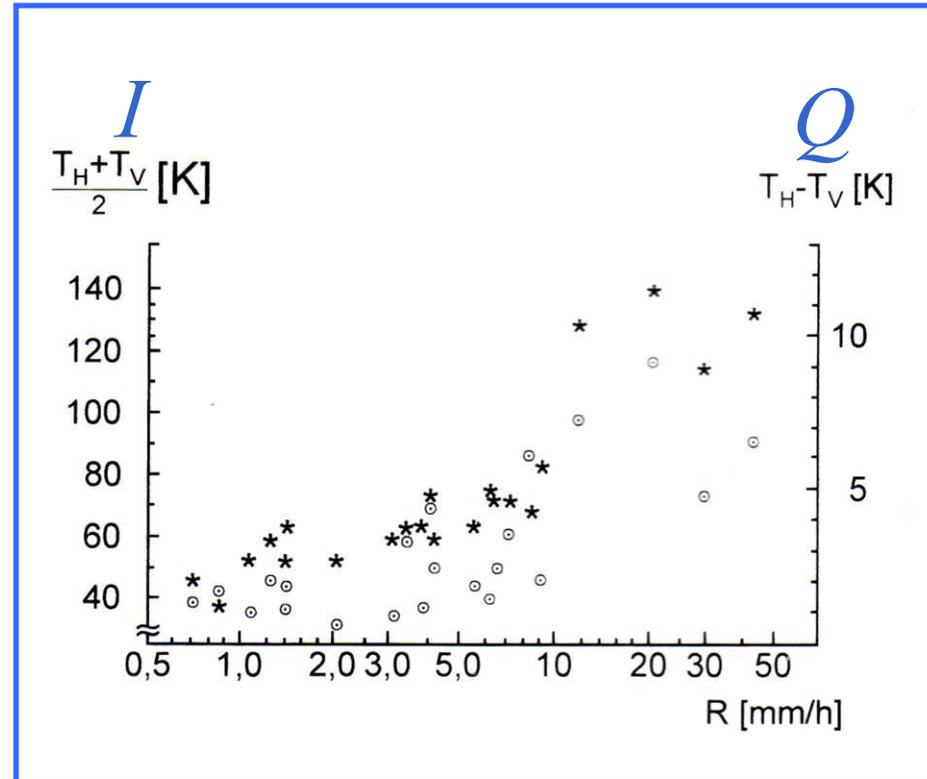
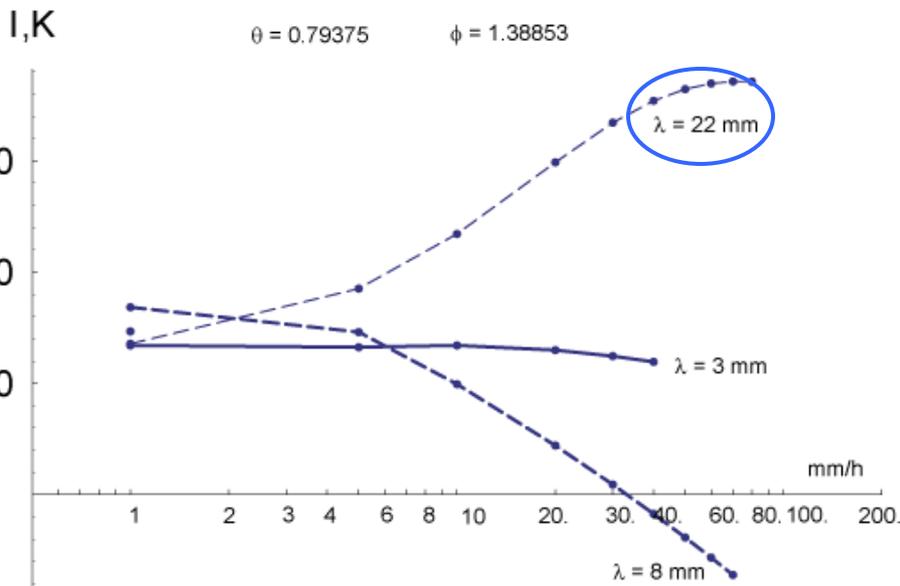
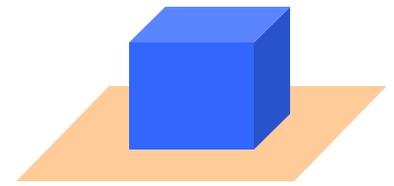
Мультиспектральные измерения: основа для решения обратной задачи



Параметры излучения усреднены по всей
наблюдаемой поверхности ячейки

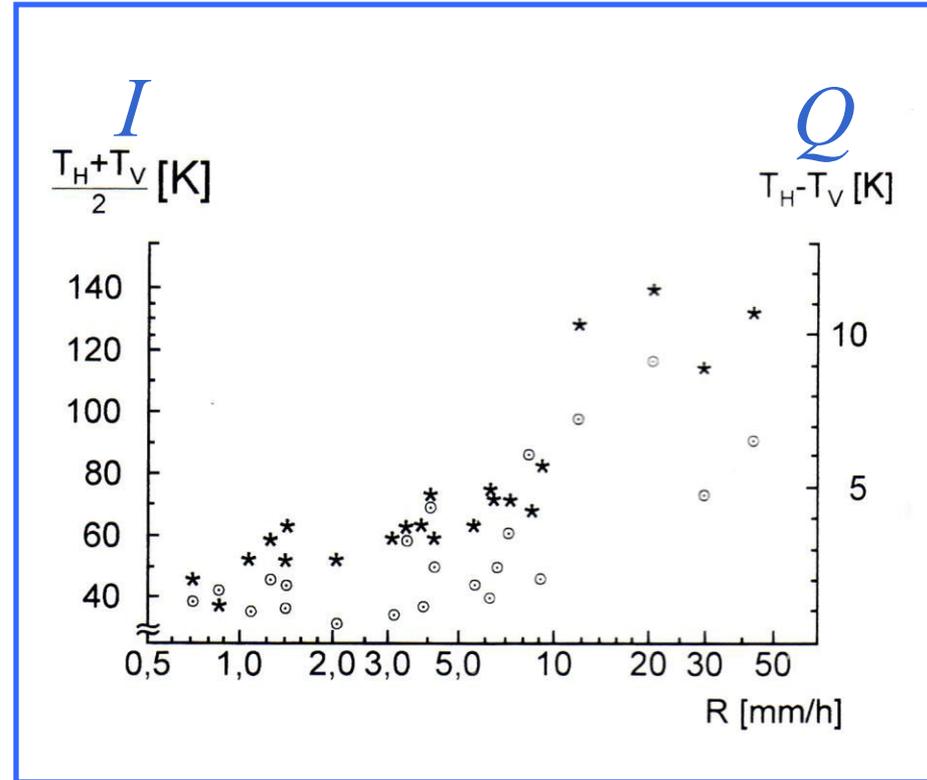
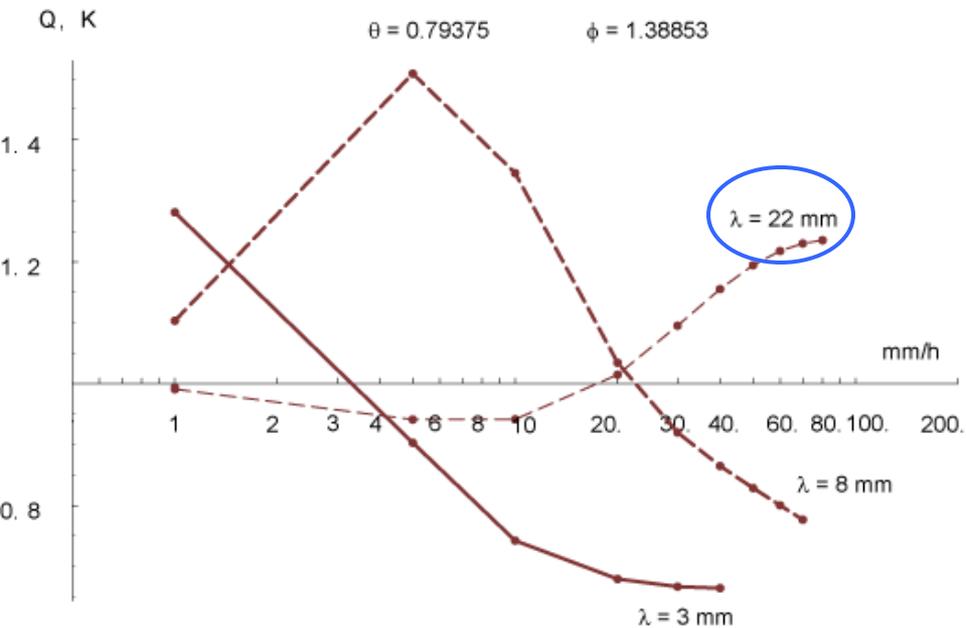
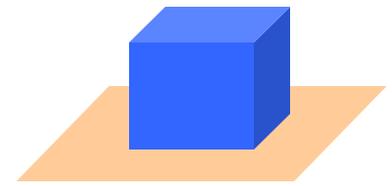


$\lambda = 22$ мм. Численный расчет vs экспериментальные измерения



*Средняя яркостная температура
(первый параметр Стокса)
и разность (второй параметр Стокса Q)
излучения дождевых осадков в зависимости от
интенсивности (13.3 ГГц)*

$\lambda = 22$ мм. Численный расчет vs экспериментальные измерения



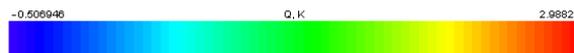
Средняя яркостная температура (первый параметр Стокса) и разность (второй параметр Стокса Q) излучения дождевых осадков в зависимости от интенсивности (13.3 ГГц)

Распределение интенсивности и поляризации теплового радиоизлучения по поверхности ячейки $\lambda=3$ мм $R = 20$ мм/ч

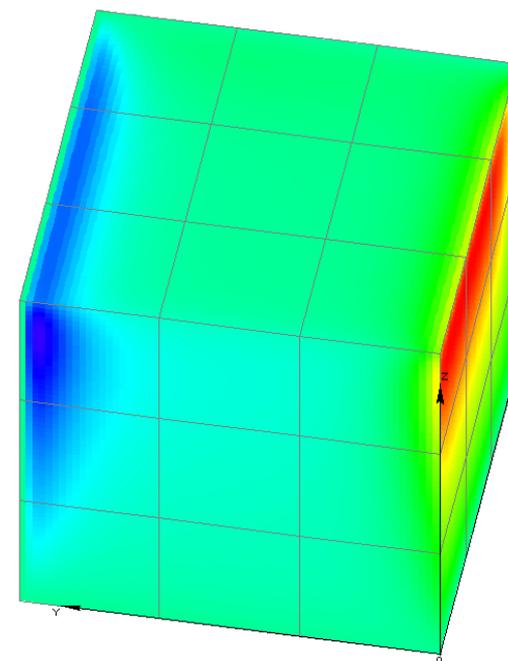
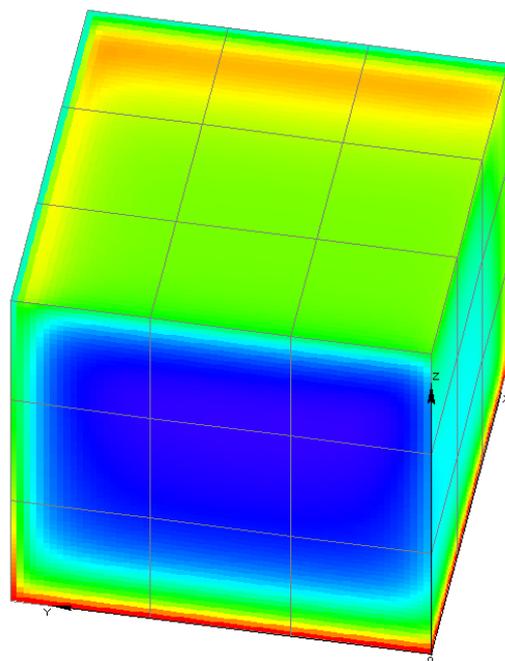
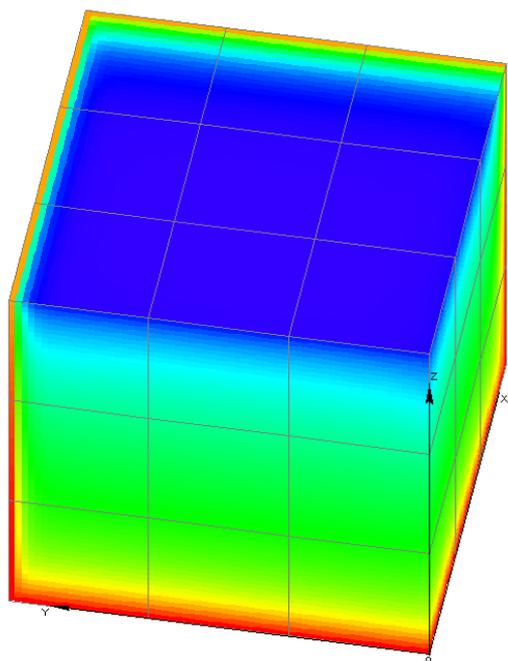
I. K



Q. K



U. K



Наклонная ориентация осей сфероидальных дождевых капель

684

KUTUZA ET AL.: PASSIVE POLARIMETRY

B. G. Kutuza, G. K. Zagorin, A. Hornbostel and A. Schroth
Physical modeling of passive polarimetric microwave observations
of the atmosphere with respect to the third Stokes parameter
Radio Science Vol. 33(3), pp. 677-695, 1998

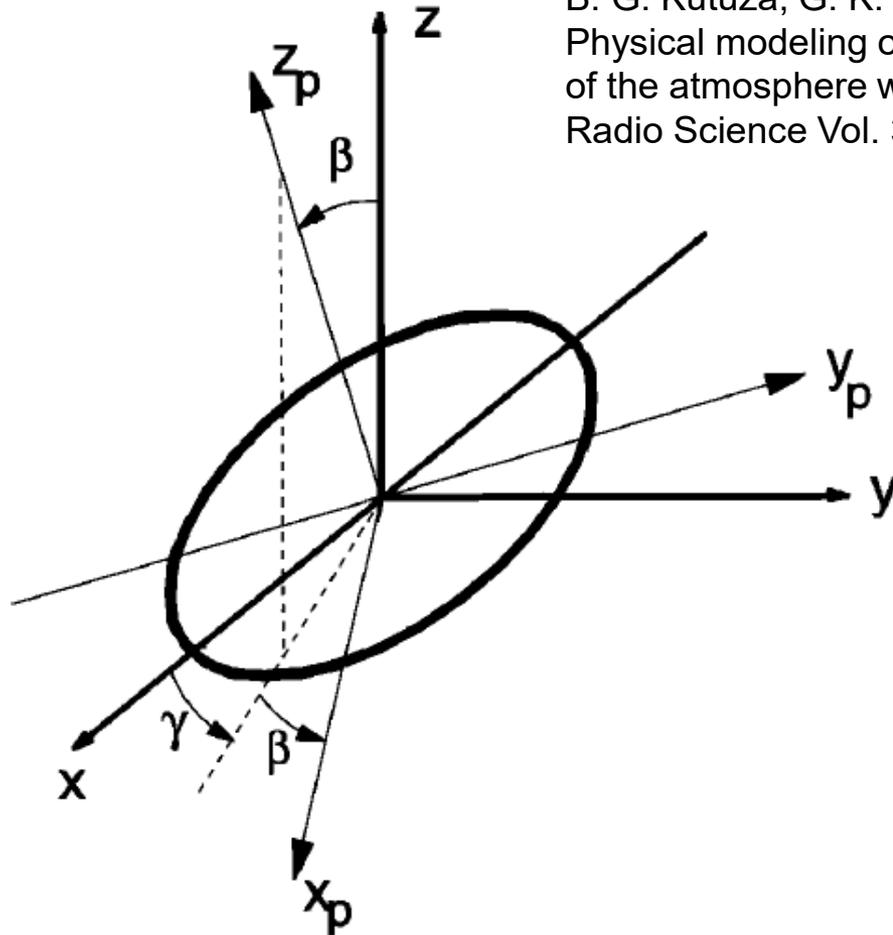


Figure 5. Modeling of a raindrop by an axis-symmetric oblate spheroid and rotation of the coordinate system by Euler transformation.

Наклонная ориентация осей сфероидальных дождевых капель

Evtushenko et al. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol. 38, No. 4, 2002, pp. 470–476.

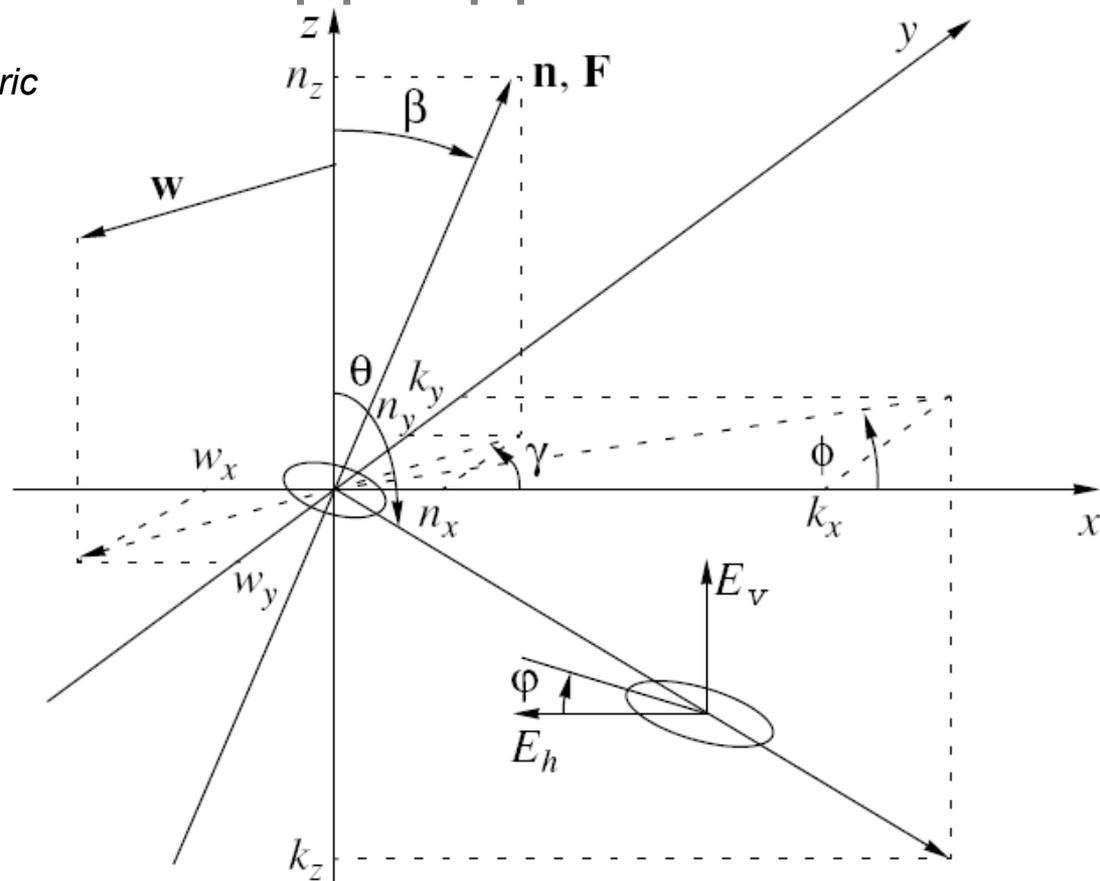


Fig. 1. Geometrical relationships appearing in the description of the raindrop orientation and the polarization ellipsis orientation of rain microwave radiation observed from the ground.

Экспериментальные наблюдения поляризации теплового радиоизлучения дождевых осадков

*Evtushenko et al. Izvestiya, Atmospheric
and Oceanic Physics, Vol. 38, No. 4,
2002, pp. 470–476.*

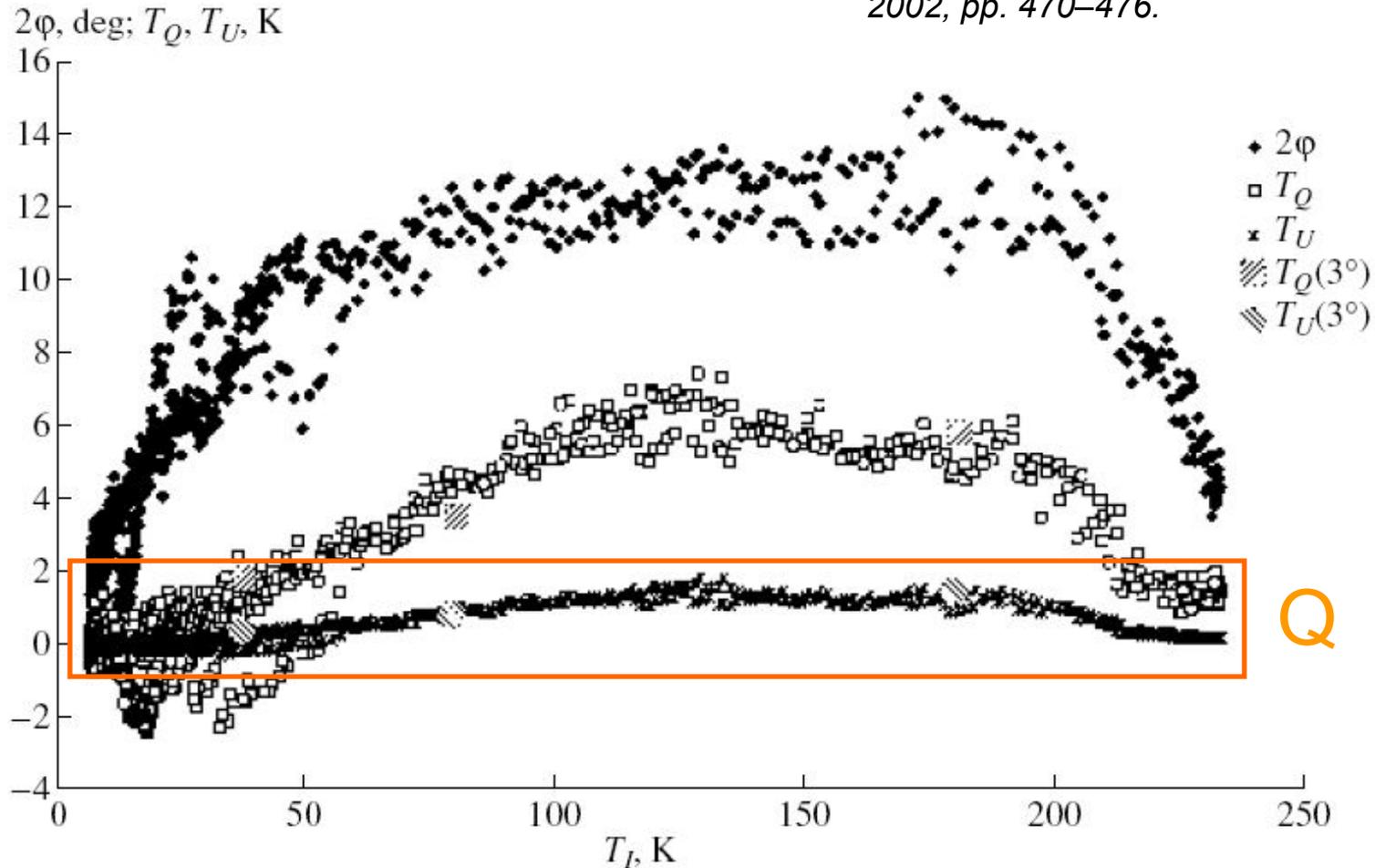


Fig. 6. Doubled orientation angle and the second and third Stokes parameters vs. the second Stokes parameter and comparison with the simulation for raindrops with an inclination angle of 3° .

Экспериментальные наблюдения поляризации теплового радиоизлучения дождевых осадков. Угол наклона плоскости поляризации излучения ϕ

DETERMINATION OF THE STOKES VECTOR OF THE MICROWAVE RADIATION

475

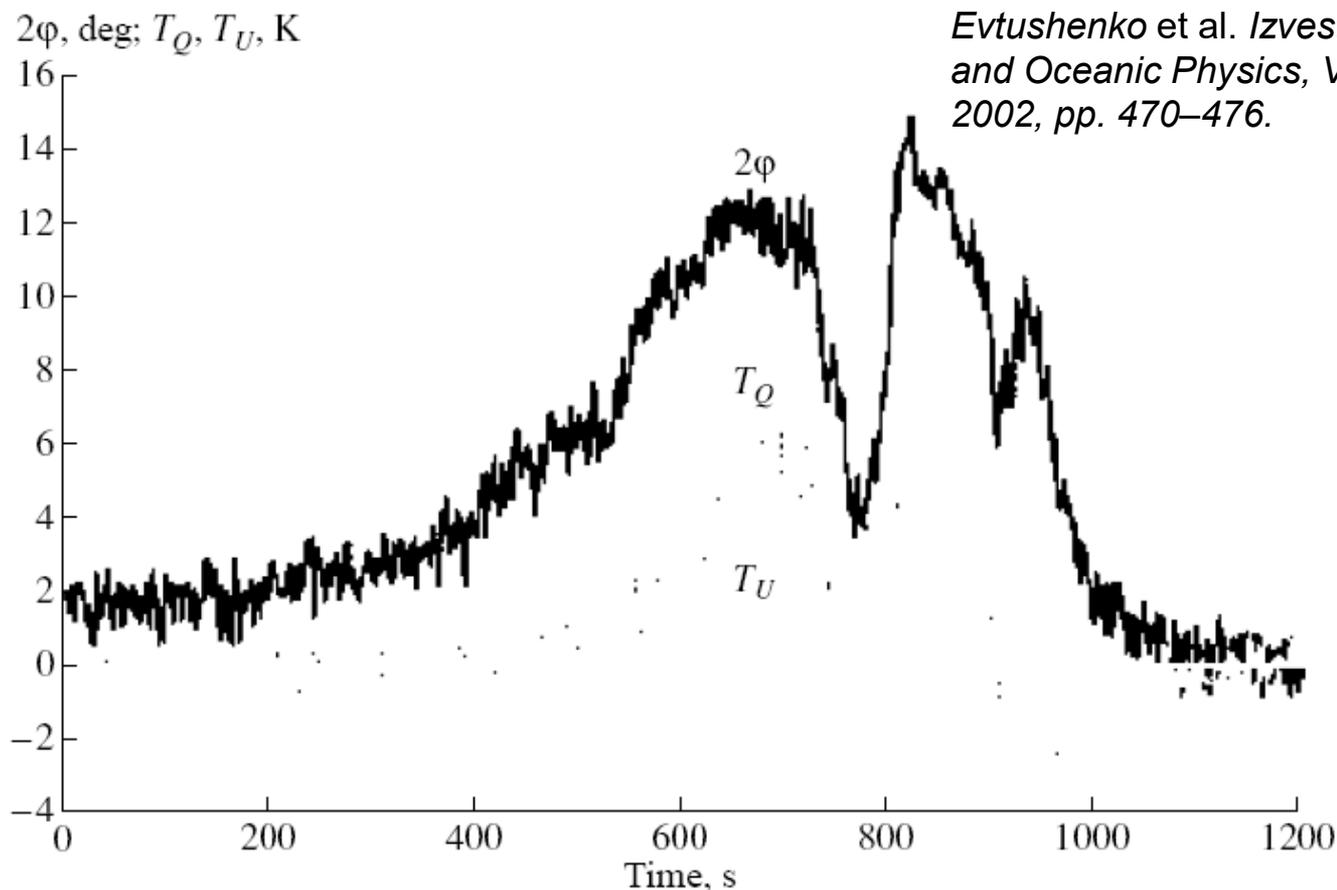


Fig. 5. Temporal behaviors of the second and third Stokes parameters and the doubled orientation angle of the polarization ellipsis of the rain downward microwave radiation.

Численное моделирование поляризации теплового радиоизлучения осадков

472

EVTU: 474

EVTUSH

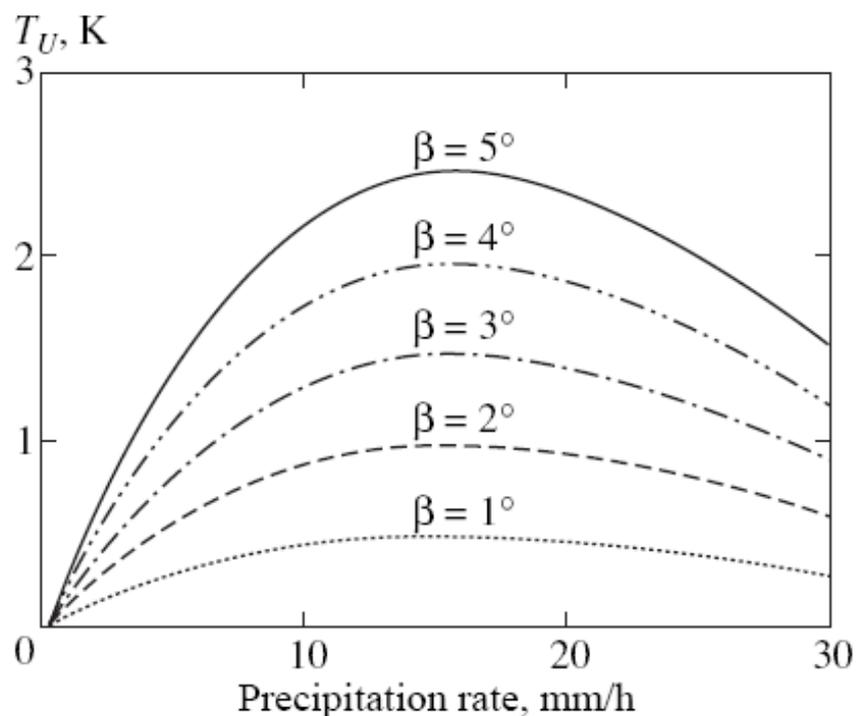


Fig. 2. Third Stokes' parameter of the downward radiation observed from the ground at a frequency of 13.3 GHz at a zenith angle of 30° as a function of precipitation rate for different angles of drop inclination β .

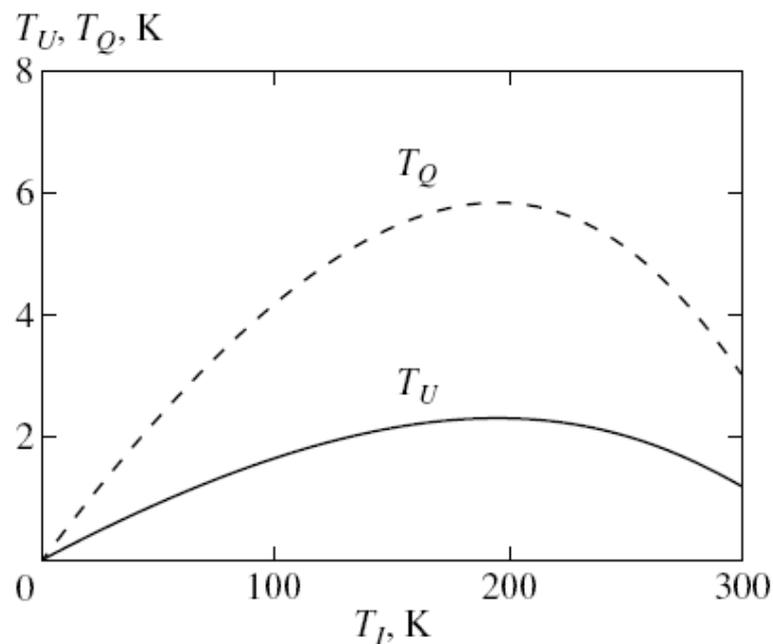


Fig. 3. Second and third Stokes' parameters T_Q and T_U as functions of the first Stokes parameter T_I for $\beta = 5^\circ$.

T_Q and T_U as functions of the first Stokes parameter T_I for the above observation conditions at $\beta = 5^\circ$.

Численное моделирование поляризации радиотеплового излучения осадков

Tb

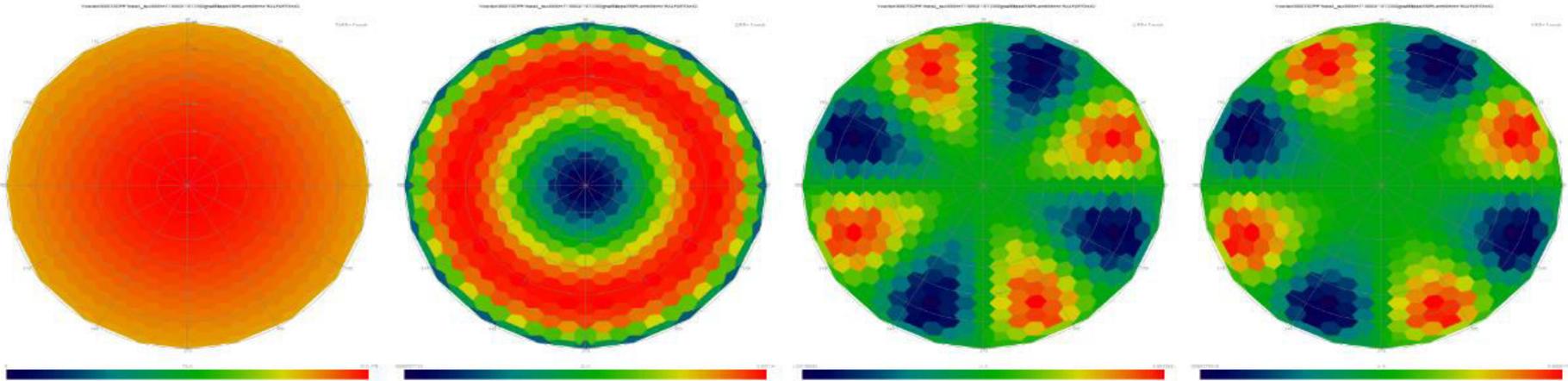
Q

U

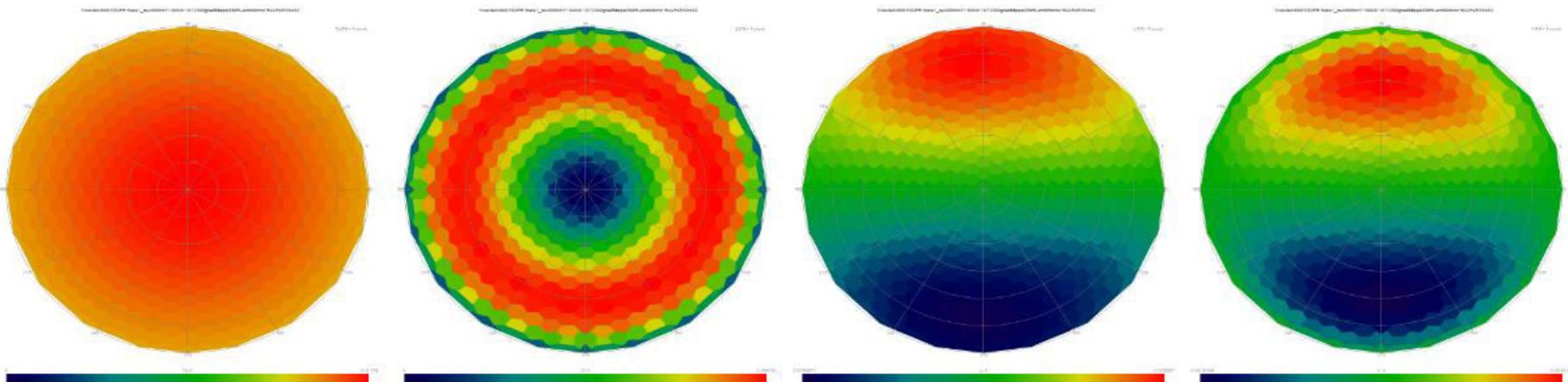
V

Восходящее излучение. $\lambda = 3$ мм. Ориентация осей капель $\alpha = \gamma = 0$, $\beta = \beta$.

$\beta = 0^\circ$



$\beta = 1^\circ$



$\beta = 2^\circ$

Численные расчеты поляризации восходящего излучения. $\lambda = 8$ мм

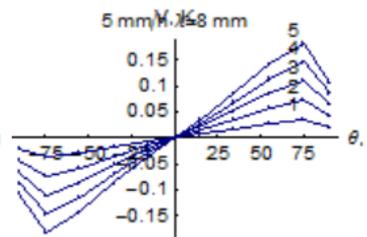
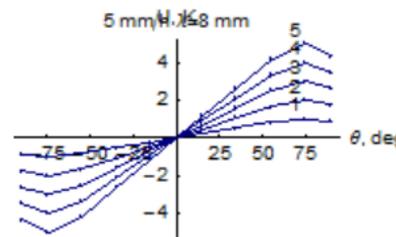
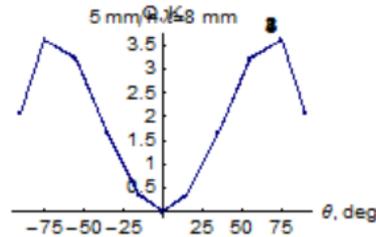
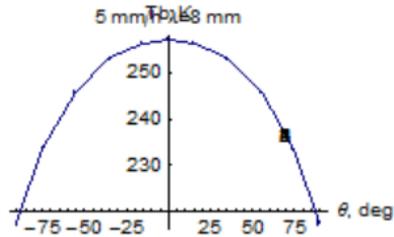
T_b

Q

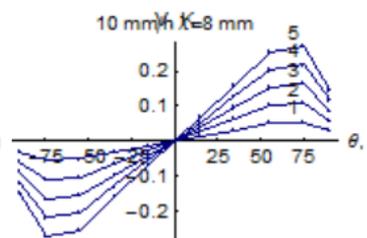
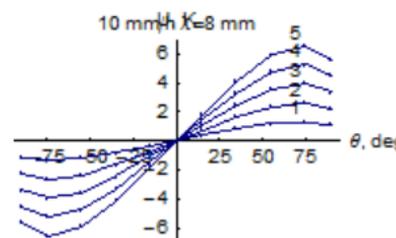
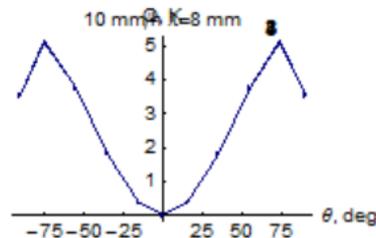
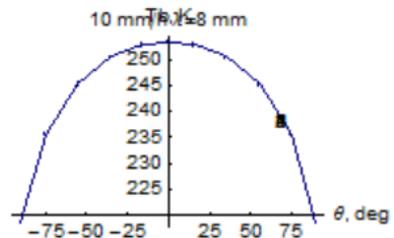
U

V

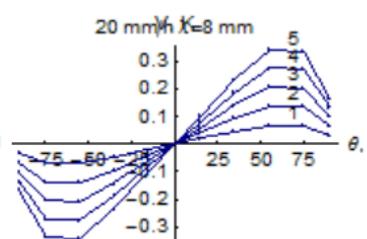
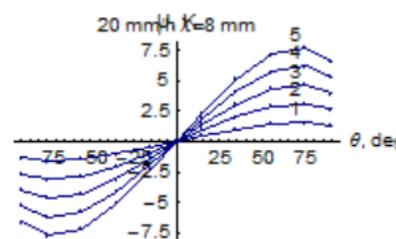
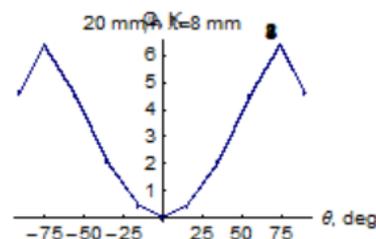
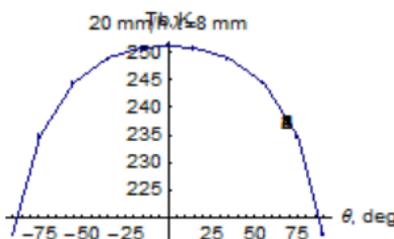
**5
mm/h**



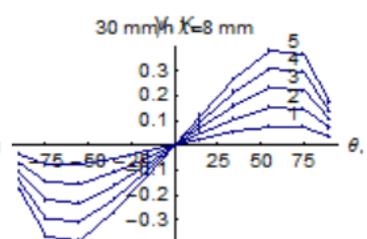
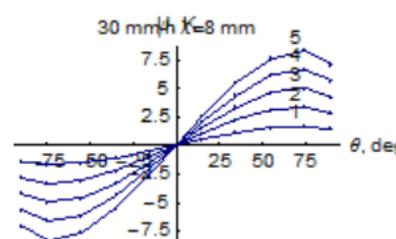
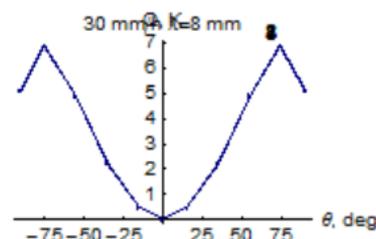
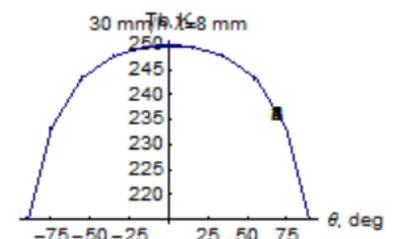
**10
mm/h**



**20
mm/h**



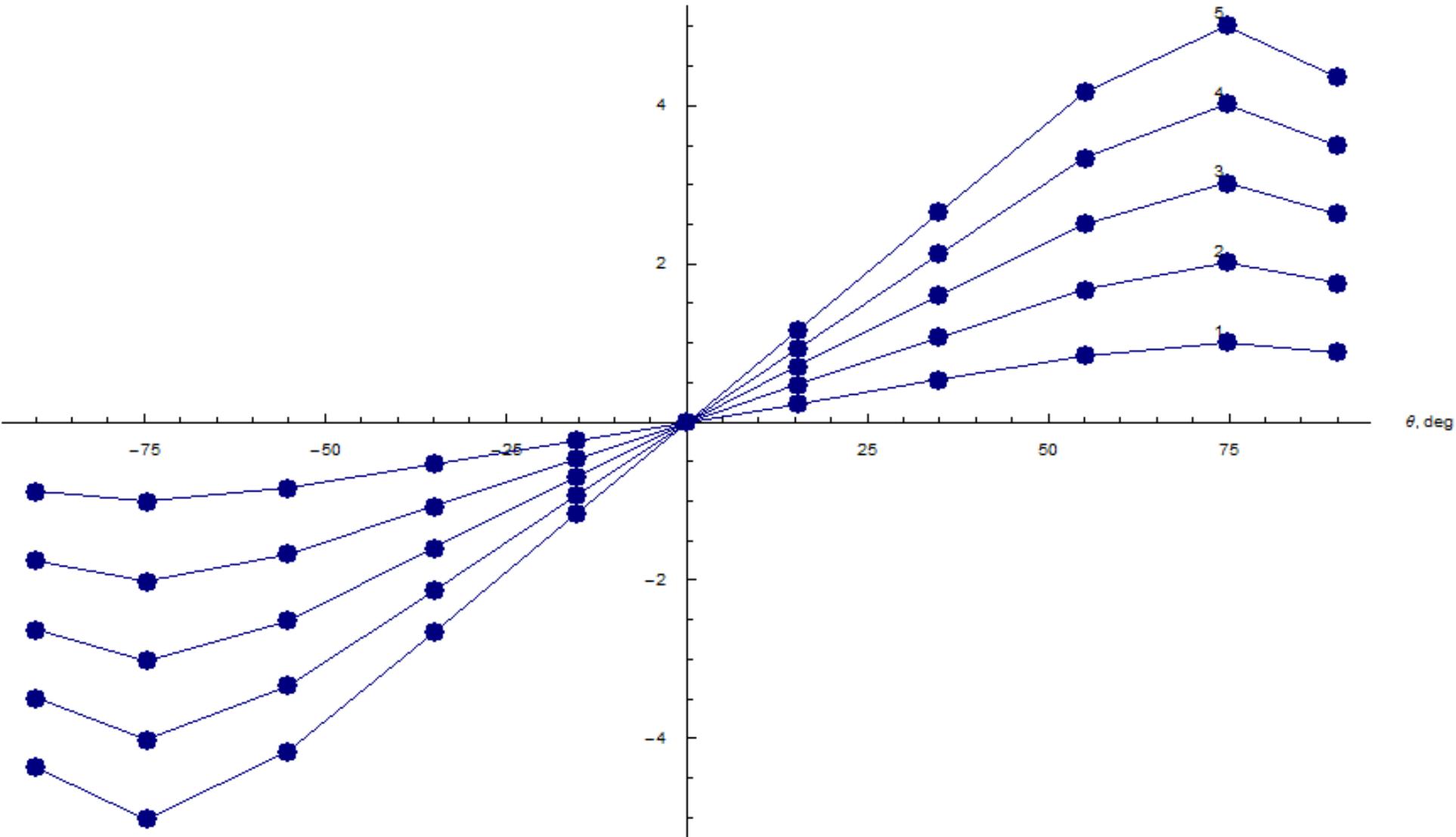
**30
mm/h**



Третий параметр Стокса U.

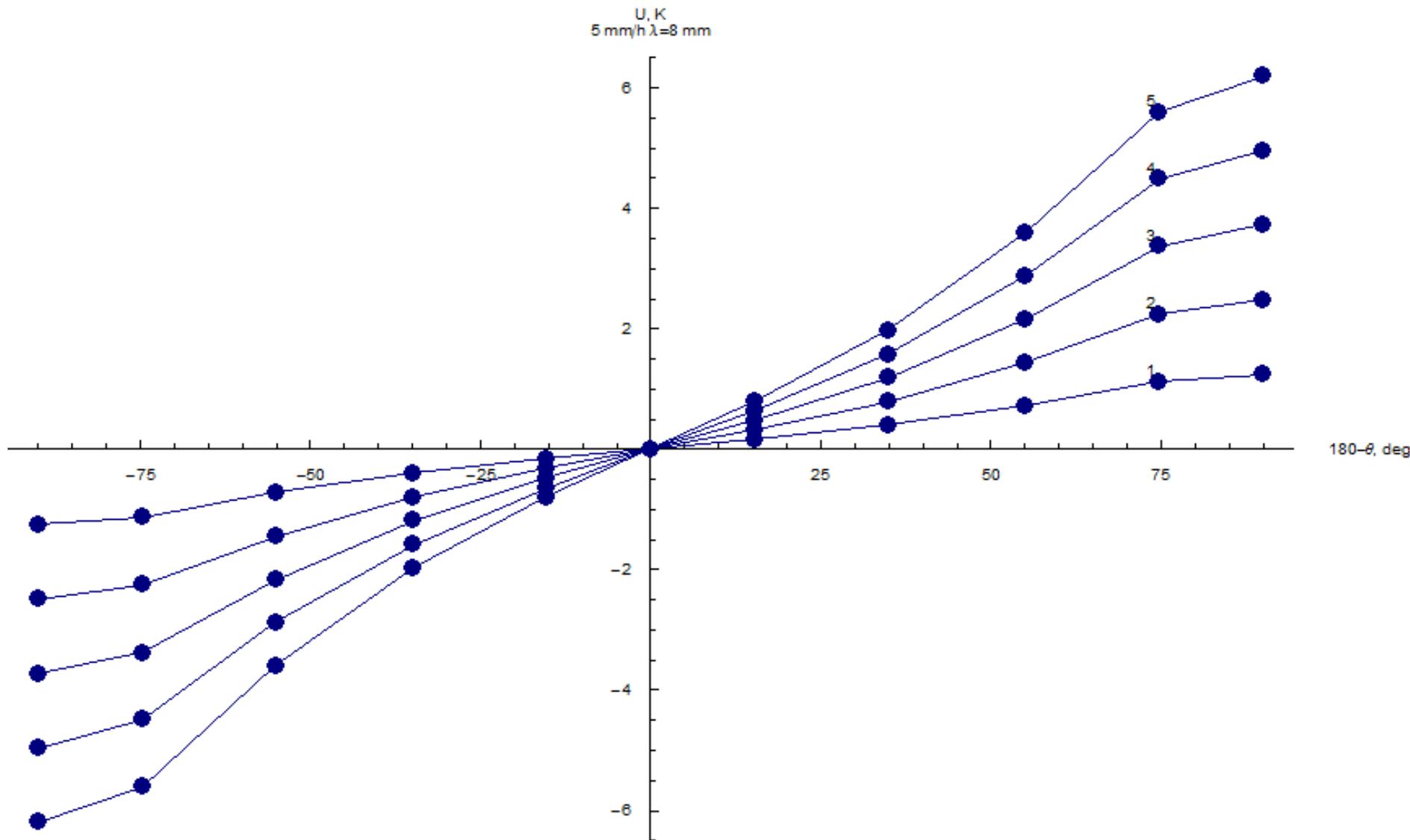
5 мм/ч, $\lambda = 8$ мм, восходящее излучение

U, K
5 мм/ч $\lambda=8$ мм



Третий параметр Стокса U.

5 мм/ч, $\lambda = 8$ мм, нисходящее излучение



Any questions

??

