

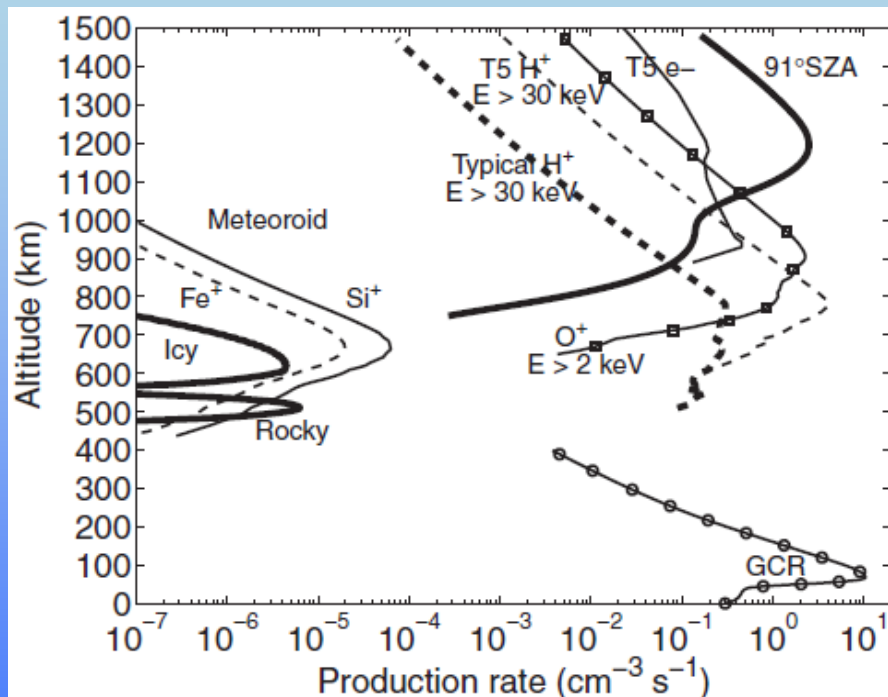
**Исследование кинетики  
электронно-возбужденного  
молекулярного азота  
в средней атмосфере Титана**

**Кириллов А.С.**

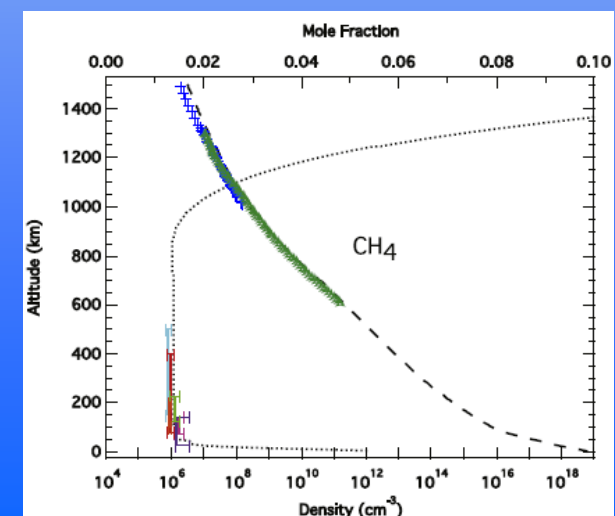
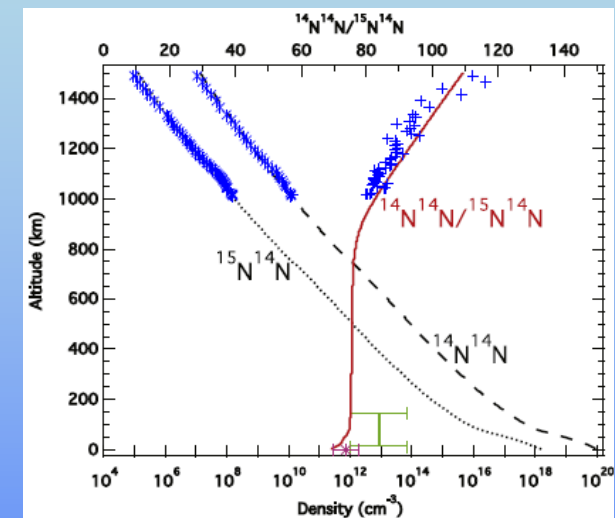
*Полярный геофизический институт, Апатиты*

# Ion production rates in Titan's atmosphere

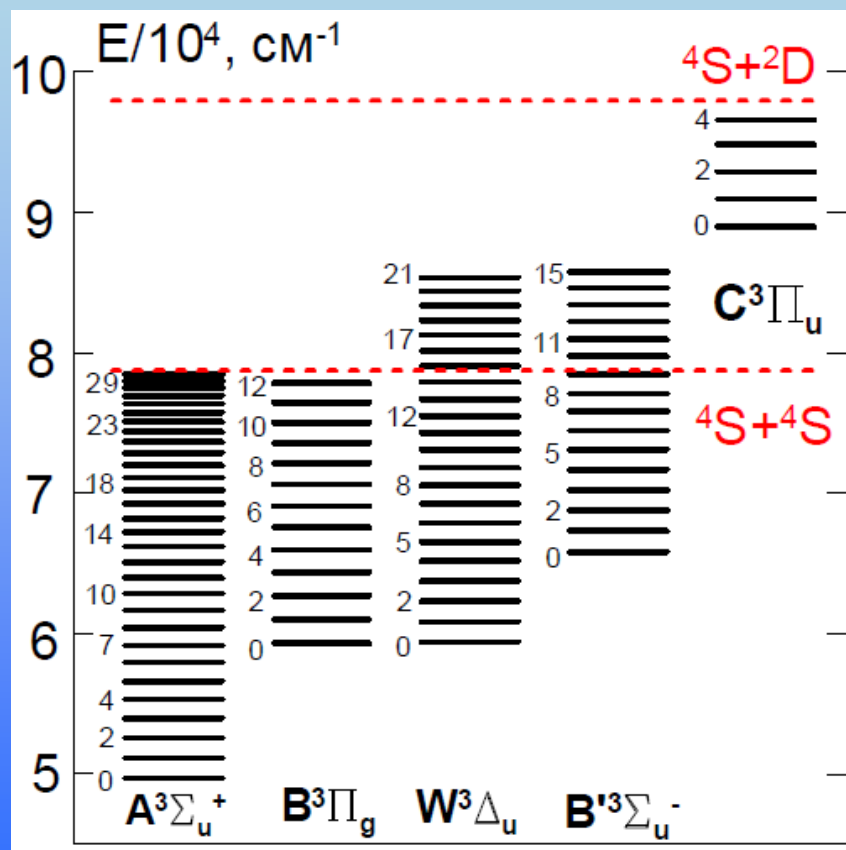
[Galand et al., 2014, Titan: Interior, Surface, Atmosphere and Space Environment, Chap.11] and profiles of  $N_2$  and  $CH_4$  concentrations [Vuitton et al., 2019, Icarus, v.324, p.120]



XUV solar radiation with a SZA of 91° (thick, solid line);  
magnetospheric electrons (thin, solid line);  
magnetospheric protons (dashed lines);  
magnetospheric oxygen ions (squares);  
galactic cosmic rays (circles).

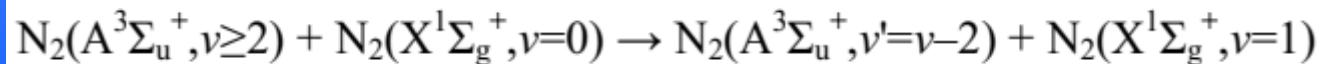
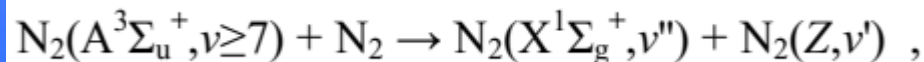
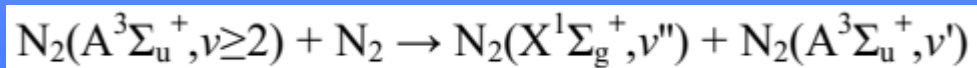
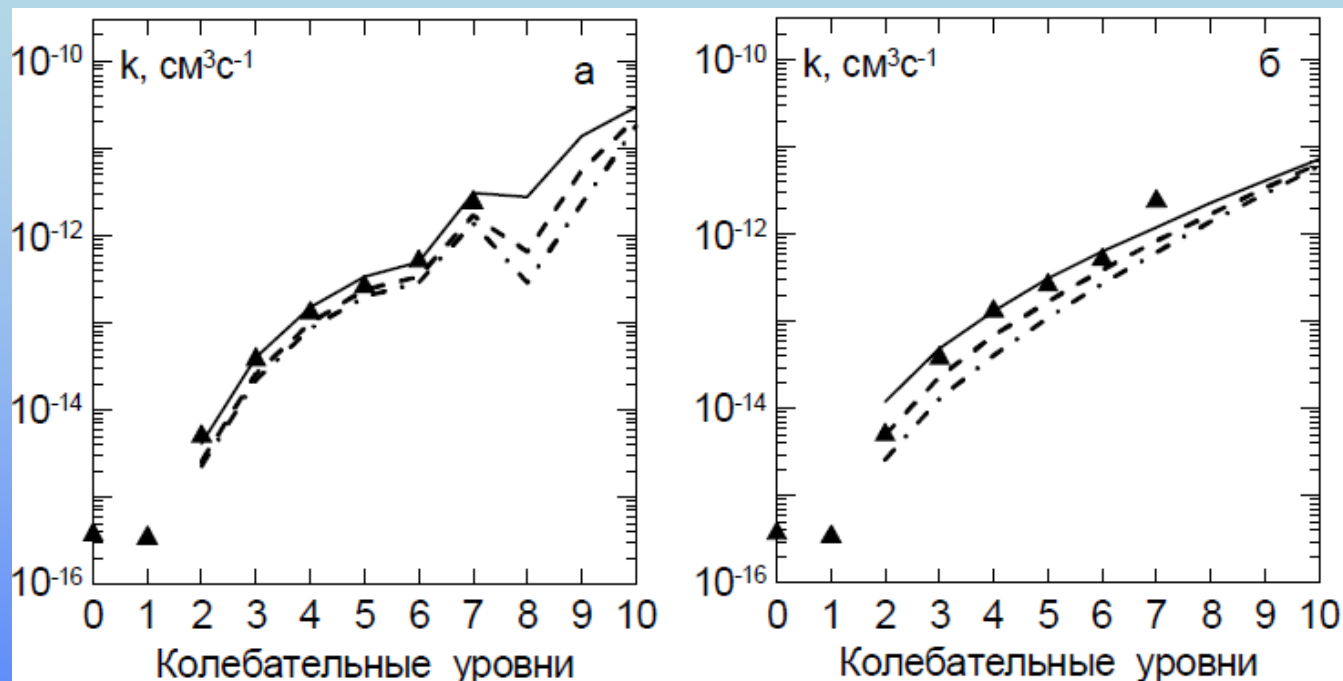


# Схема колебательных уровней триплетных состояний молекулярного азота



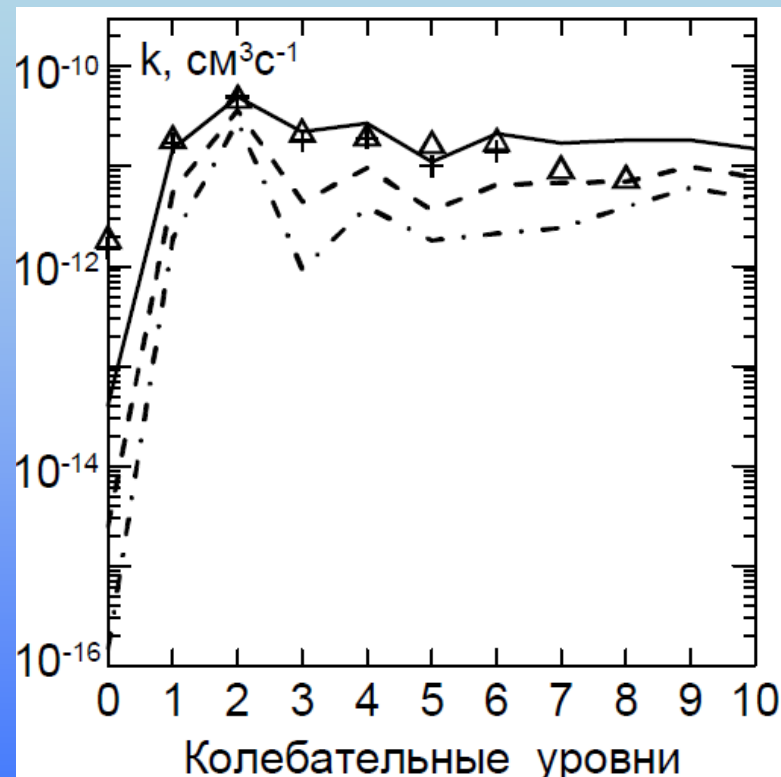
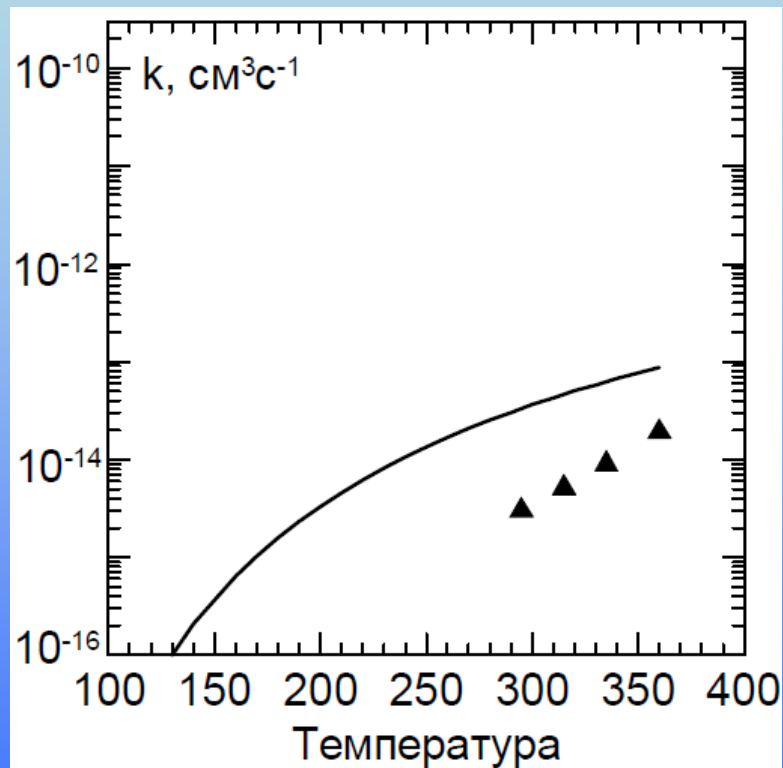
Проведено исследование кинетики триплетных состояний  $A^3\Sigma_u^+$ ,  $B^3\Pi_g$ ,  $W^3\Delta_u$ ,  $B'^3\Sigma_u^-$ ,  $C^3\Pi_u$  молекулярного азота на высотах средней атмосферы Титана во время высыпания в атмосферу космических лучей. В расчетах учитывается внутримолекулярный и межмолекулярный перенос энергии электронов при неупругих столкновениях электронно-возбужденного молекулярного азота с молекулами  $N_2$ ,  $CH_4$  и  $CO$ .

# Рассчитанные константы скоростей $N_2(A^3\Sigma_u^+, v=2-10)+N_2$ согласно [Kirillov, 2016, Chem. Phys. Lett.] (слева) и [Popov, 2013, J. Phys. D] (справа)



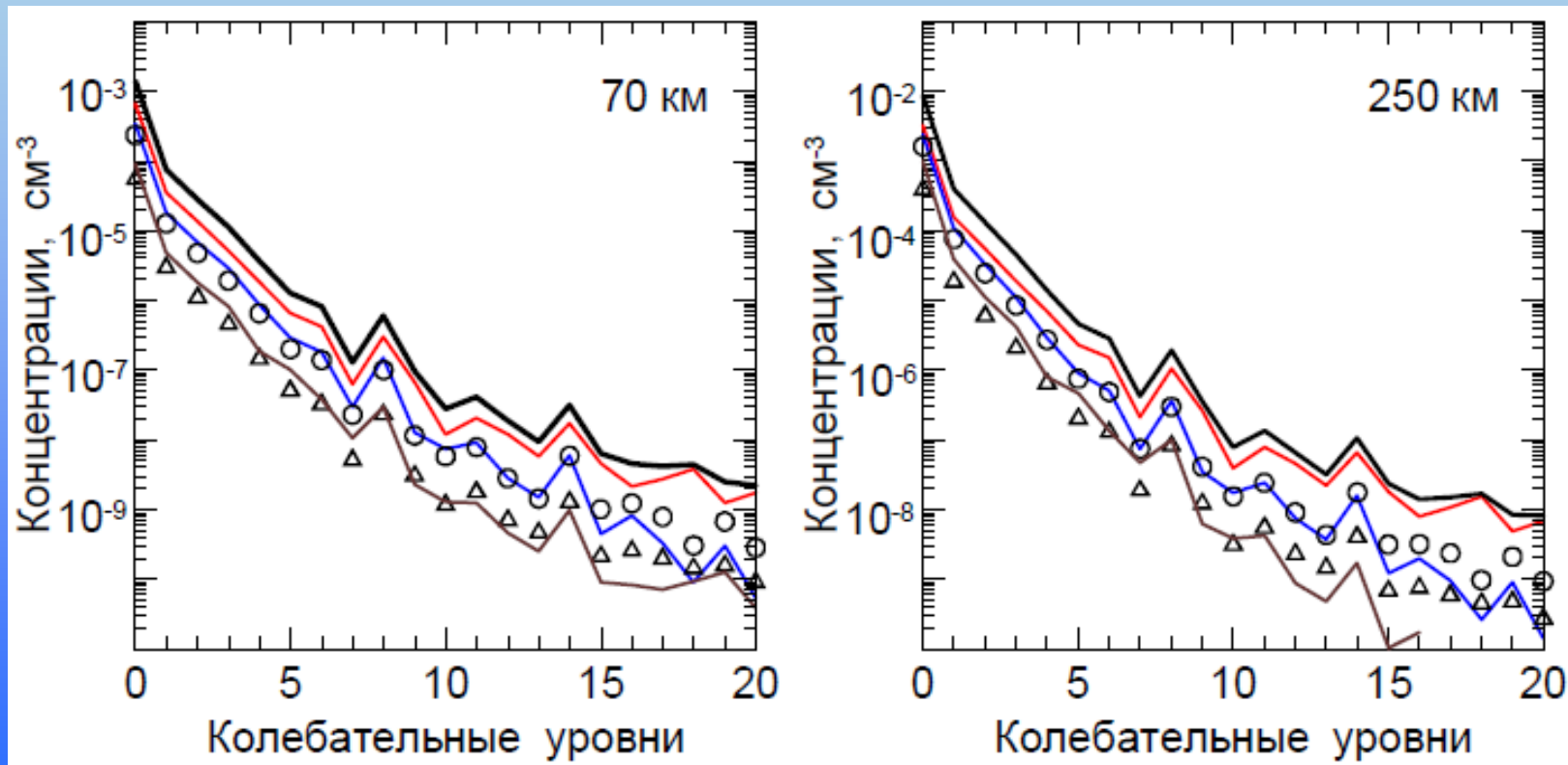
T=120 K – штрих-пунктиры  
 T=180 K – штрихи  
 T=300 K – сплошные линии  
 экспер. значения – треугольники

**Рассчитанные константы скоростей  $N_2(A^3\Sigma_u^+, v=0)+CH_4$  согласно [Sharipov et al., 2016, J. Phys. Chem. A] (слева) и для  $N_2(A^3\Sigma_u^+, v=0-10)+CO$  согласно [Kirillov, 2016, Chem. Phys. Lett.] (справа)**

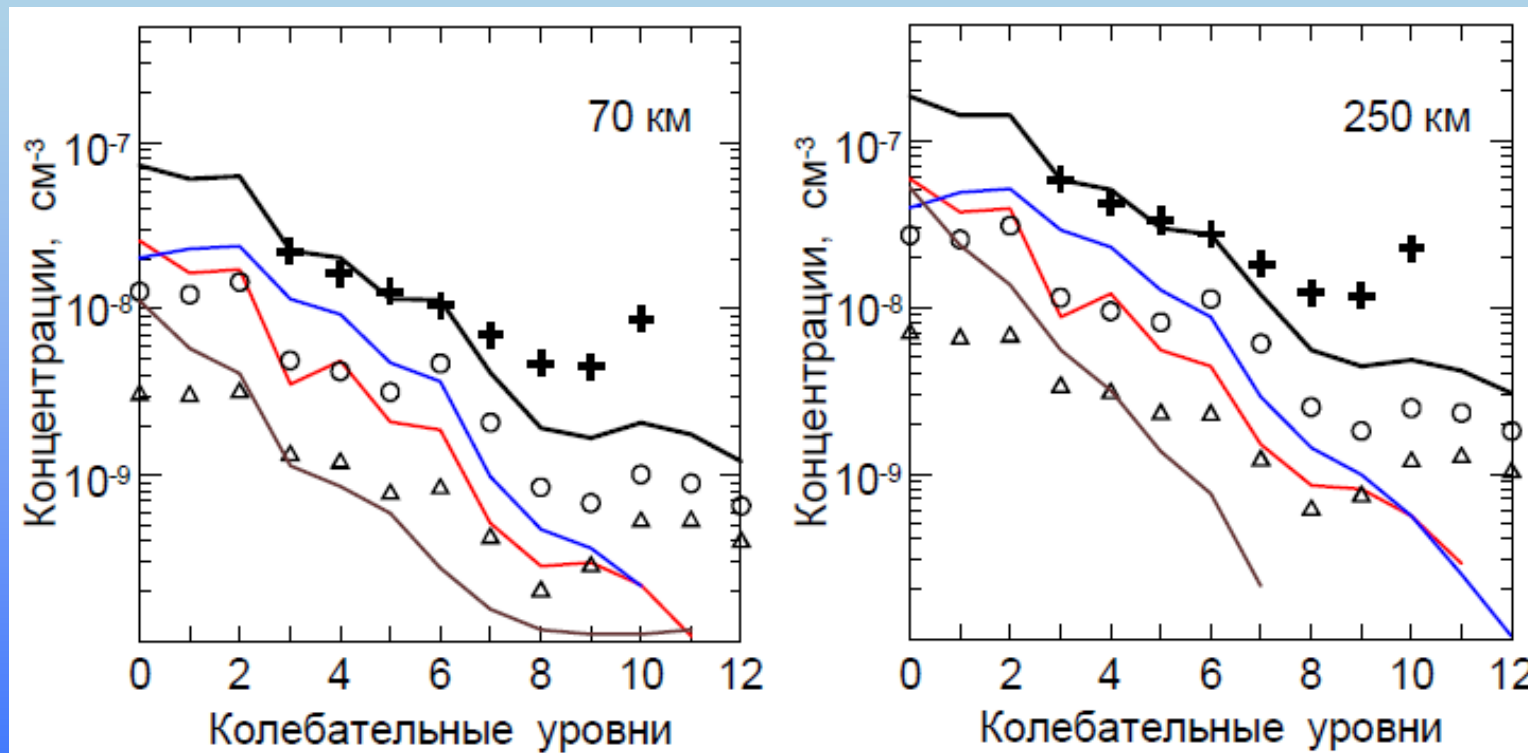


T=120 K – штрих-пунктиры  
T=180 K – штрихи  
T=300 K – сплошные линии  
экспер. значения – треугольники, крестики

**Рассчитанные концентрации  $N_2(A, v=0-20)$   
на высотах 70 и 250 км атмосферы Титана.  
Цветные линии и значки – вклады состояний A, V, W, V', C.  
Сплошные черные линии – сумма вкладов.**

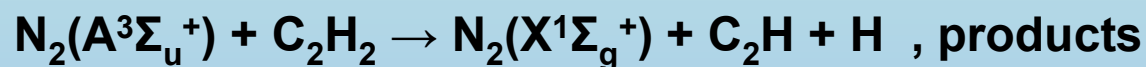


**Рассчитанные концентрации  $N_2(v=0-12)$   
на высотах 70 и 250 км атмосферы Титана.  
Цветные линии и значки – вклады состояний А, В, W, В', С.  
Сплошные черные линии – сумма вкладов.**

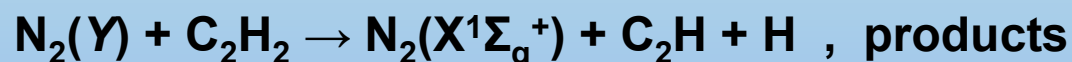


Крестики – экспериментальные значения [Jauberteau, Jauberteau, 2018, J. Phys. D] для лабораторного разряда в смеси  $N_2$ - $CH_4$ .

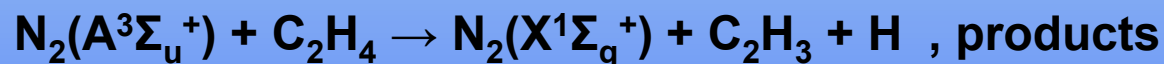
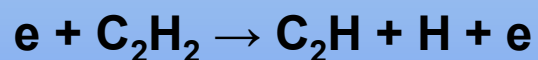
# Процессы образования радикалов C<sub>2</sub>H и C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>



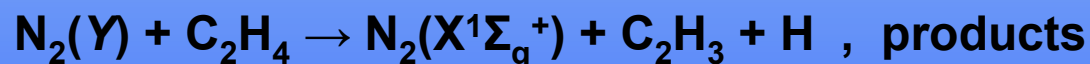
$k=1.4 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$ , Umemoto (2007), Dutuit et al. (2013)



$\text{Y} = \text{B}^3\Pi_g, \text{W}^3\Delta_u, \text{B}'^3\Sigma_u^-, \text{C}^3\Pi_u$



$k=0.97 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$ , Umemoto (2007), Dutuit et al. (2013)

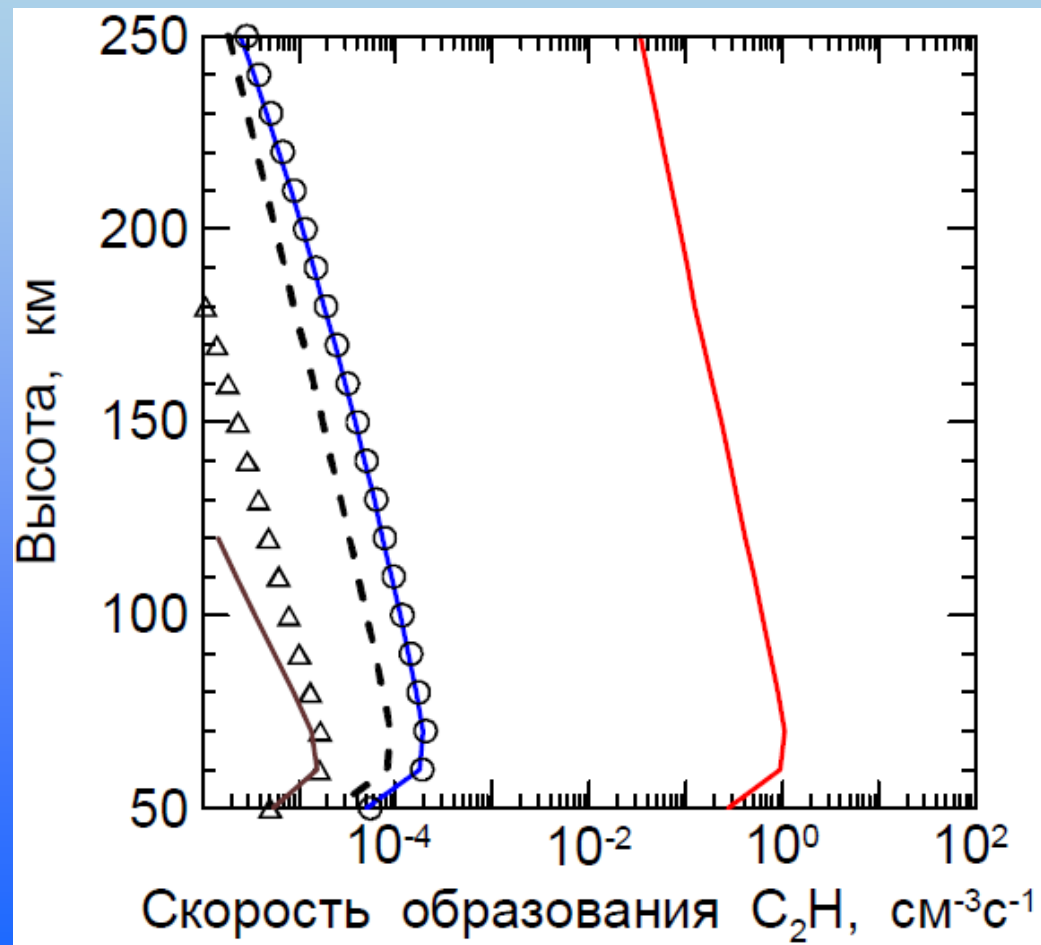


$\text{Y} = \text{B}^3\Pi_g, \text{W}^3\Delta_u, \text{B}'^3\Sigma_u^-, \text{C}^3\Pi_u$

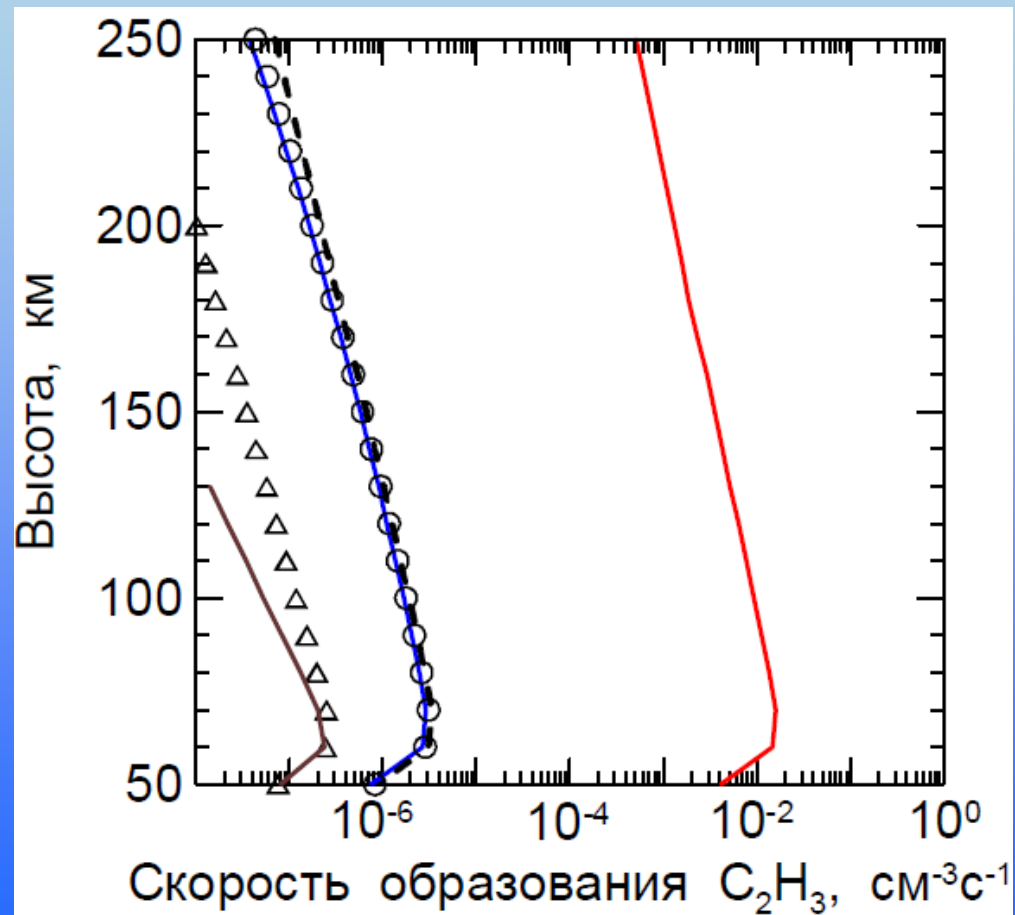




**Рассчитанные скорости образования  $C_2H$  на высотах 50-250 км атмосферы Титана при столкновении  $N_2(A, B, W, B', C)$  с молекулой ацетилена  $C_2H_2$ .  
Пунктирные линии – вклад процесса  $e + C_2H_2$ .**



**Рассчитанные скорости образования  $C_2H_3$  на высотах 50-250 км атмосферы Титана при столкновении  $N_2(A, B, W, B', C)$  с молекулой этилена  $C_2H_4$ .  
Пунктирные линии – вклад процесса  $e + C_2H_4$ .**



# ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Рассмотрена электронная кинетика триплетных состояний  $A$ ,  $B$ ,  $W$ ,  $B'$ ,  $C$  молекулярного азота  $N_2$  в средней атмосфере Титана на высотах 50-250 км при высыпании в атмосферу космических лучей. В расчетах учитываются внутримолекулярные и межмолекулярные переносы энергии электронов при неупругих столкновениях электронно-возбужденного молекулярного азота с молекулами  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ .
2. Приведены рассчитанные концентрации метастабильного азота  $N_2(A, v=0-20)$  и электронно-возбужденного  $N_2(B, v=0-12)$  на высотах 70 и 250 км средней атмосферы Титана.
3. Исследовано взаимодействие электронно-возбужденных молекул  $N_2$  с молекулами ацетилена  $C_2H_2$  и этилена  $C_2H_4$  в средней атмосфере Титана на высотах 50-250 км. Впервые показано доминирование реакций метастабильного молекулярного азота  $N_2(A)$  в образовании радикалов  $C_2H$  и  $C_2H_3$ .

Работа поддержана грантом № 075-15-2020-780  
Министерства науки и высшего образования РФ