

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ П.К. ШТЕРНБЕРГА**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФРАКРАСНОЙ  
КАМЕРЫ  
ПРИ РАБОТЕ В СПЕКТРАЛЬНОМ РЕЖИМЕ**

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Наблюдения</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Обработка данных</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Итог</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Приложение</b>	<b>6</b>

# 1 Введение

Основной задачей данной работы является определение эффективности инфракрасной камеры прибора ASTRONIRCAM при работе в спектральном режиме.

ASTRONIRCAM - это криогенно-охлаждае-мый щелевой спектрограф на спектральную область 1-2.5 мкм, установленный в фокусе Нэсмита<sup>1</sup> 2.5-м телескопа Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова. При работе в спектроскопическом режиме прибор позволяет получать спектры протяжённых и точечных астрономических объектов с разрешающей силой  $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \leq 1200$ .

Подробнее про принцип и особенности работы прибора ASTRONIRCAM можно прочесть в [1].

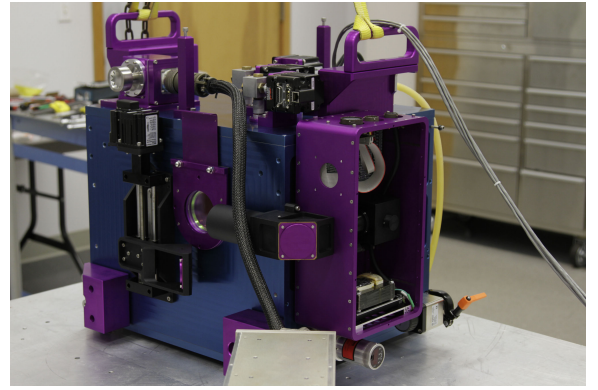


Рис. 1: Внешний вид устройства ASTRONIRCAM.

## 2 Наблюдения

Первым этапом выполнения задачи являлось получение спектров исследуемой звезды HIP85382 спектрального класса A0V. Наблюдения проводились с использованием двух щелей STIT6 и SLIT7 в фотометрических фильтрах: YOS, JOS, H и K. Результаты наблюдений представлены на Рис. 2, Рис. 3 и Рис 4.

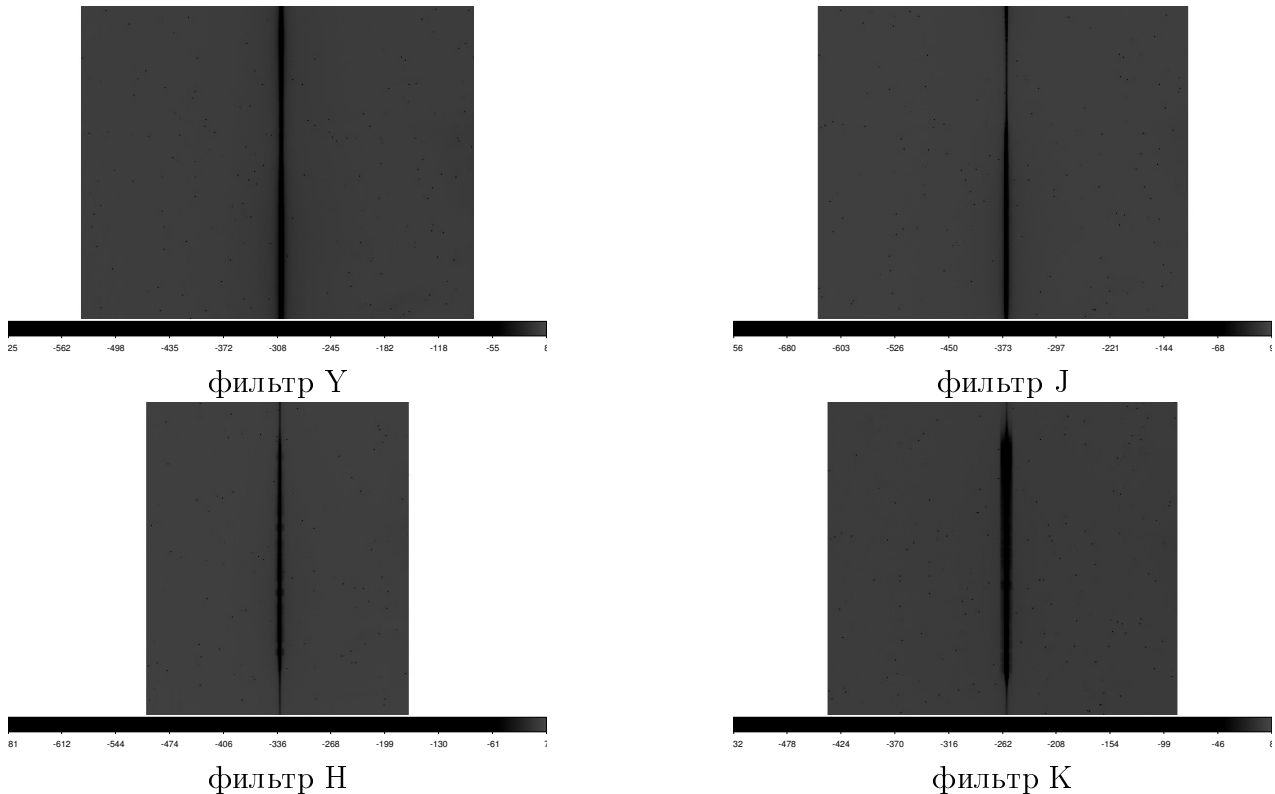


Рис. 2: Спектры звезды с использованием спектральной щели SLIT6.

<sup>1</sup>Система Нэсмита - это трехзеркальная модификация системы Кассегрена, в которой внутри трубы телескопа между главным и вторичным зеркалами установлено диагональное зеркало для отбрасывания изображения вбок. Таким образом, фокус телескопа, называемый фокусом Несмита, находится сбоку трубы. Такая оптическая схема позволяет нагружать телескоп громоздким наблюдательным оборудованием, без разбалансирования трубы.

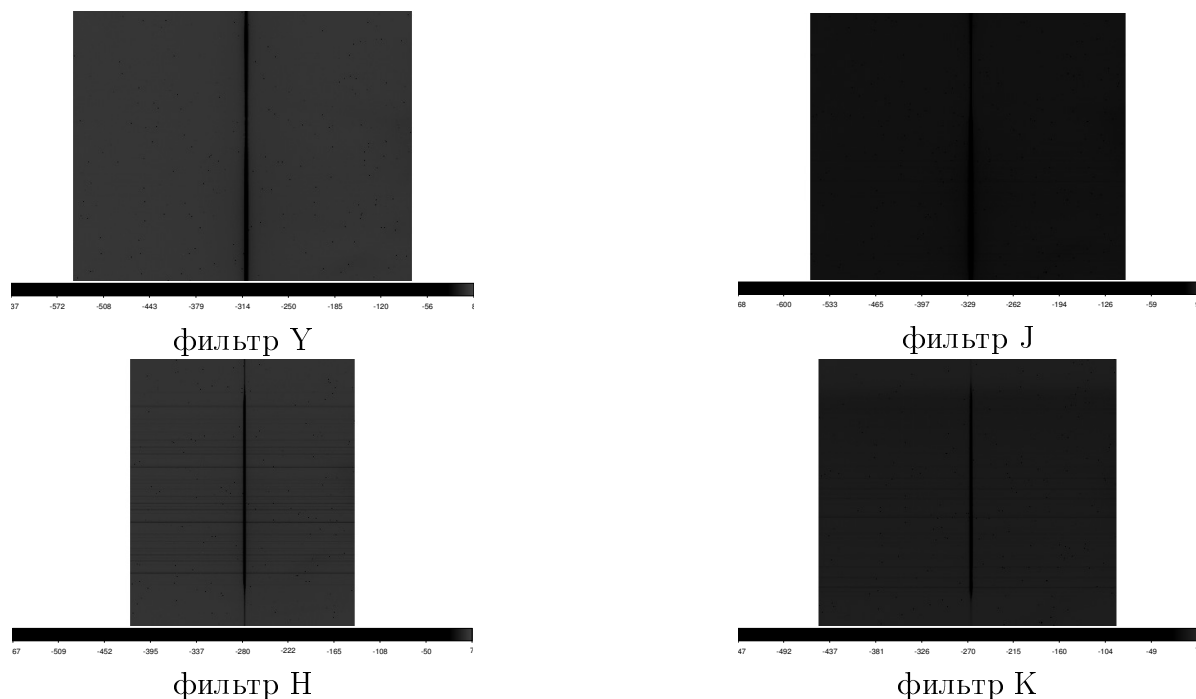


Рис. 3: Спектры звезды с использованием спектральной щели SLIT7 (с атмосферными полосами).

Наличие атмосферных полос на SLIT7 объясняется наличием рассеянного в атмосфере света. Как можно заметить данные полосы в первом приближении прямые и можно пренебречь их кривизной. Следовательно путём несложных операций по вычитанию от них можно избавиться. И в результате имеем:

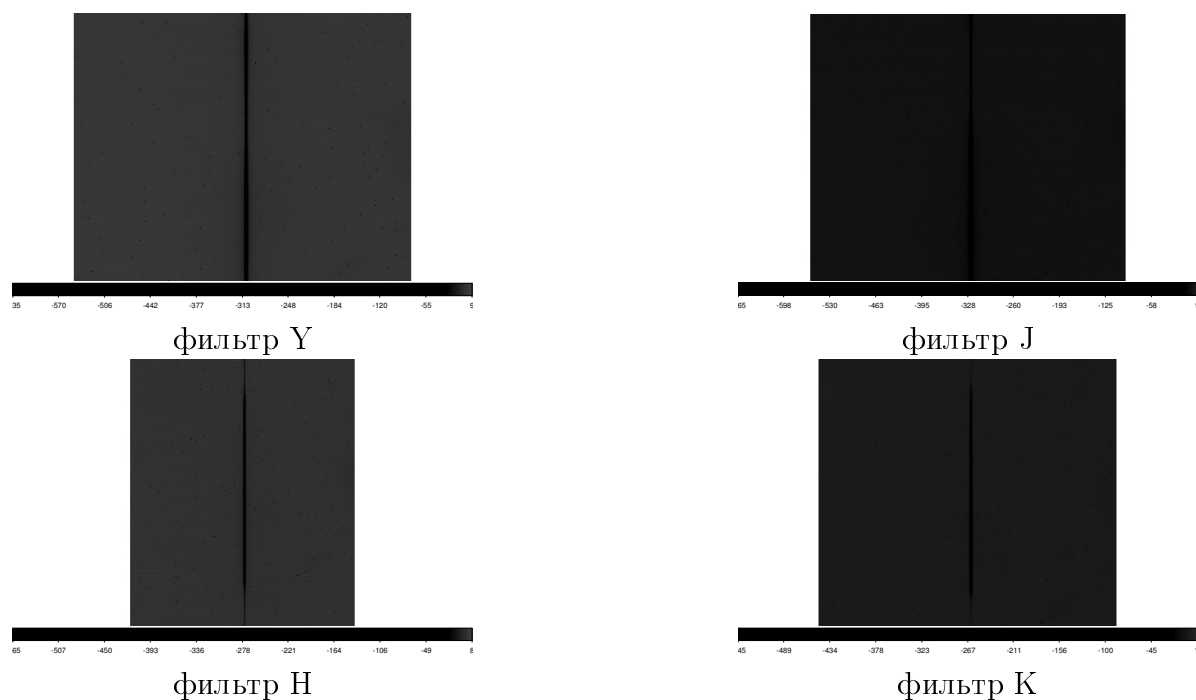


Рис. 4: Спектры звезды с использованием спектральной щели SLIT7 (без атмосферных полос).

Полученные в результате обработки фотографий спектры мы будем использовать для нахождения величины эффективности системы атмосфера+телескоп+камера.

### 3 Обработка данных

Для обработки данных необходим стандарт спектра звезды класса  $A0V$ , чтобы сравнить с данным эталоном вне атмосферы наши экспериментально полученные данные. В качестве такого был взят следующий спектр звезды  $\alpha Lyr$  из библиотеки[2]. Данный спектр был дан в относительных единицах, но зная потоки веги в различных фильтрах и кривые пропускания фильтров можно получить поток от Веги в  $\frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см}}$ .

$$\begin{aligned} E_Y &= 5.81 \cdot 10^{-2} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см}} \\ E_J &= 3.14 \cdot 10^{-2} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см}} \\ E_H &= 1.20 \cdot 10^{-2} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см}} \\ E_K &= 0.412 \cdot 10^{-2} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см}} \end{aligned}$$

Также нужно учесть время выдержки изображения  $\tau$  и что  $S_{mirror} = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$ , где  $d = 2,5\text{м}$  - диаметр главного зеркала. Тогда нормируя на  $h\nu_i$  мы получим спектр  $\alpha Lyr$  в  $\frac{N_{ph}}{\Delta\lambda}$ , т.е. мы получили для  $\alpha Lyr$  зависимость числа фотонов, падающих на границу атмосферы площади  $S_{mirror}$ , за время выдержки  $\tau$ , в единичном спектральном интервале длин волн  $\Delta\lambda$  в зависимости от длины волны. Используя формулу Погсона  $\Delta m_i = -2,5 \lg \frac{E_{HIP85382_i}}{E_{Vega_i}}$  и зная звёздные величины звезды HIP85382 в фильтрах находим коэффициент связывающий имеющийся у нас спектр для Веги и спектр нашей звезды. Для нашей звезды имеем<sup>4</sup>:

$$m_Y = 5.924 \pm 0,025; m_J = 5.901 \pm 0.034; m_H = 5.955 \pm 0.023; m_K = 5.915 \pm 0.017;$$

Домножая спектр веги на постоянную величину

Делая свёртку получившегося спектра с кривыми фильтра Y,J,H,K получим интересующий нас спектр исследуемой звезды в соответствующих фильтрах в единицах  $\frac{N_{ph}}{\Delta\lambda}$ . Эти полученные зависимости мы будем использовать для дальнейшего сравнения с нашими экспериментальными данными.

Из полученных изображений спектра также несложно получить такие же зависимости  $\frac{N_{ph}}{\Delta\lambda}$  в зависимости от длины волны, используя дисперсионные кривые. Заметим что у получившихся спектров в фильтрах Y,J существуют заметные полосы поглощения, происхождение которых можно объяснить линиями поглощения молекулами водяного пара в атмосфере[3]. Соответственно можно интерполировать данные из нашего стандарта на экспериментальные и разделив их мы можем численно оценить значения коэффициента пропускания системы атмосфера+телескоп+камера. В приложении можно найти графики зависимостей коэффициента эффективности для каждого фильтра и разных щелей в отдельности. Пилообразная форма объясняется наличием экстинкции атмосферы. Стоит также отметить что обработка изображений в большей степени зависит от числа выбранных пикселей, которые в дальнейшем и будут представлять собой наш полученный спектр. На данных графиках была сделана выборка в 30px. Данный эффект можно объяснить тем что имеющиеся спектры испорчены влиянием атмосферы, которая была сверхвлажная в дни съёмки, а также не стоит пренебрегать тем эффектом что звезда находилась относительно на небольшой высоте. Как следствие мы имеем, что оценка средней величины эффективности будет осложнена и варьироваться, помимо этого присутствуют ошибки при интерполяции графиков. Однако в данной работе можно ограничиться верхней численной оценкой для каждого из фильтров и соответствующей ей спектральной щели.

<sup>4</sup>На самом деле звёздные величины для звезды спектрального класса A0 одинаковы для всех фильтров с точностью до ошибки поэтому достаточно использовать какой-либо один фильтр при вычислении нормировочной постоянной и перевода спектра Веги в спектр для нашей звезды.

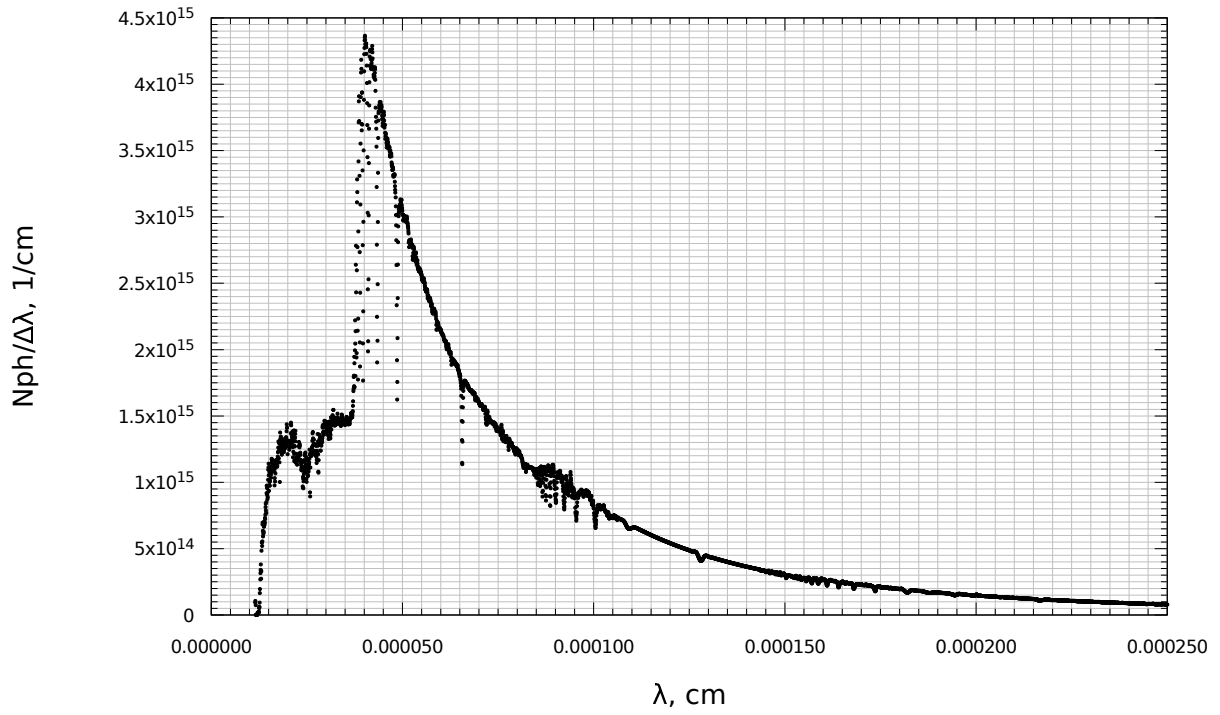
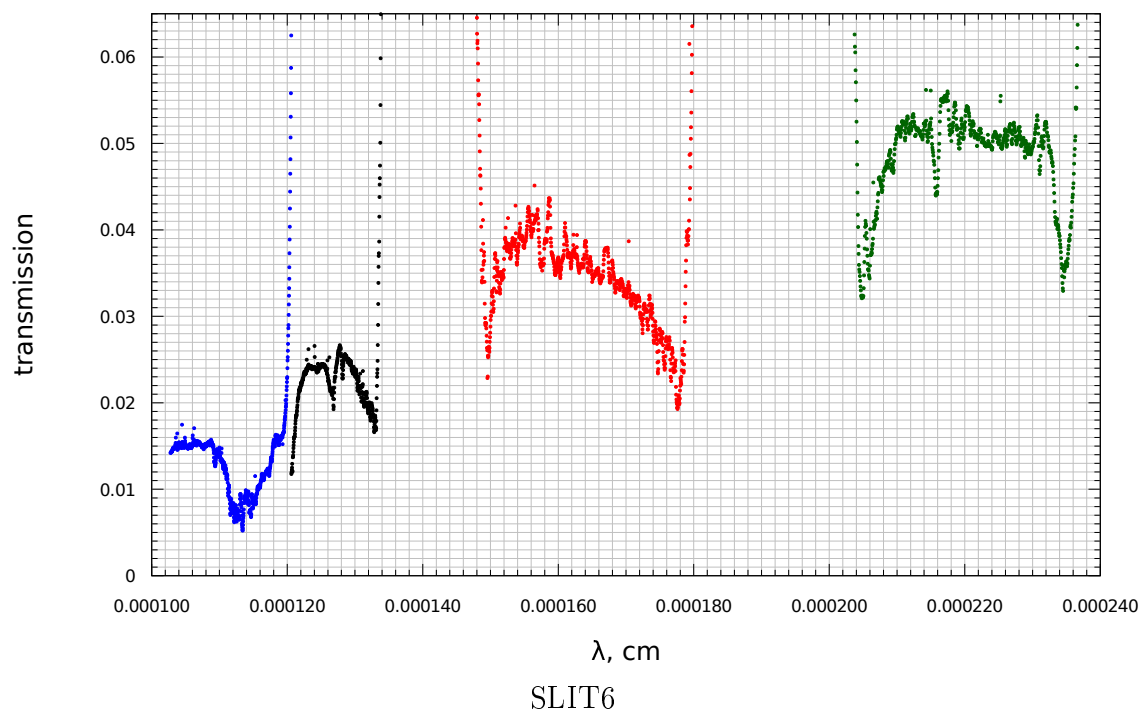


Рис. 5: Число фотонов падающих на границу атмосферы площадью  $S_{mirror}$  за время выдержки  $\tau$  в единичном спектральном интервале длин волн  $\Delta\lambda$ , для HIP85382

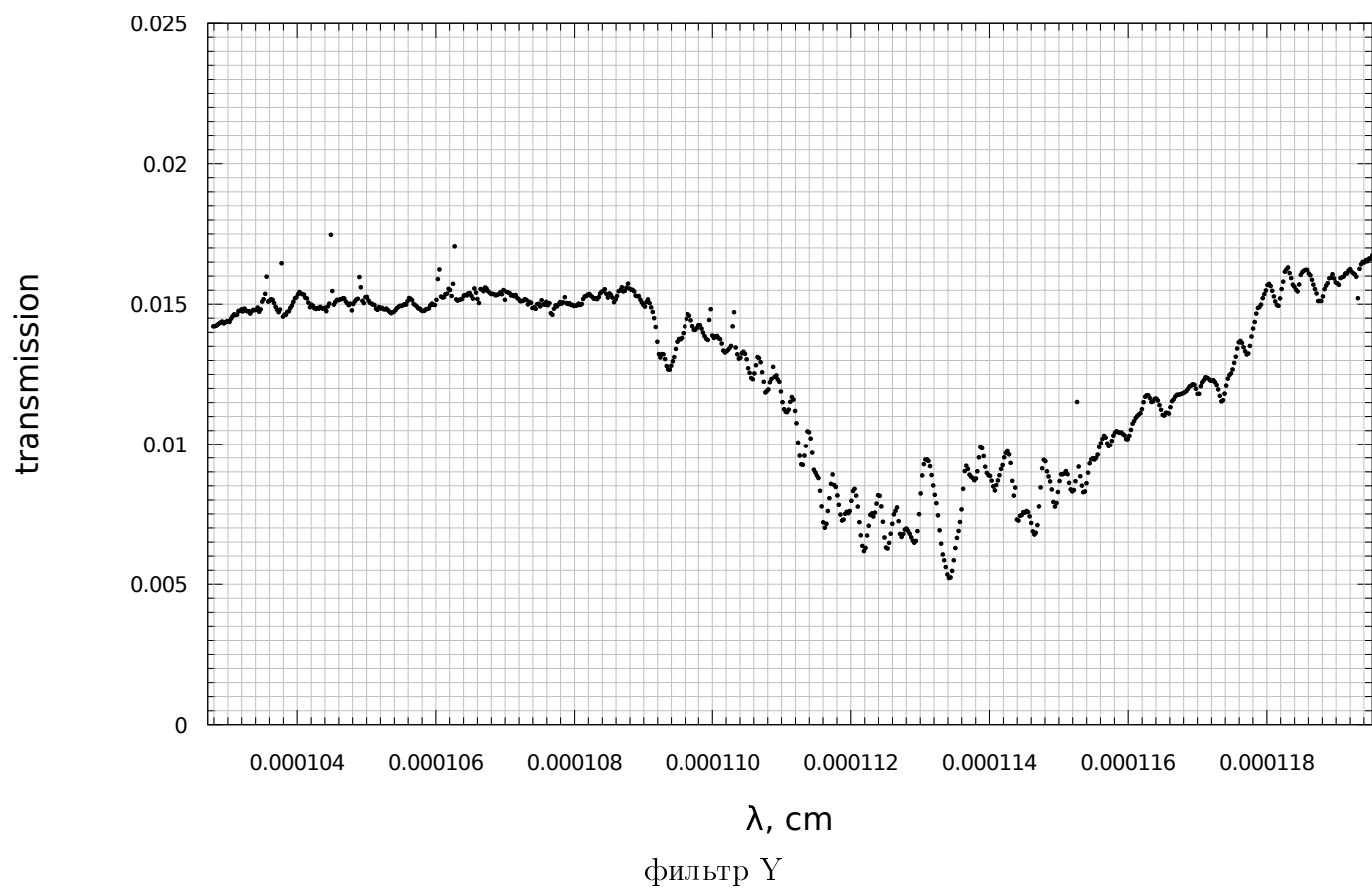
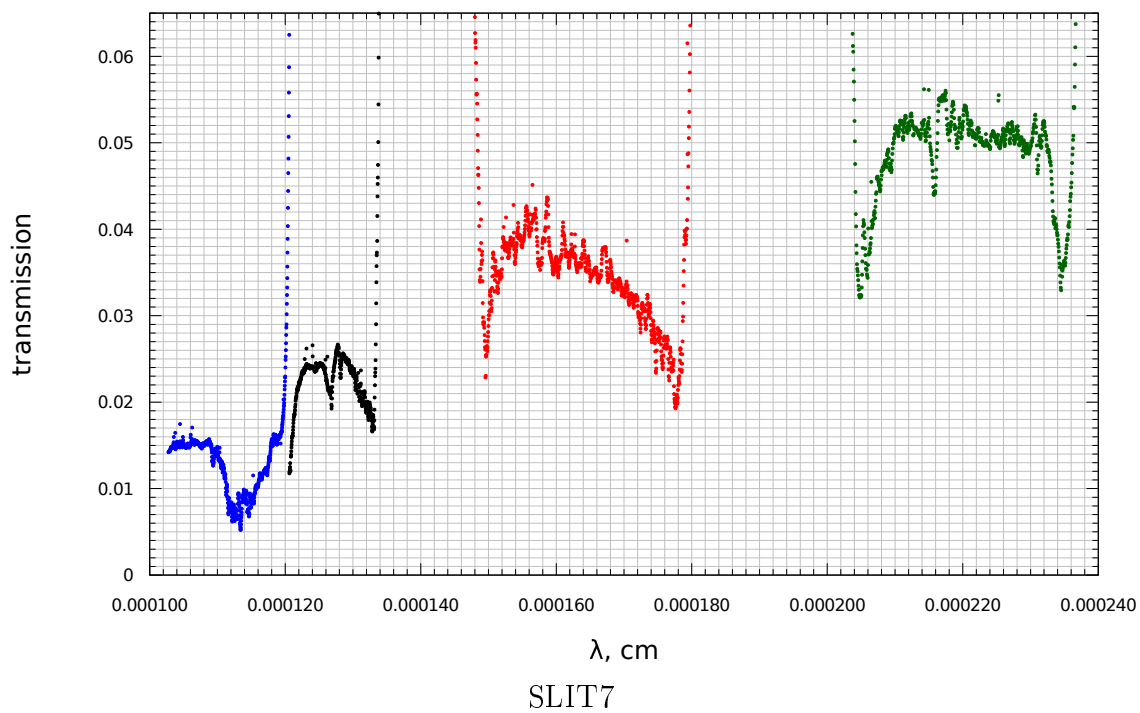
## 4 Итог

В результате обработки спектров, были получены зависимости величины эффективности(или пропускания) системы атмосфера+телескоп+камера, приходящейся на единичный интервал длин волн, в зависимости от длины волны для различных фильтров YOS, JOS, H, K, и для спектральных щелей SLIT6 и SLIT7 соответственно. Эти данные можно посмотреть в Приложении.

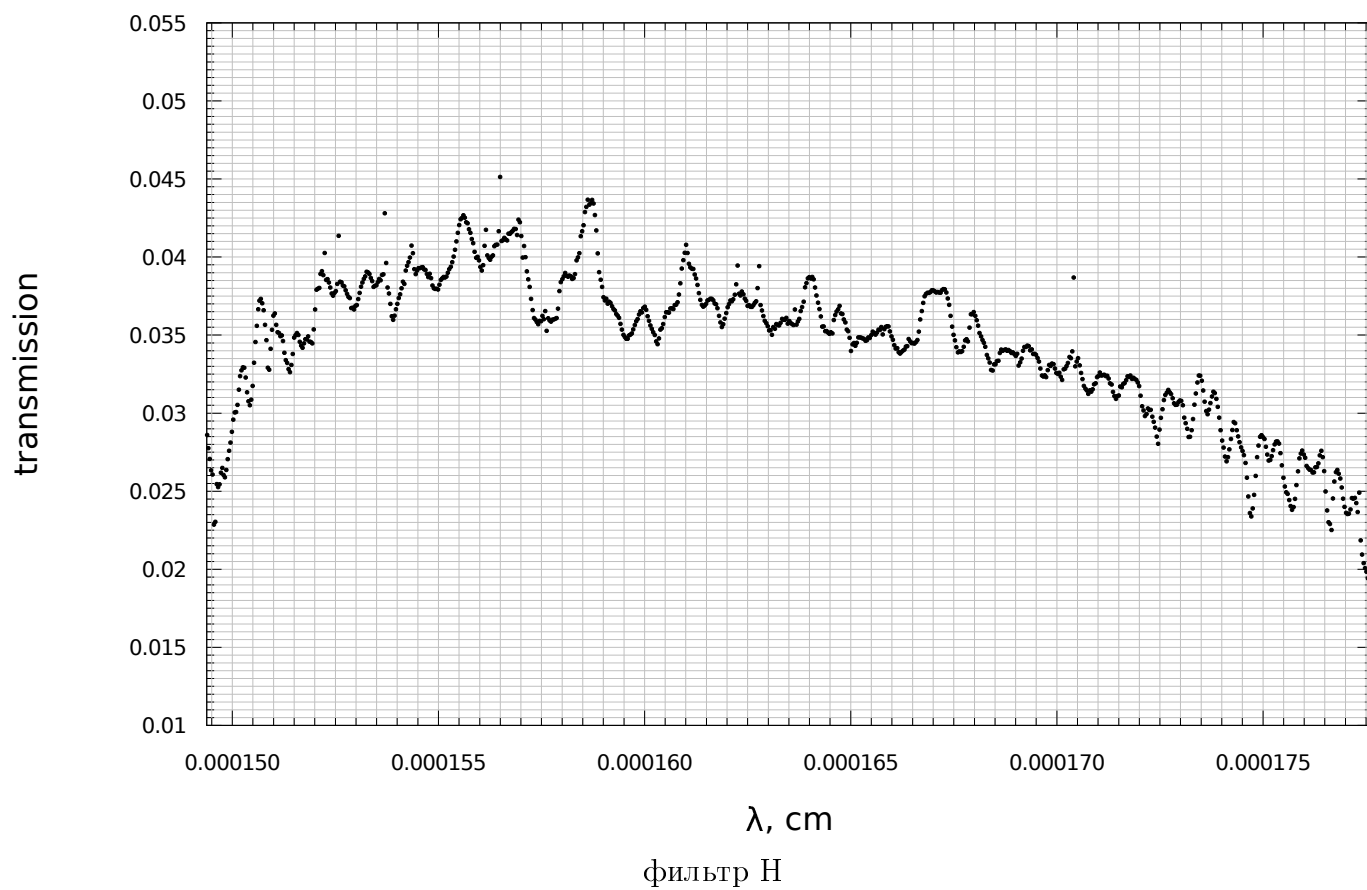
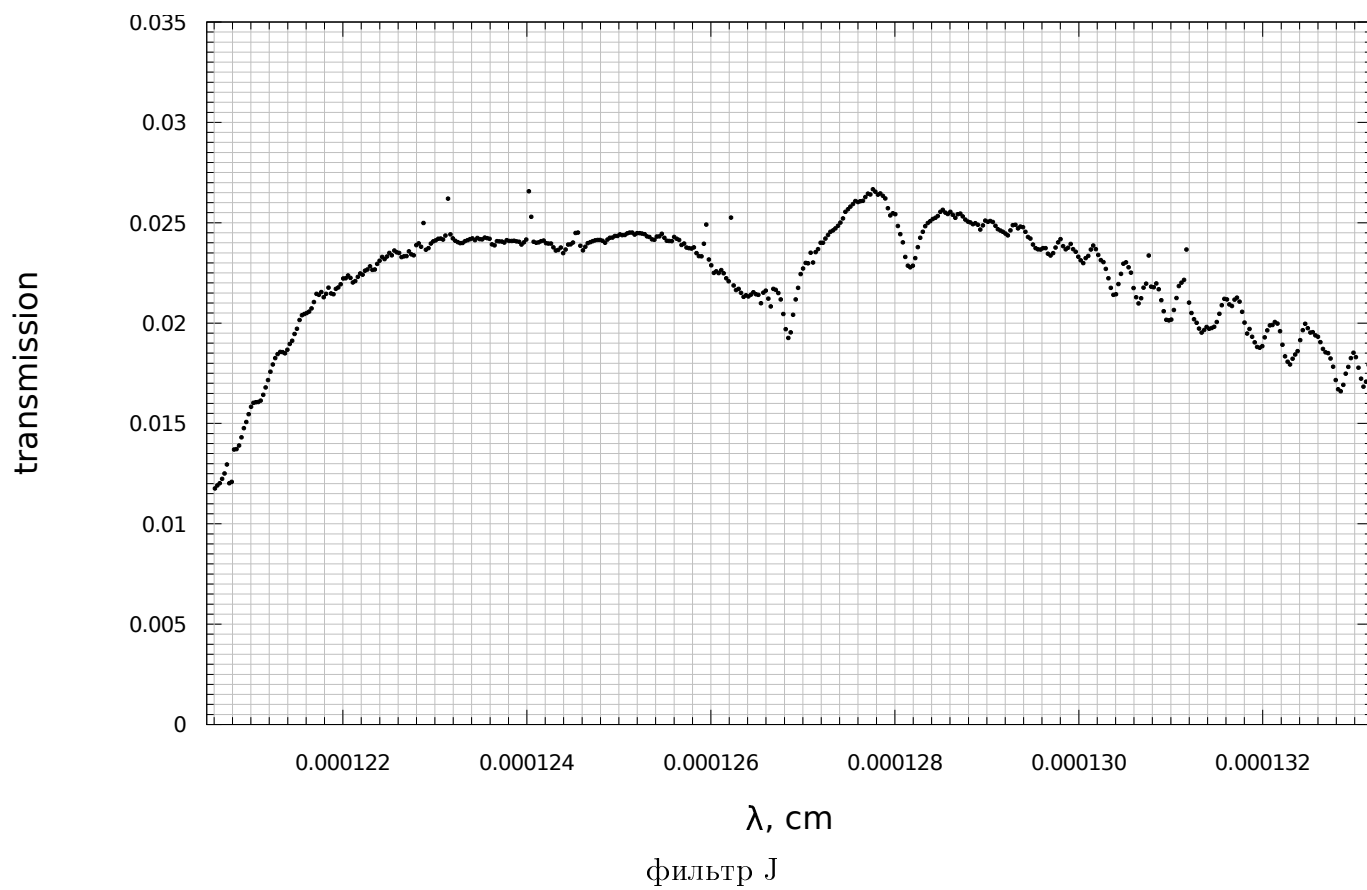


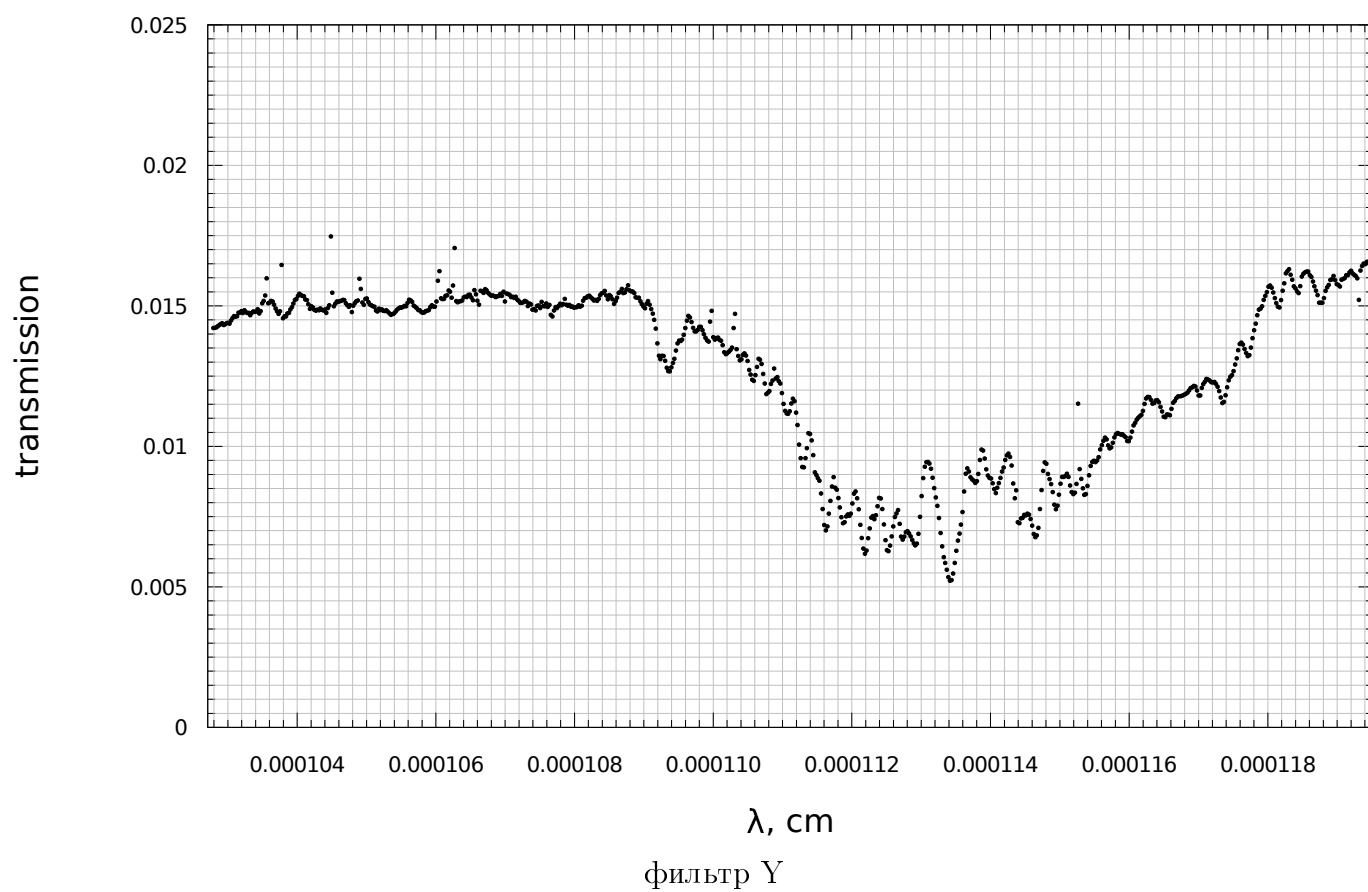
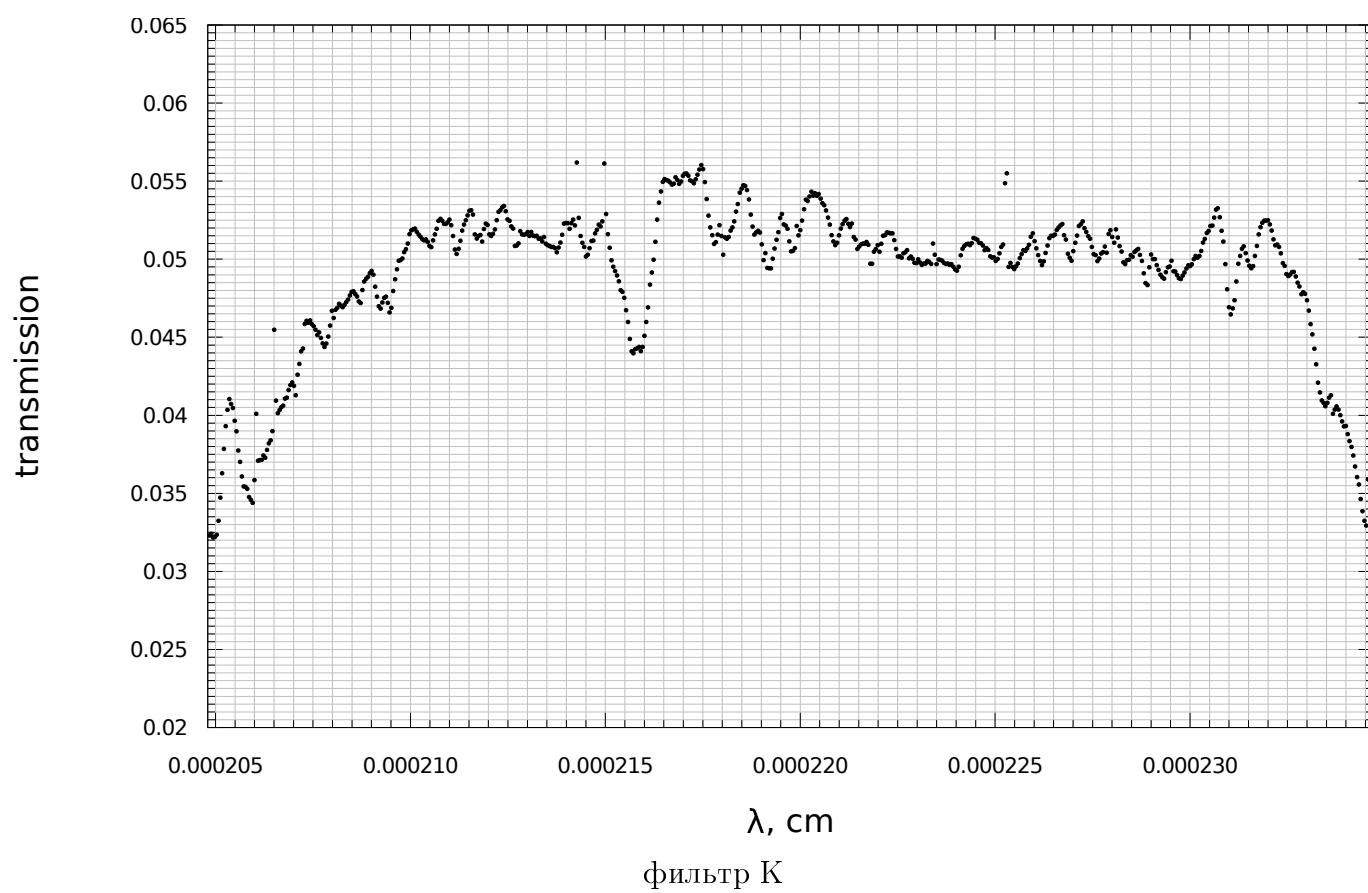
## 5 Приложение

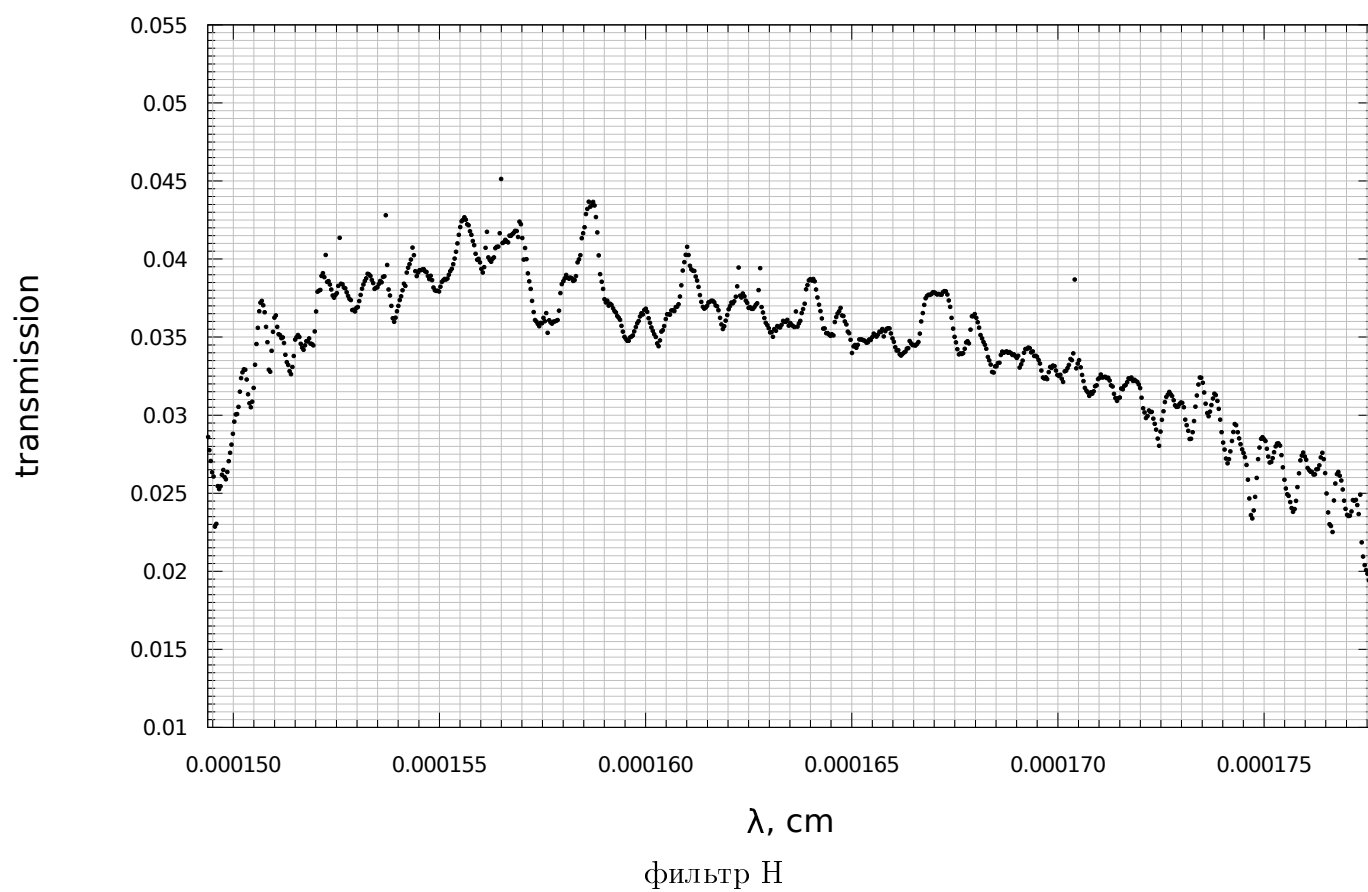
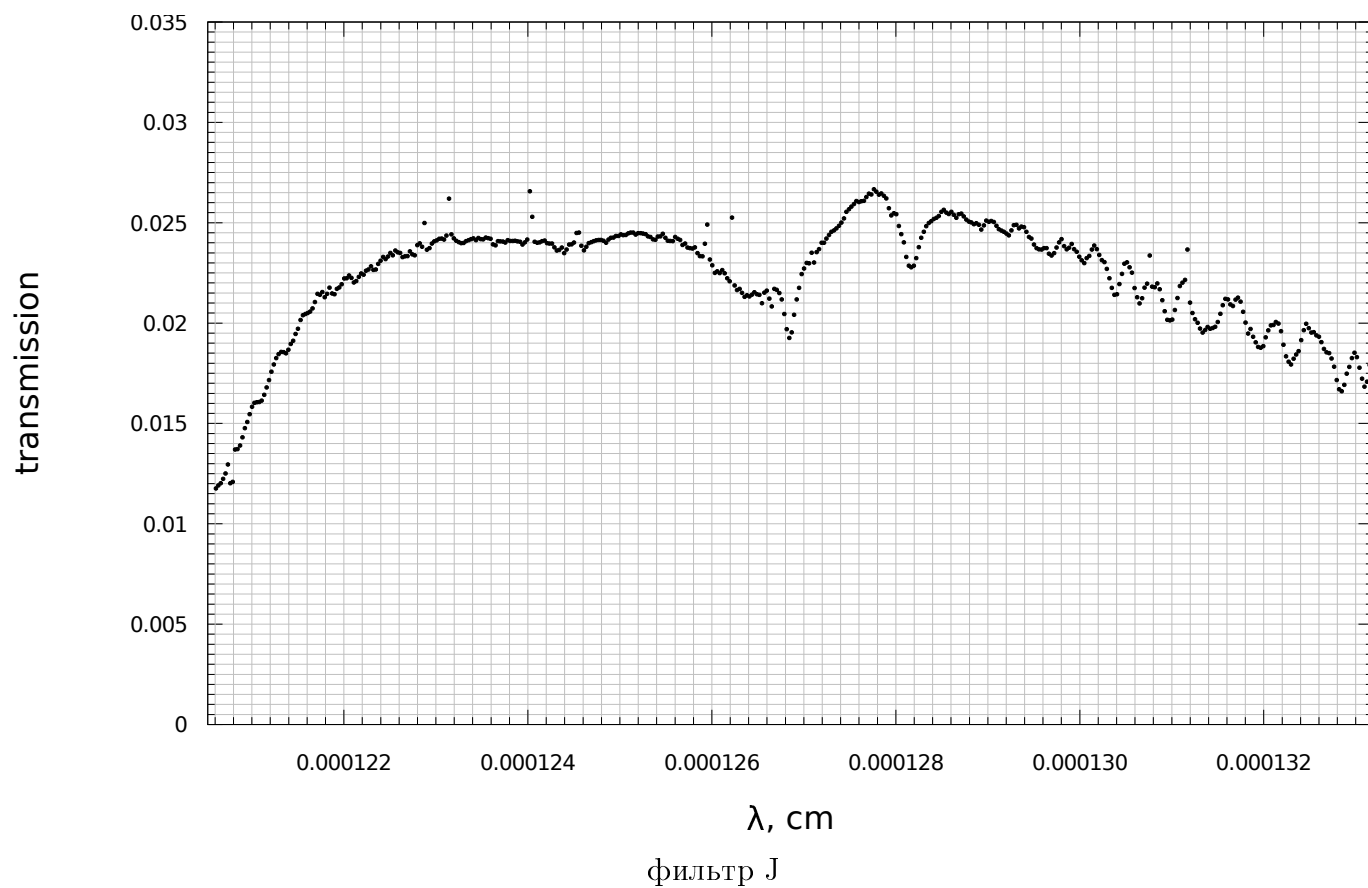
SLIT6

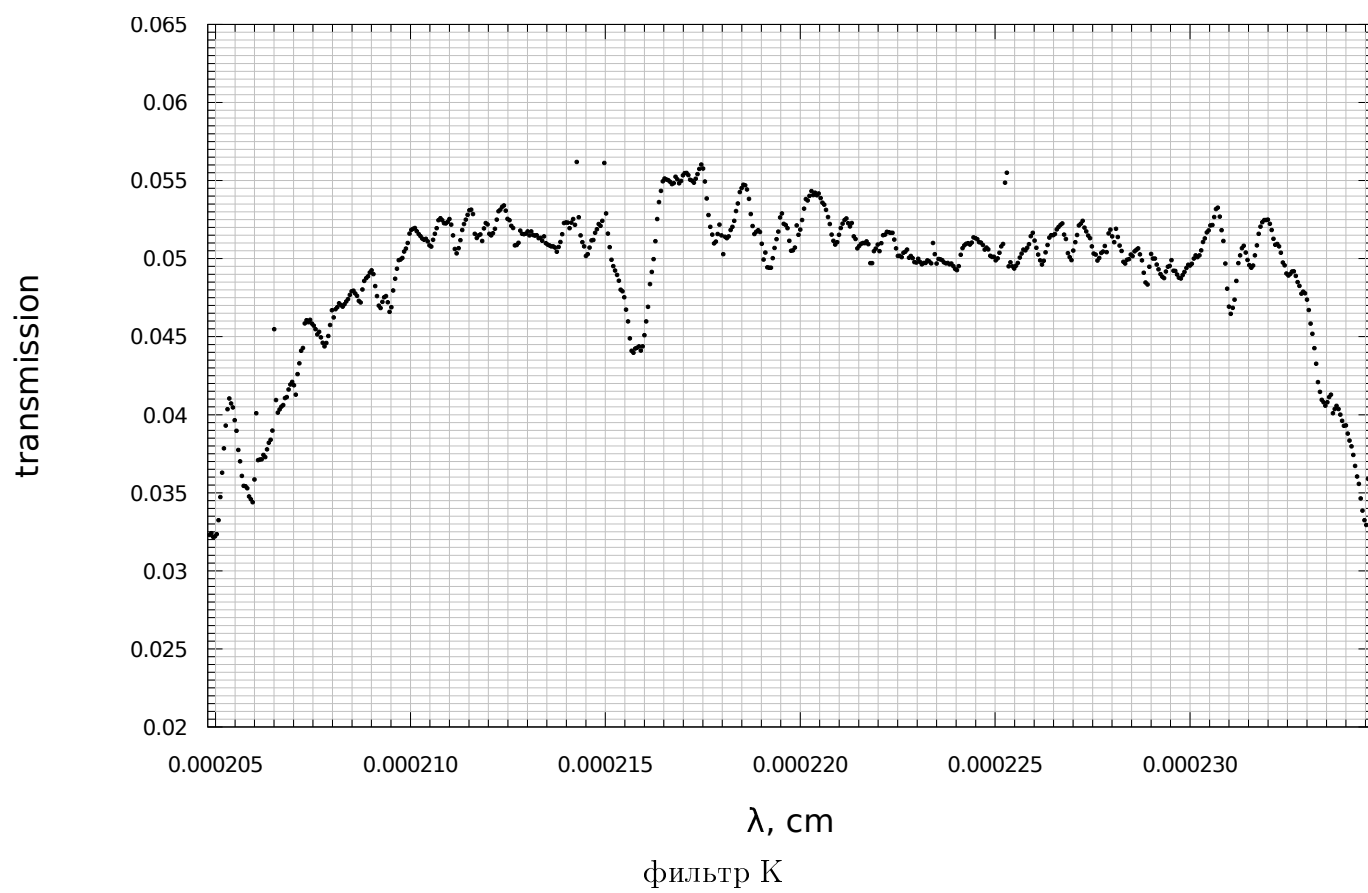


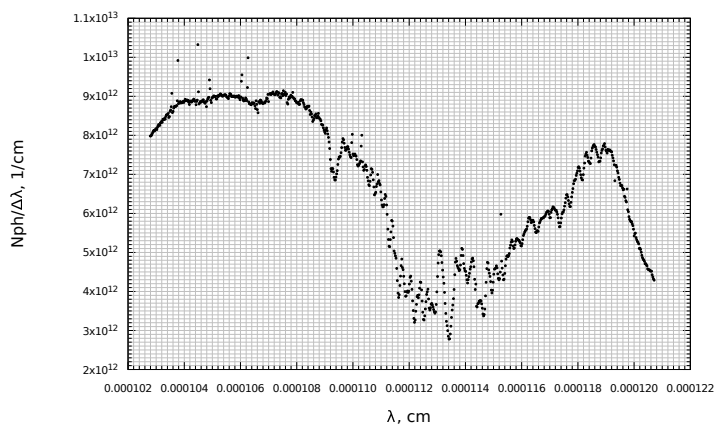




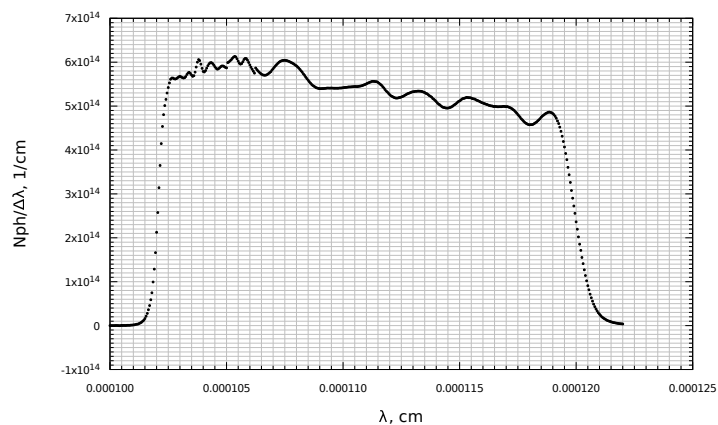




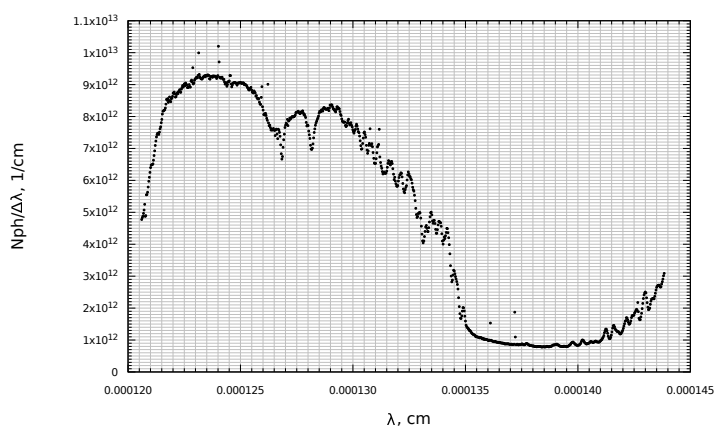




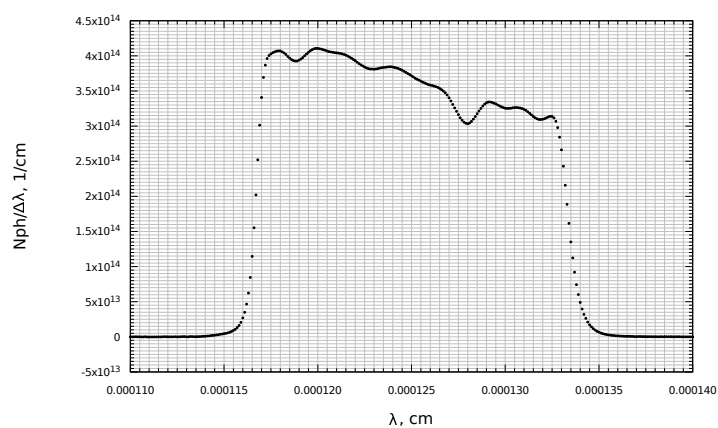
фильтр Y эксперимент



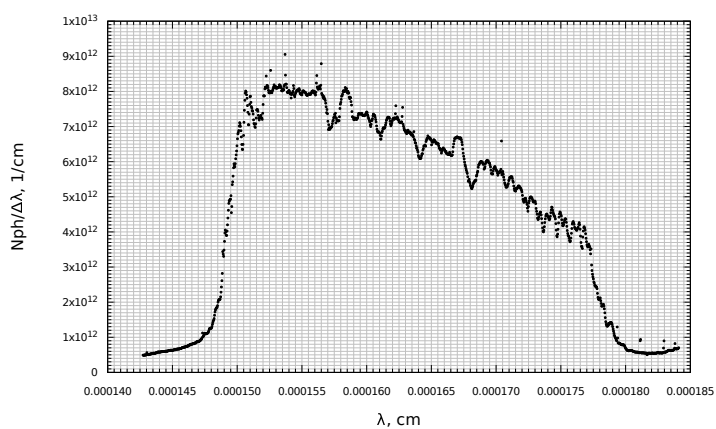
фильтр Y теория



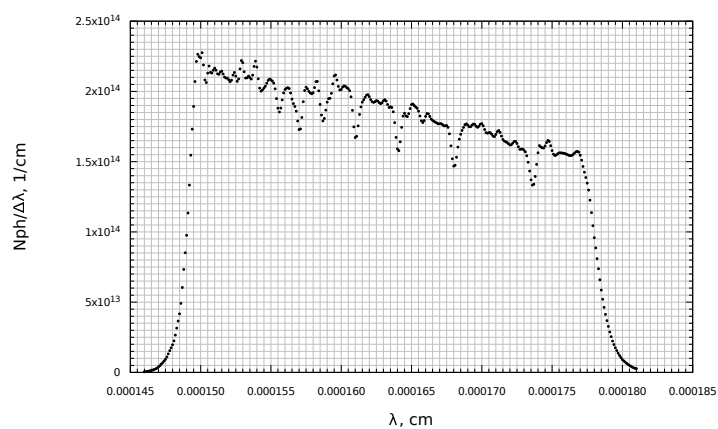
фильтр J эксперимент



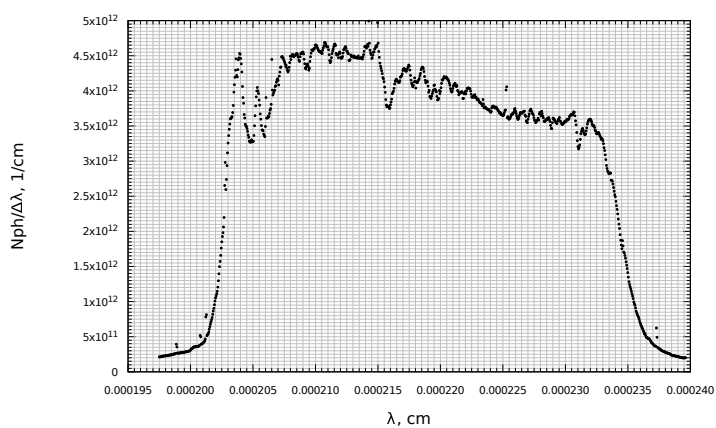
фильтр J теория



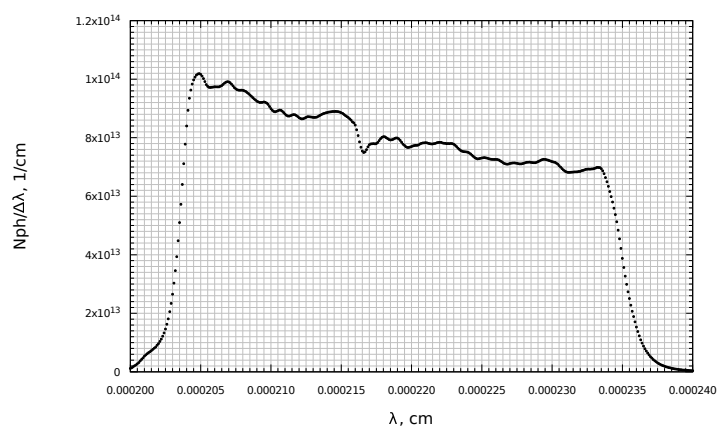
фильтр H теория



фильтр H теория

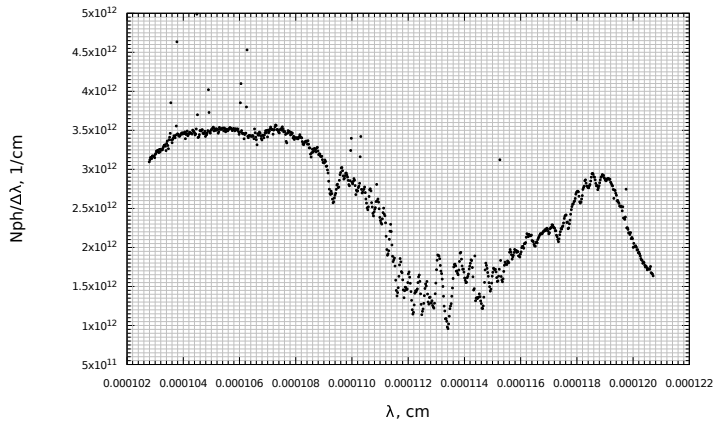


фильтр K эксперимент

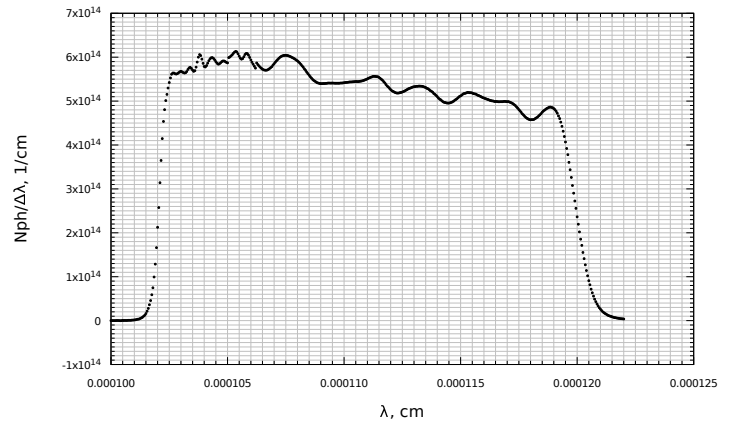


фильтр K теория

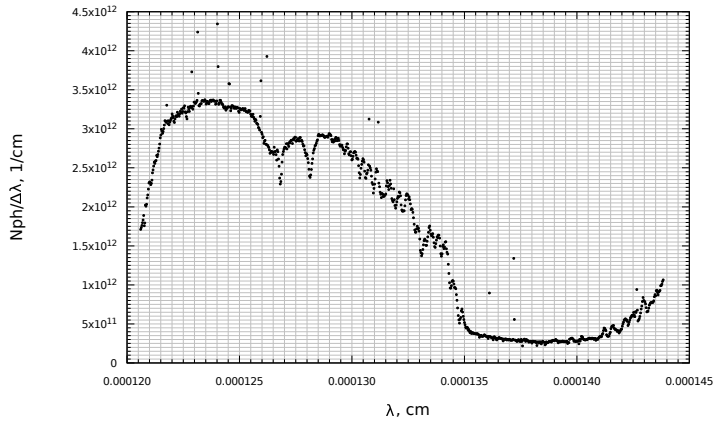
Рис. 6: SLIT6



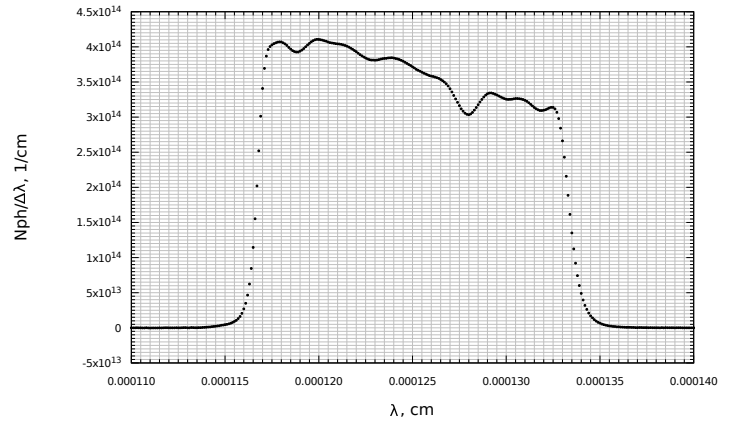
фильтр Y эксперимент



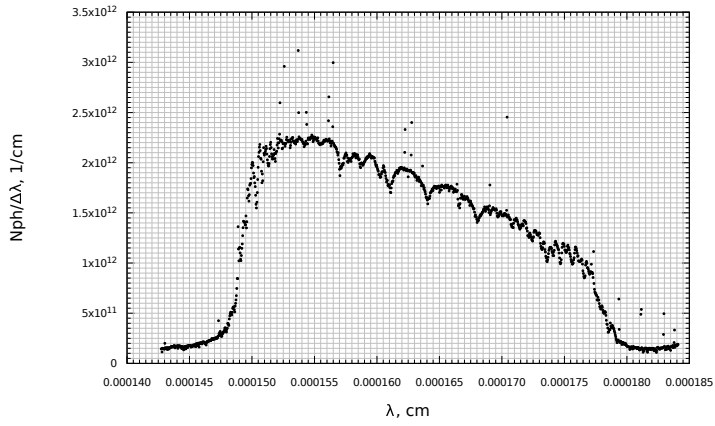
фильтр Y теория



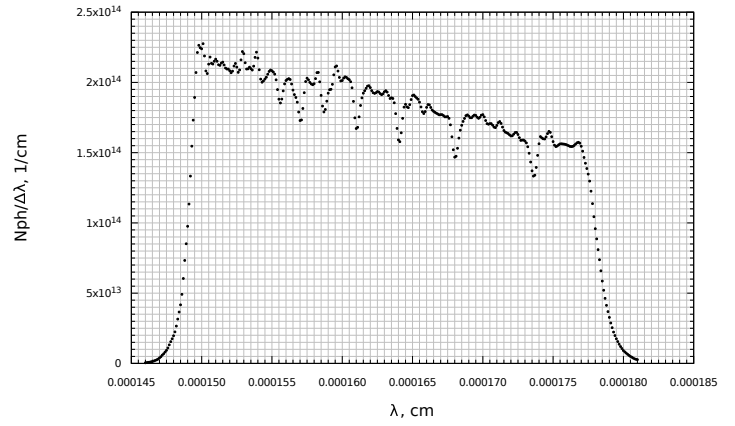
фильтр J эксперимент



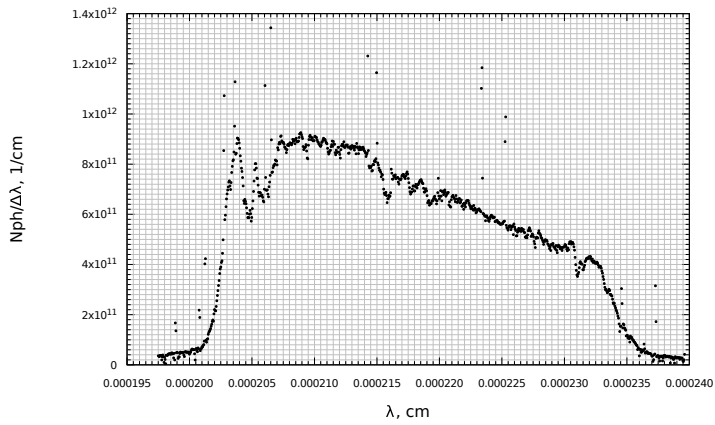
фильтр J теория



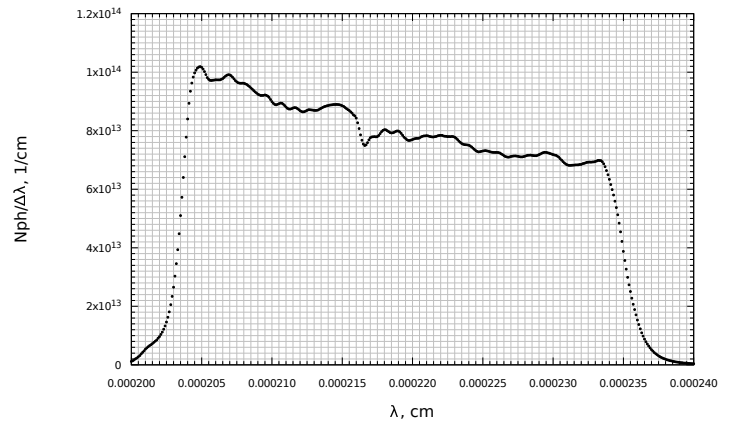
фильтр H теория



фильтр H теория



фильтр K эксперимент



фильтр K теория

Рис. 7: SLIT7

## Список литературы

- [1] А. Э. Наджиц, А. М. Татарников, Д. У. Туми, Н. И. Шатский, А. М. Черепашук, С. А. Ламзин, А. А. Белинский, ASTRONIRCAM - инфракрасная камера-спектрограф 2.5-м телескопа КГО ГАИШ, (16 июня 2017 г.).
- [2] A Stellar Spectral Flux Library: 1150–25000 Å Author(s): A. J. Pickles Source: Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 110, No. 749 (July 1998), pp. 863-878
- [3] Bertie J.E.; Lan Z. (1996). "Infrared Intensities of Liquids XX: The Intensity of the JH Stretching Band of Liquid Water Revisited and the Best Current Values of the Optical Constants of H<sub>2</sub>O(l) at 25°C between 15,000 and 1 cm<sup>-1</sup>". Applied Spectroscopy. 50(8): 1047-1057. doi:10.1366/0003702963905385