

**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**

**(Н.А. МИТИЧКИН, И.А. ОРЛОВ)**

**РУКОВОДИТЕЛЬ: А.М. ТАТАРНИКОВ**

# 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>7</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].

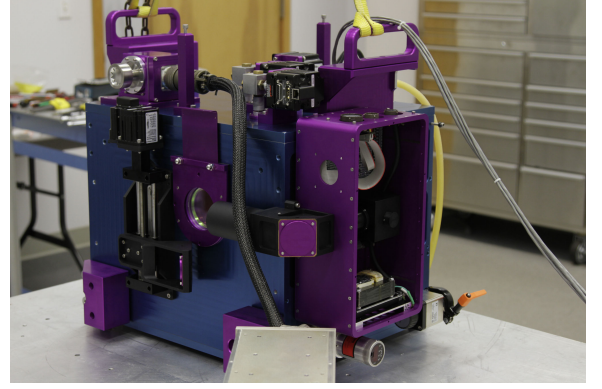


Рис. 1: Внешний вид устройства ASTRONIRCAM.

# 2 Наблюдения

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

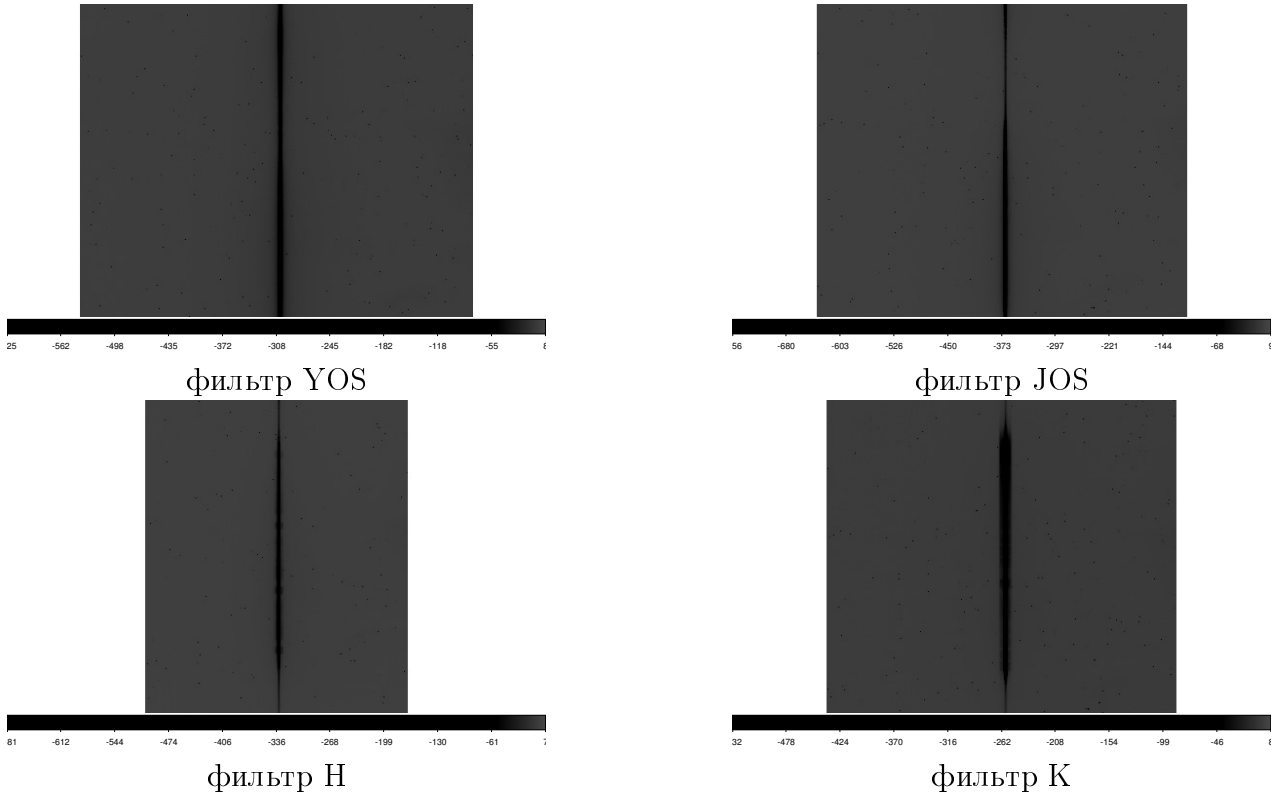


Рис. 2: Спектры звезды с использованием спектральной щели SLIT6.

<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.

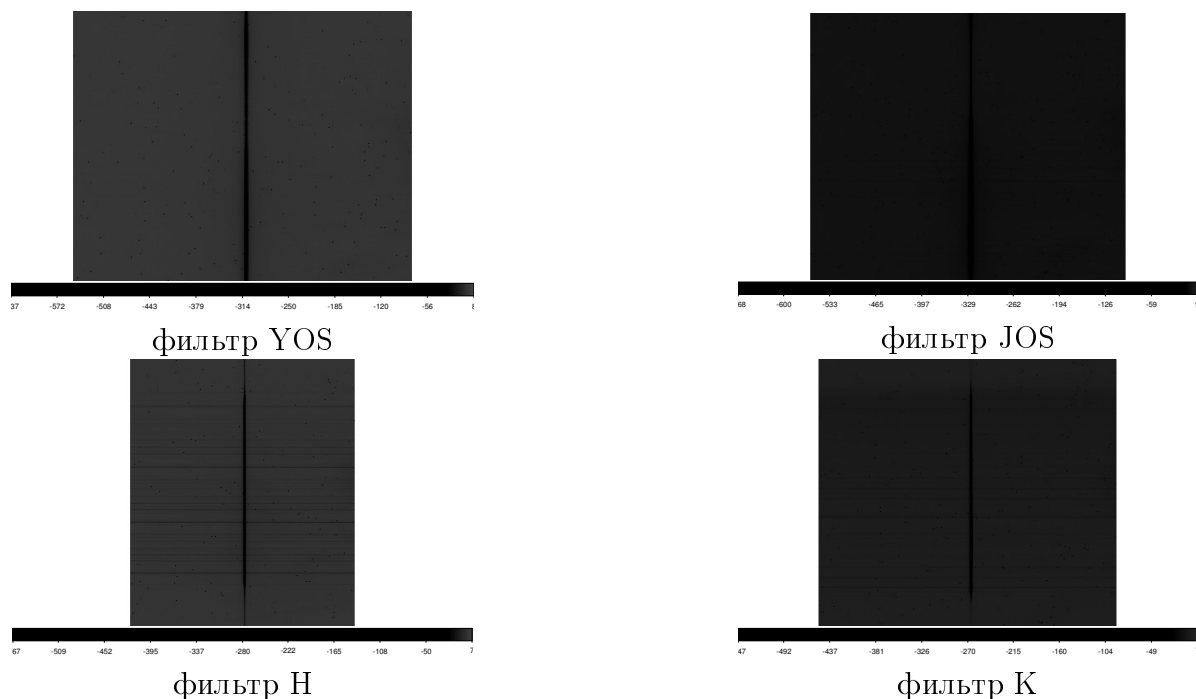


Рис. 3: Спектры звезды с использованием спектральной щели SLIT7 (с атмосферными полосами).

Наличие атмосферных полос на спектрах, полученных с использованием спектральной щели 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. В результате были получены изображения, представленные на Рис. 4.

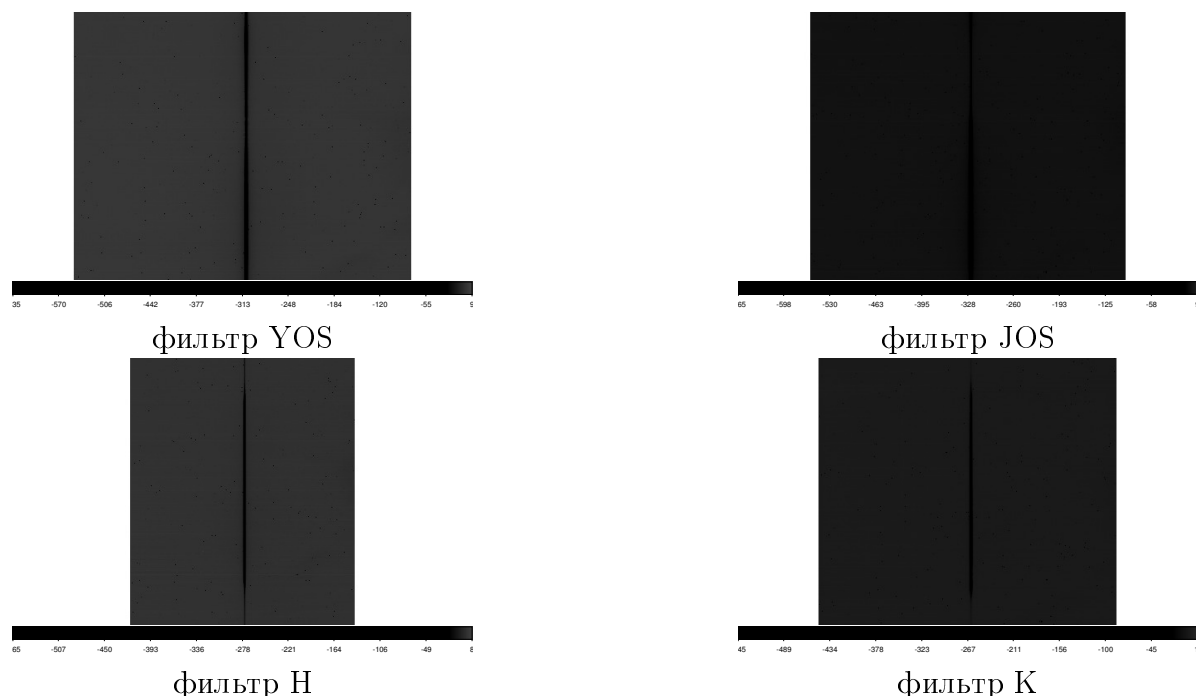


Рис. 4: Спектры звезды с использованием спектральной щели SLIT7 (без атмосферных полос).

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

### 3 Обработка данных

Для обработки данных был необходим стандарт спектра звезды спектрального класса A0V, чтобы сравнить с данным эталоном вне атмосферы наши экспериментально полученные данные. В качестве такого был взят спектр звезды  $\alpha Lyr$  (Вега) из источника [2]. Данный спектр был дан в относительных единицах, но, зная потоки Веги в различных фильтрах и кривые пропускания фильтров, можно было 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 необходимо было учесть время выдержки изображения  $\tau$  и, что площадь главного зеркала телескопа рассчитывается по формуле:  $S_{\text{mirror}} = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$ , где  $\pi \approx 3.14$ ,  $d = 2.5$  м - диаметр главного зеркала телескопа. Учитывая это и нормируя на величину  $h\nu_i$ , мы получим спектр звезды  $\alpha Lyr$  в  $\frac{N_{ph}}{\Delta\lambda}$ , т.е. мы получили для звезды  $\alpha Lyr$  зависимость числа фотонов, падающих на границу атмосферы площадью  $S_{\text{mirror}}$ , за время выдержки  $\tau$ , в единичном спектральном интервале длин волн  $\Delta\lambda$  в зависимости от длины волны. Звёздная величина звезды HIP85382 в различных фильтрах:

$$\begin{aligned} m_Y &= 5.924 \pm 0.025; \\ m_J &= 5.901 \pm 0.034; \\ m_H &= 5.955 \pm 0.023; \\ m_K &= 5.915 \pm 0.017; \end{aligned}$$

Используя формулу Погсона для Веги и звезды HIP85382:  $m_{HIP85382_i} - m_{\alpha Lyr_i} = -2.5 \lg \frac{E_{HIP85382_i}}{E_{\alpha Lyr_i}}$  и зная звёздные величины звезды HIP85382 в интересующих нас фильтрах, был найден коэффициент, связывающий имеющийся у нас спектр для Веги и спектр звезды HIP85382. Для звезды HIP85382 был получен график, изображённый на Рис. 5<sup>2</sup>.

Домножая спектр Веги на постоянную величину и делая свёртку получившегося спектра с кривыми фильтра Y, J, H и K, был получен интересующий нас спектр исследуемой звезды (HIP85382) в соответствующих фильтрах, в единицах  $\frac{N_{ph}}{\Delta\lambda}$ . Эти полученные зависимости мы использовали для дальнейшего сравнения с нашими экспериментальными данными.

Из полученных изображений спектра также несложно было 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 и J существуют заметные полосы поглощения, происхождение которых можно объяснить линиями поглощения молекулами водяного пара в атмосфере [3]. Соответственно, можно было интерполировать данные из нашего стандарта на экспериментальные данные и, разделив их, мы бы смогли численно оценить значения коэффициента пропускания системы "атмосфера+телескоп+камера". В разделе "Приложение" 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 зависела от числа выбранных пикселей, которые в дальнейшем и стали представлять собой наш полученный спектр. На данных графиках была сделана выборка в 30 пикселей. Расхождение имеющихся графиков в районе 1-2% (при использовании спектральной щели SLIT6) при изменении числа исследуемых пикселей, можно объяснить тем, что имеющиеся спектры

<sup>2</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.

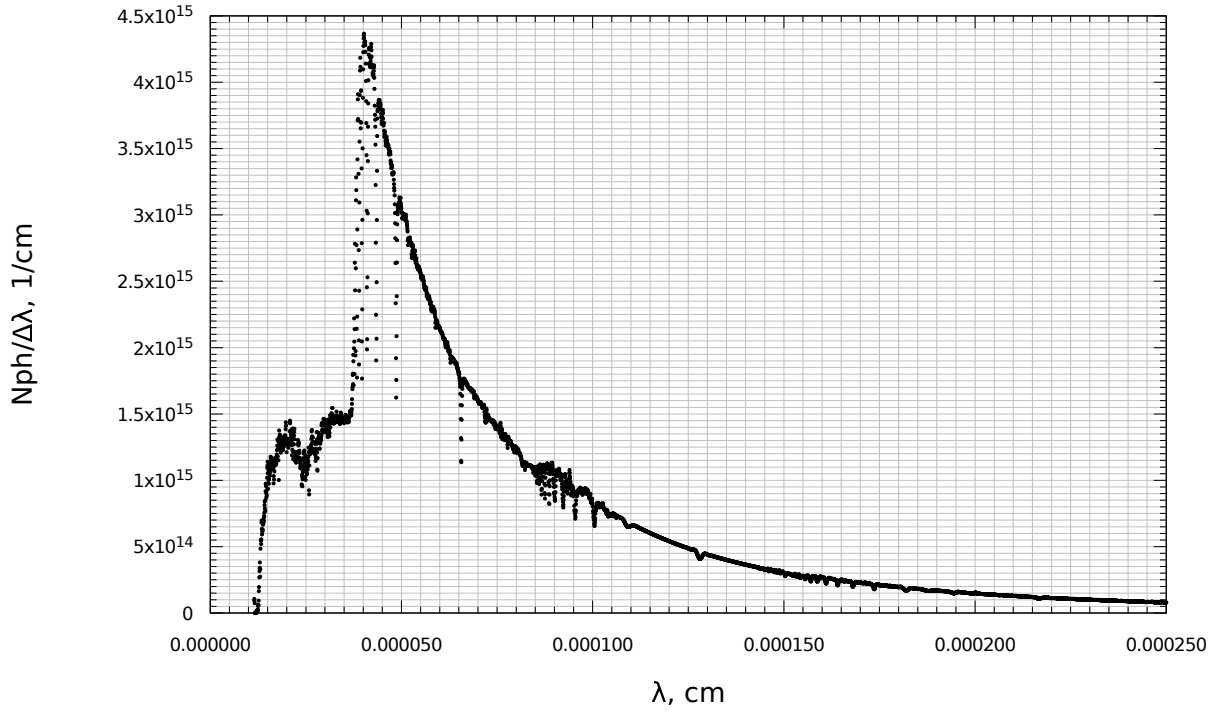


Рис. 5: Число фотонов, падающих на границу атмосферы площадью  $S_{mirror}$ , за время выдержки  $\tau$ , в единичном спектральном интервале длин волн  $\Delta\lambda$ , для звезды HIP85382.

были испорчены влиянием атмосферы, которая была сверхвлажная в дни съёмки, а также не стоит пренебрегать тем эффектом, что исследуемая нами звезда находилась относительно на небольшой высоте. Как следствие мы получили тот факт, что численная оценка средней величины эффективности была осложнена и варьировалась, помимо этого присутствовали ошибки при интерполяции графиков. Однако, в данной работе можно было ограничиться верхней численной оценкой для каждого из фильтров и соответствующей ей спектральной щели.

## 4 Итог

В результате обработки спектров были получены зависимости величины эффективности (или пропускания) системы "атмосфера+телескоп+камера", 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 разделе "Приложение". Также имеем следующие численные оценки для верхних границ:

$$\begin{aligned} \text{при использовании спектральной щели } SLIT6 : T_Y &\approx 1,6\%, \\ T_J &\approx 2,5\%, \\ T_H &\approx 4\%, \\ T_K &\approx 5,3\%, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{при использовании спектральной щели } SLIT7 : T_Y &\approx 0.62\%, \\ T_J &\approx 0.89\%, \\ T_H &\approx 1.1\%, \\ T_K &\approx 1.02\%. \end{aligned}$$

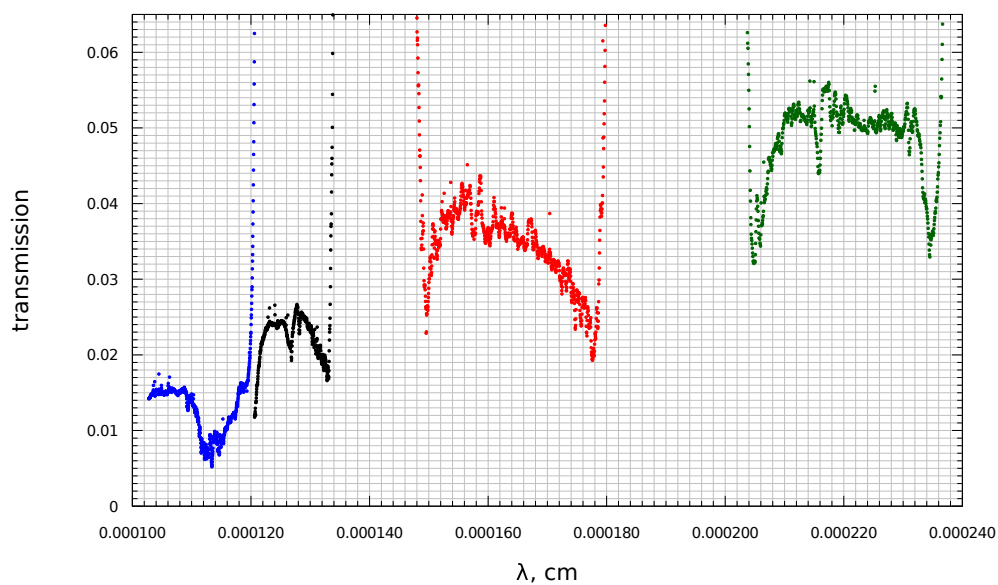


График зависимостей пропусканий от длины волны для четырёх фильтров при использовании спектральной щели SLIT6.

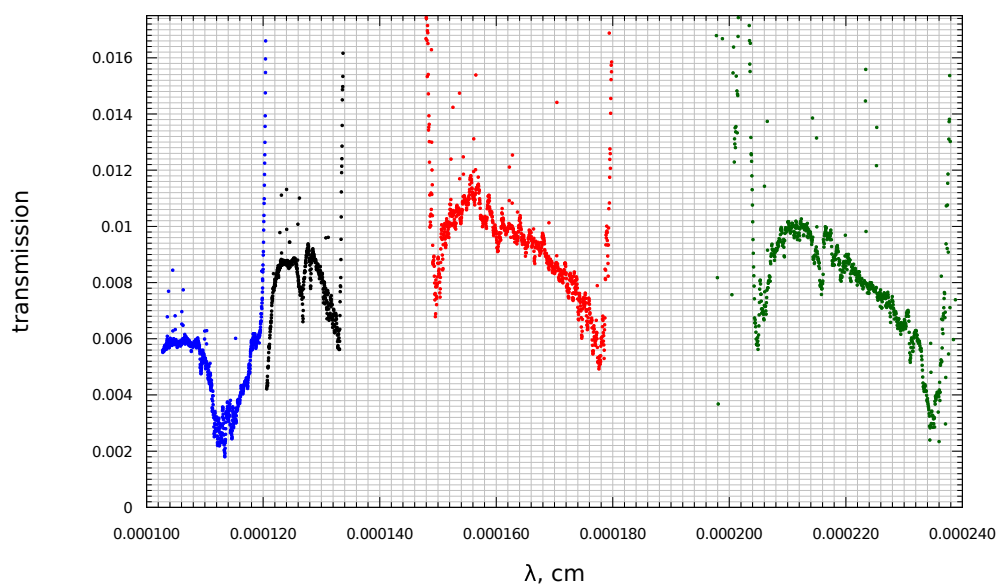


График зависимостей пропусканий от длины волны для четырёх фильтров при использовании спектральной щели SLIT7.

## 5 Приложение

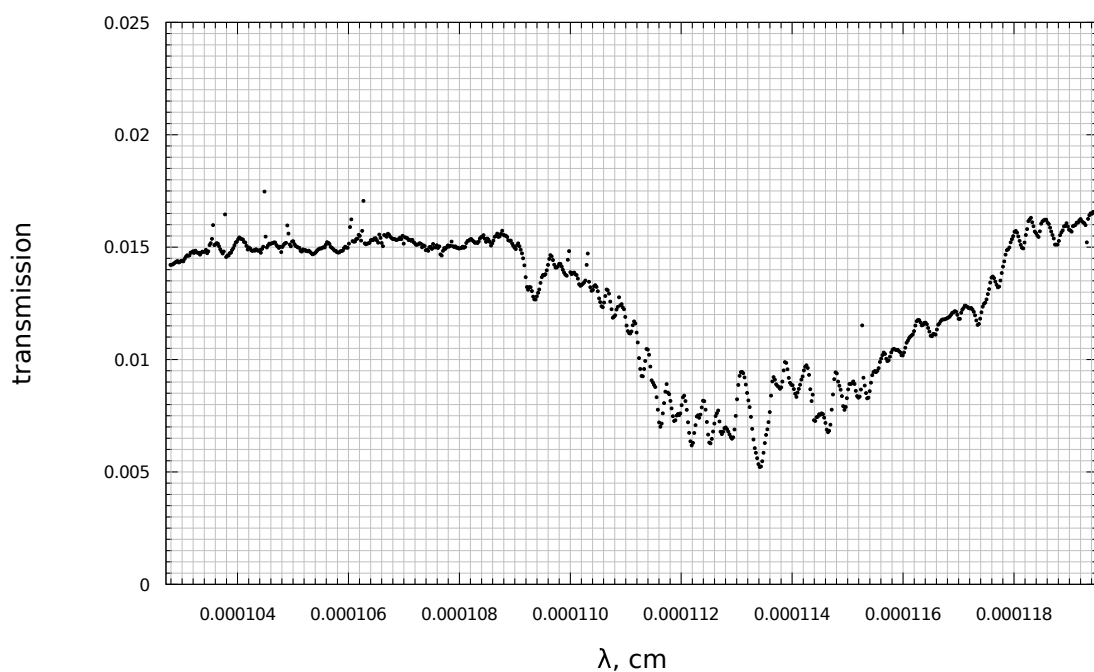


График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT6 (фильтр Y).

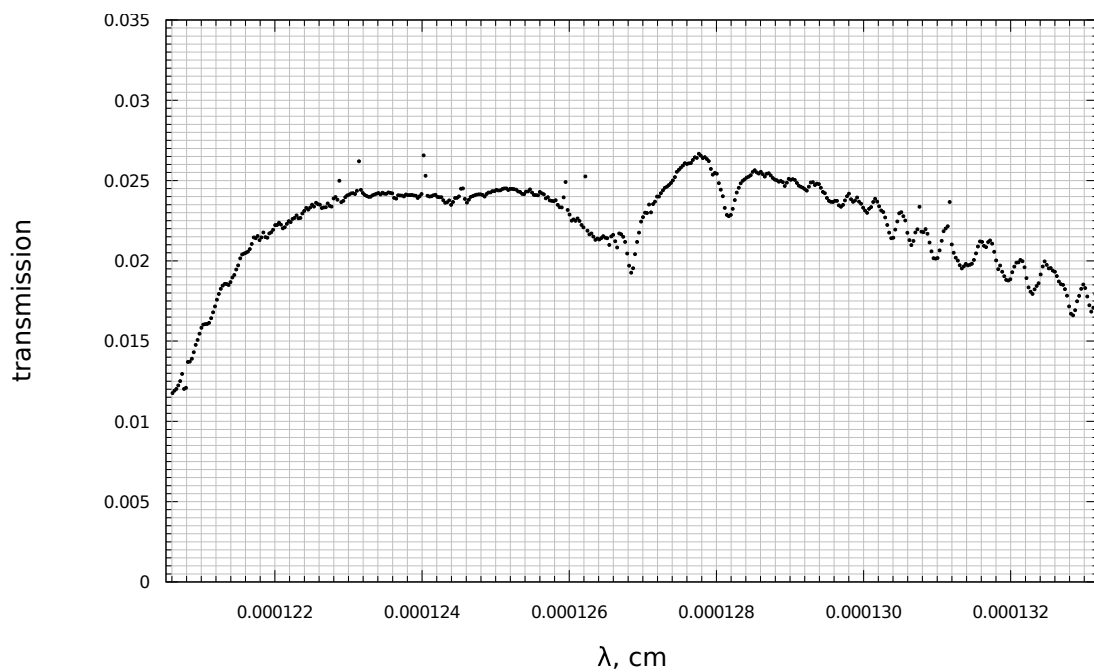


График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT6 (фильтр J).



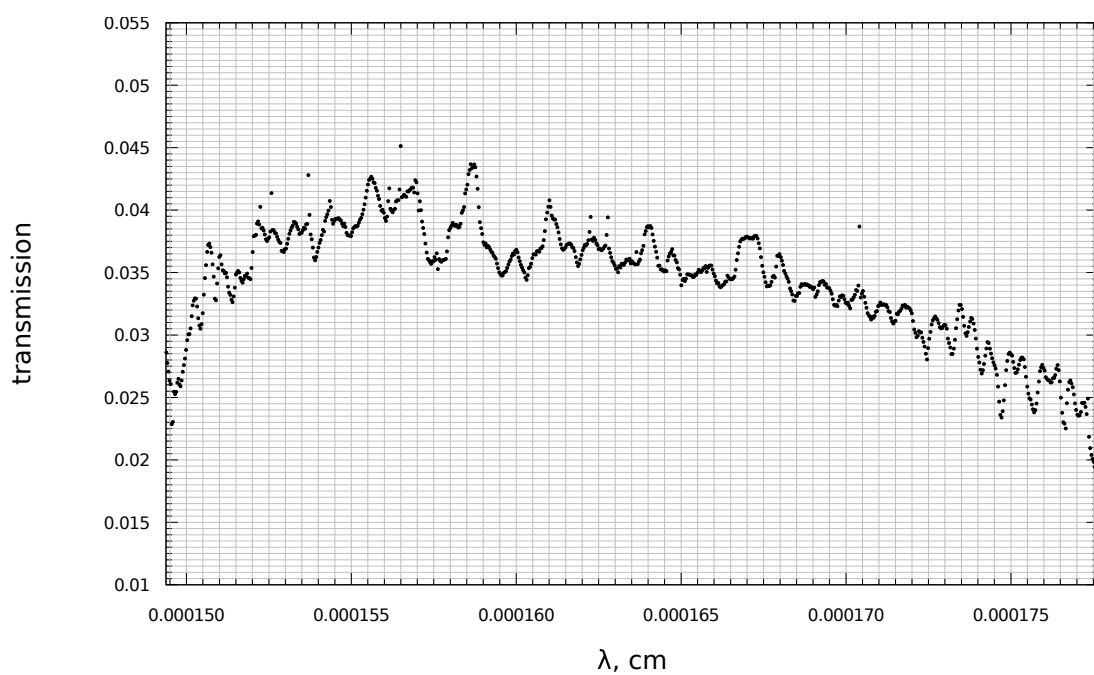


График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT6 (фильтр H).

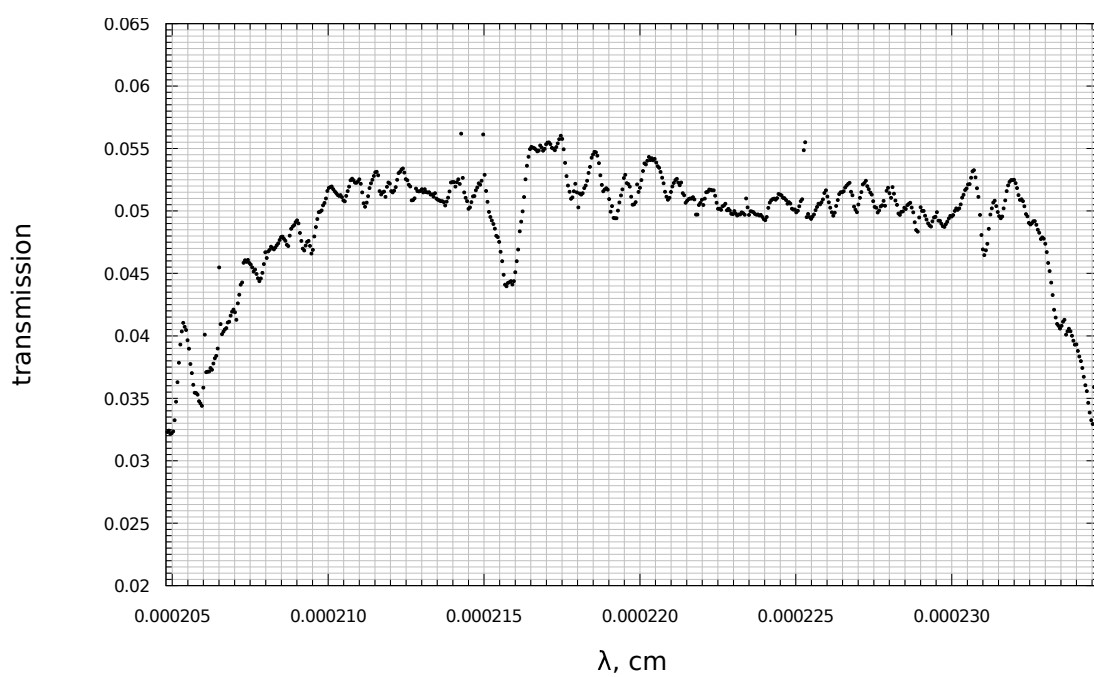


График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT6 (фильтр K).

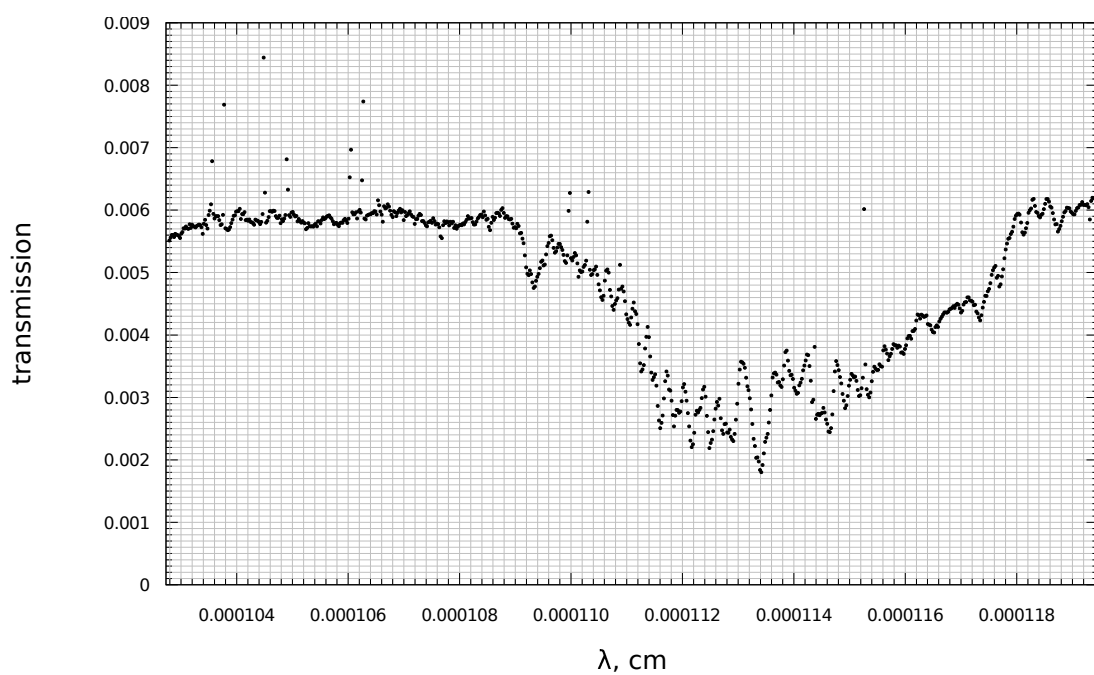


График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT7 (фильтр Y).

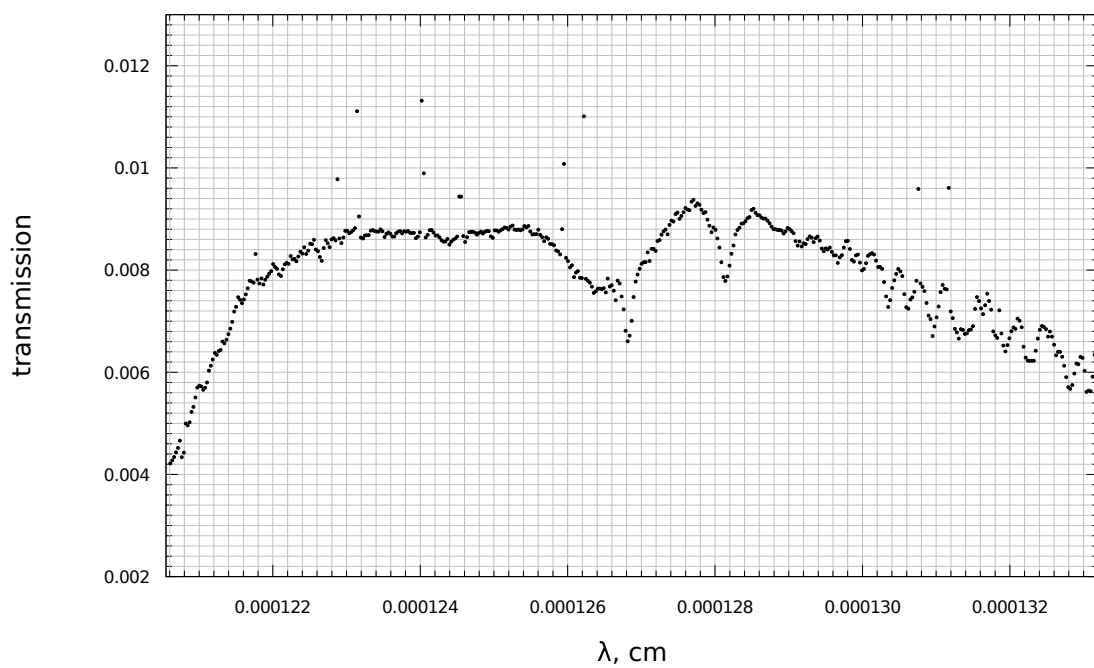


График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT7 (фильтр J).

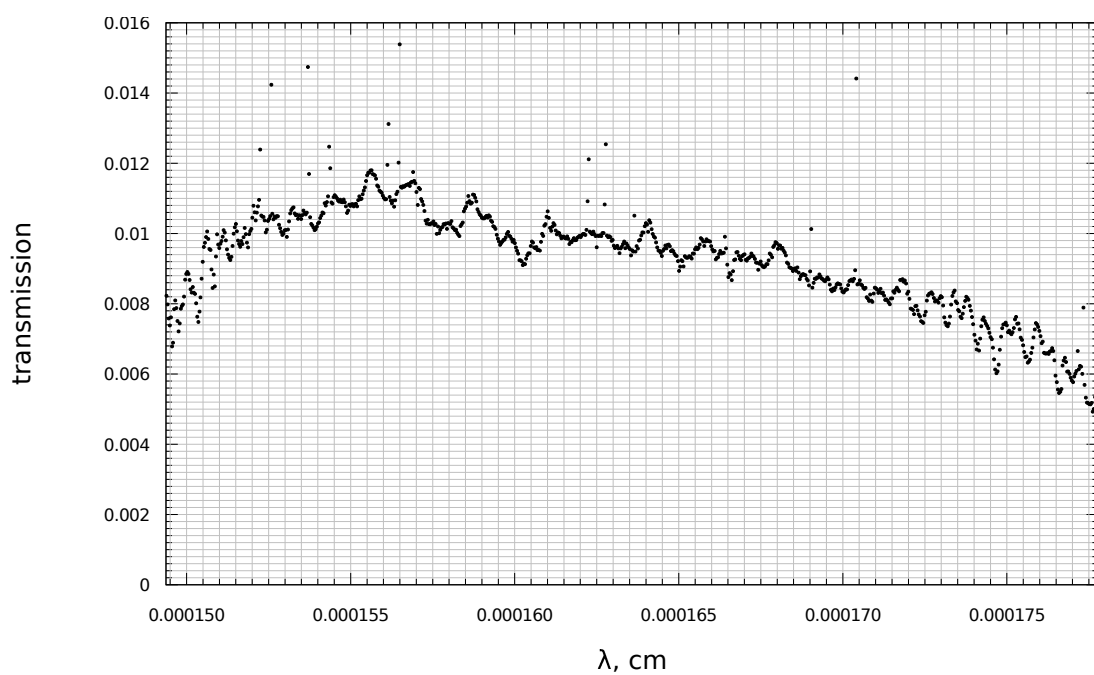


График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT7 (фильтр H).

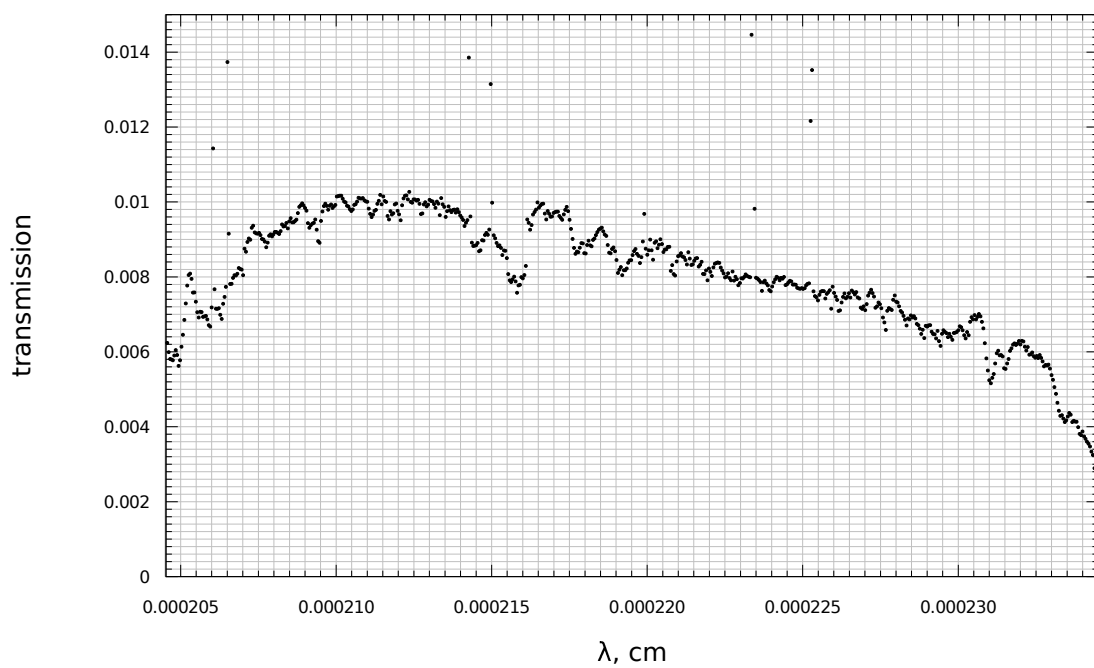
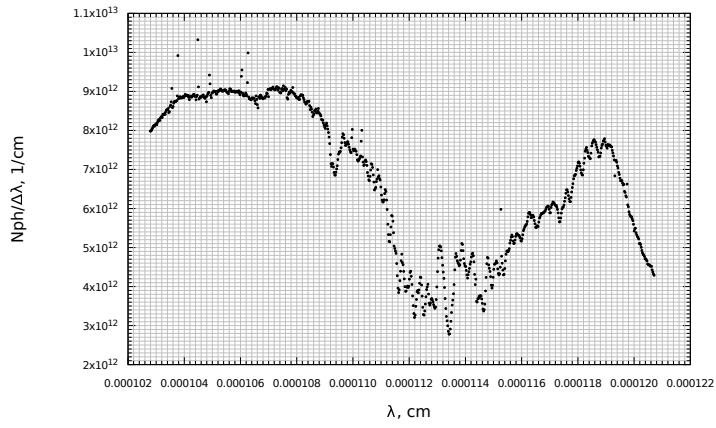
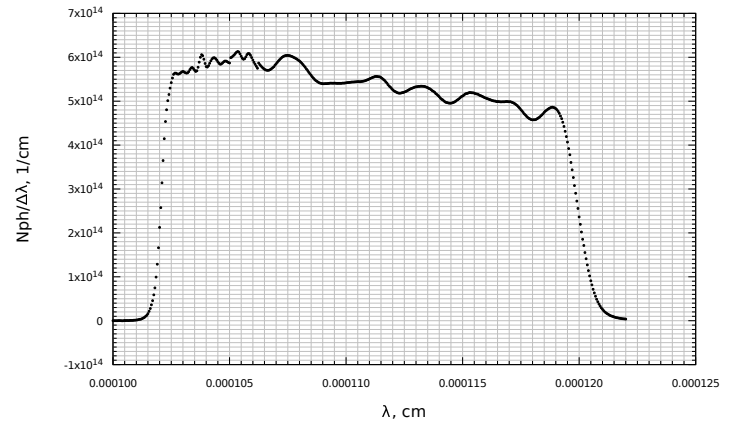


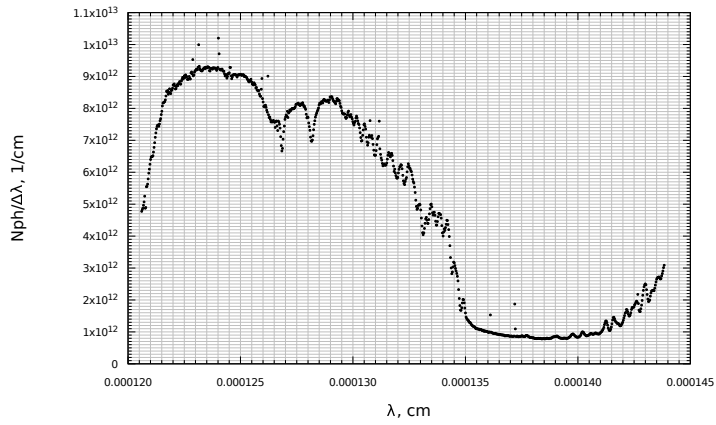
График зависимости пропускания от длины волны для спектральной щели SLIT7 (фильтр K).



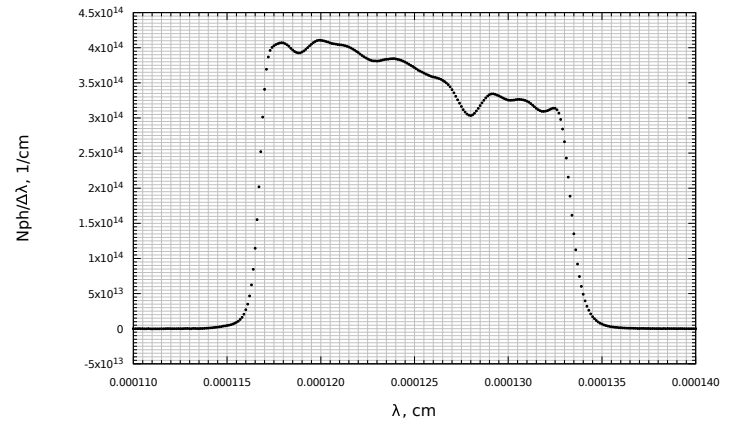
фильтр Y (эксперимент)



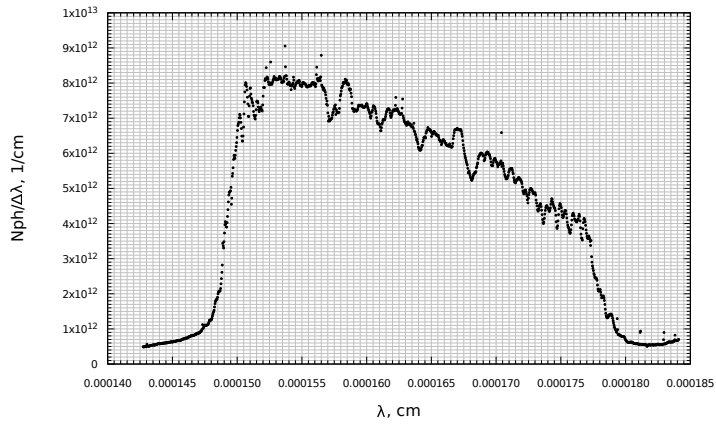
фильтр Y (стандарт)



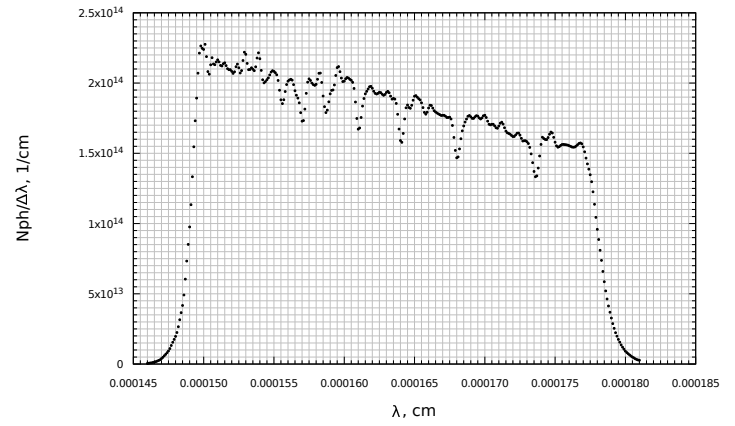
фильтр J (эксперимент)



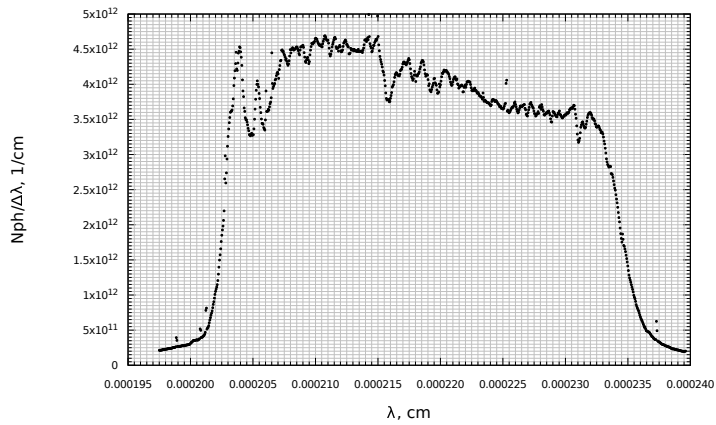
фильтр J (стандарт)



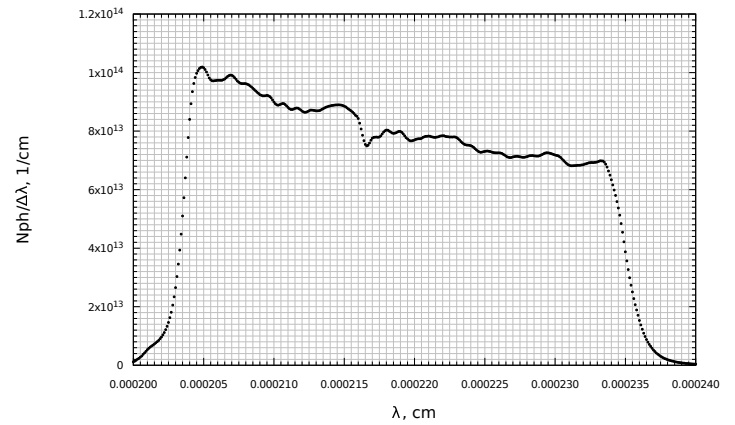
фильтр H (стандарт)



фильтр H (стандарт)

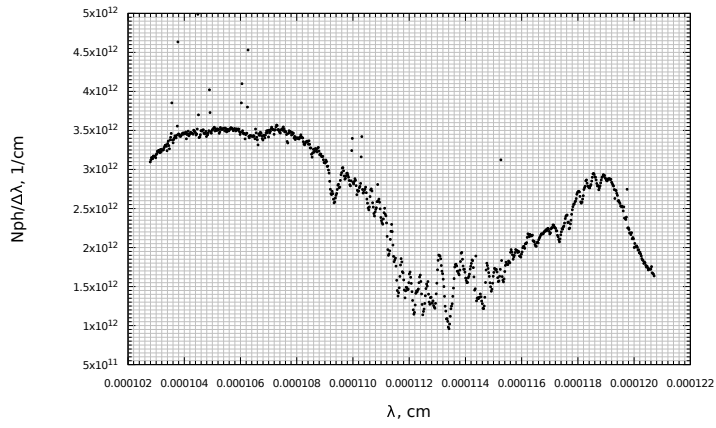


фильтр K (эксперимент)

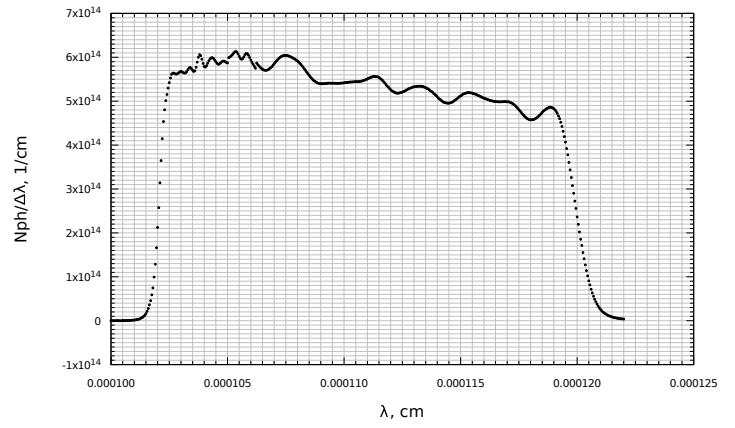


фильтр K (стандарт)

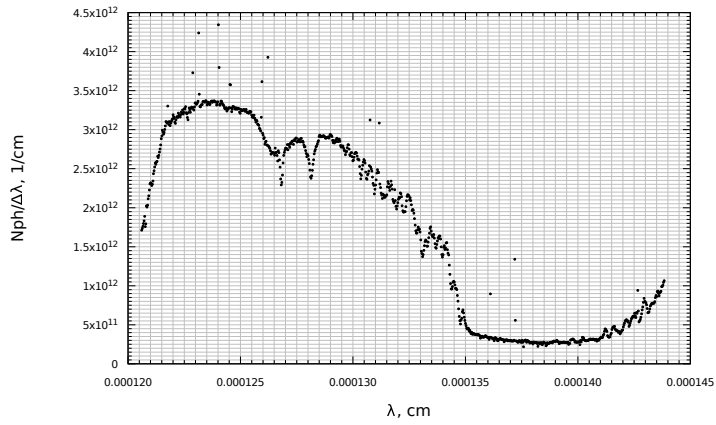
Рис. 6: Графики зависимостей числа фотонов в полосе  $\Delta\lambda$  от длины волны для спектральной щели SLIT6.



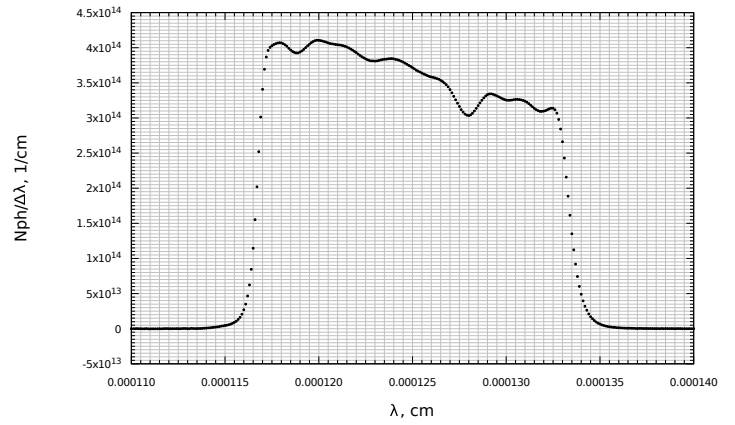
фильтр Y (эксперимент)



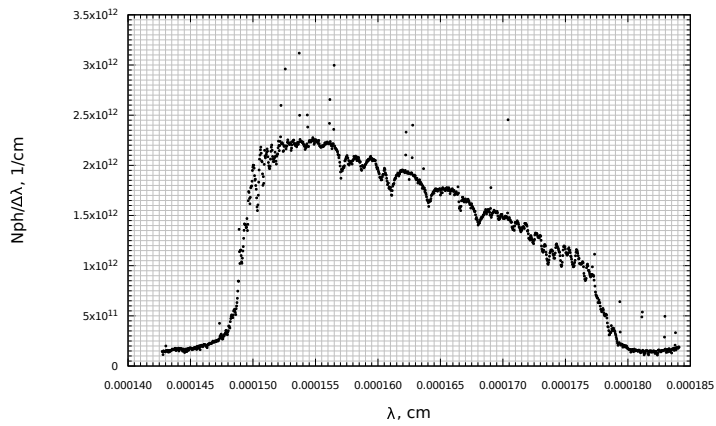
фильтр Y (стандарт)



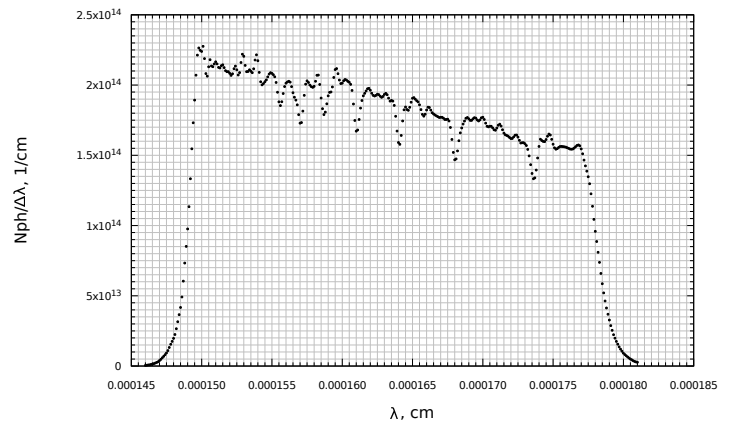
фильтр J (эксперимент)



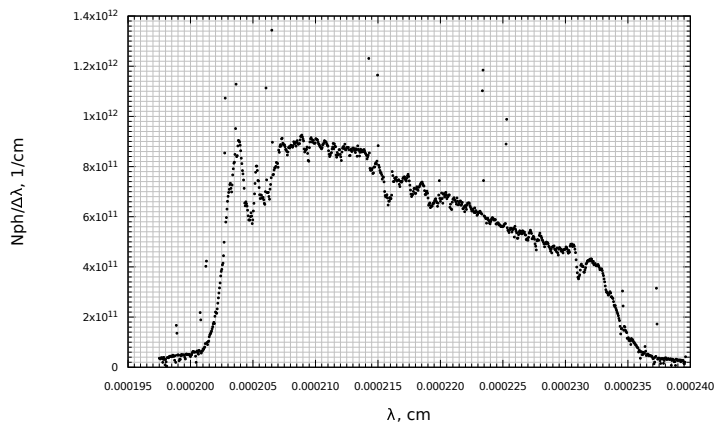
фильтр J (стандарт)



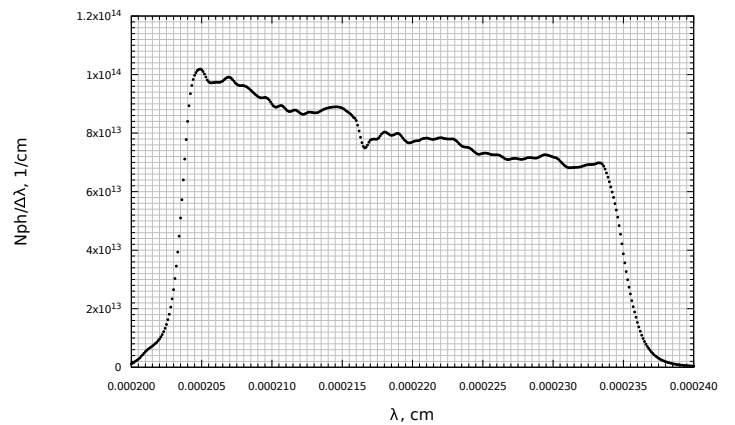
фильтр H (стандарт)



фильтр H (стандарт)



фильтр K (эксперимент)



фильтр K (стандарт)

Рис. 7: Графики зависимостей числа фотонов в полосе  $\Delta\lambda$  от длины волны для спектральной щели SLIT7.

## Список литературы

- [1] А. Э. Наджиб, 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