Это дополнение к описанию задачи В.Г. Корнилова. Теоретическую часть см. там же.

## • 4. Описание задачи

Цель задачи по исследованию ПЗС камеры заключается в определении важнейших пара-

метров любого ПЗС приемника и камеры:

-Получение кадров подложки и их анализ

- Получение темновых кадров и оценка скорости термогенерации

- Получение кадров при равномерном освещении детектора

- Изучение косметических особенностей матрицы

- Определение коэффициента преобразовани камеры и оценка величины шума считывания

- Проверка линейности ПЗС камеры

4.1 Установка

Исследование ПЗС матрицы будет проводится для красного канала интрумента Transient Doublebeam Spectrograph (TDS) установленного на 2.5-метровом телескопе Кавказской горной обсерватории МГУ (КГО). Подробное описание инструмента здесь <u>http://lnfm1.sai.msu.ru/kgo/instruments/tds/index.php</u>

Выполнение задачи необходимо проводить строго в дневное время и с согласованием с преподавателем, чтобы на приборе не было научных задач.

4.2. Для выполнения задачи потребуются средства удалённого доступа. В слуае ОС Windows это может быть клиент Putty (его потребуется установить), в случае ОС Linux будет достаточно терминала.

На данный момент возможности проводить измерения со своего компьютера из дома нет. (Если только для вас не сделали VPN доступ в КГО ранее)

Для доступа в на управляющий компьютер из сети ГАИШ (будучи подключенным в Wi-FI в ГАИШ или на компьютере в практикуме) необходимо зайти на сервер с ip адресом 192.168.15.60 порт 22 логин student пароль 987654321. Для этого в Android и Linux

достаточно набрать в терминале:

ssh <u>student@192.168.15.60</u>

согласится на добавление сервера в список доверенных и ввести пароль. В Putty под Windows приведённые выше данные вводятся в соответствующие поля окна.

Управление камерой производится через скрипт expose.py который запускается из домашней директории пользователя student (никуда переходить не нужно) через ./

student@tds:~\$ ./expose.py

ключ - h показывает справку

student@tds:~\$ ./expose.py -h

остальные ключи, необходимые для выполнения задачи

-N 3, количество кадров, по умолчанию 1

-е 20, экспозиция в секундах для каждого

-В, использовать синий канал

-R, использовать красный канал

-s, установить перед экспозициями минимальные скорости и температуру

-q, не писать кучу всякого в консоль.

-с "command", отправить команду демону и выйти.

-n, выключить автоматическую проверку правильной температуры и скорости чтения. Так же для выполнения задачи нам потребуются команды непосредственно для камеры, которые передаются через expose.py:

ТЕМР — устанавливает температуру. По умолчанию -70 градусов. Запуск без параметра запрашивает установленную. Например:

student@tds:~\$ ./expose.py -R -n -c "TEMP"

здесь - R означает используем красный канал - n — без автоматической проверки - с — передать команду. Команда пишется в кавычках и заглавными буквами, если не указано иного. После выполнения в консоли появится:

tudent@tds:~\$ ./expose.py -R -n -c "TEMP"

TEMP

OK TARGET\_TEMP=-30 TEMP\_STATUS=TEMP\_STABILIZED

здесь температура уже стабилизирована. Когда она не соотвествует требуемой пишет:

OK TARGET\_TEMP=-30 TEMP\_STATUS=TEMP\_NOT\_REACHED

SHTR — устанавливает режим работы затвора. (0 — автоматический, 1 — открыть, 2 — закрыть) В задаче нам потребуются автоматичекий и постоянно закрытый. Устанавливаем постоянно закрытый:

student@tds:~\$ ./expose.py -R -n -c "SHTR 2"

Так же при нажатии кнопки «стрелка вверх» (в termux она добавлена) можно увидеть предыдущие выполненные команды. То же самое можно делать при помощи команды history, чтобы не нажимать долго «стрелку вверх»:

student@tds:~\$ history | grep expose

выводит все команды содержавшие ехрозе

## 5 Порядок выполнения задачи.

Произвести вход на сервер как было сказано выше. Установить температуру камеры -30 градусов.

student@tds:~\$ ./expose.py -R -n -c "TEMP -30"

На термостабилизацию нужно время, поэтому необходимо контролировать установку температуры через соответствующий запрос и проводить дальнейшие действия лишь когда камера сообщит «TEMP\_STABILIZED».

К сожалению нет возможности пробросить графическую оболочку через два шлюза. Поэтому придётся копировать полученные файлы для просмотра на свой компьютер или выполнять задачу на компьютере detectors в практикуме. Для просмотра fits-файлов удобно пользоваться программой ds9 (в практикуме уже установлена) которую скачать можно здесь: <u>https://www.sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9/download</u>

При работе с ОС Linux внутри сети ГАИШ можно в адресной строке диспетчера файлов набрать следующее: sftp://student@192.168.15.60 и нажать enter, после чего ввести пароль



После этого можно будет работать как с директорией. Полученные кадры находятся в директории /home/telescope/cameras/TDS\_NEW/data и имя файла состоит из названия канала метки времени: года, месяца, часов, минут и секнуд в UT: TDSRГГГГММДДЧЧММСС.fits Ищете файлы с вашей отметкой времени (сразу после выполнения они будут в самом конце) и копируете их.

Обрабатывать полученные кадры можно любым удобным вам способом: matlab, astropy.

5.1 Получение кадров подложки и темновых кадров

После выхода камеры на температурный режим, установить затвор в состояние «закрыто» student@tds:~\$ ./expose.py -R -n -c "SHTR 2"

снять 2 – 3 кадра подложки с нулевой экспозицией

./expose.py -R -n -N 3 -e 0

и установить нужную экспозицию для

./expose.py -R -n -N 3 -e 300

получения темновых кадров 300 секнуд для температур -30 и -50 и 600 сек для -70. Снять 2 – 3 кадра темнового изображения. Снимать несколько кадров

всегда нужно обязательно, чтобы отфильтровать кадры со случайными событиями типа космических лучей.

Установить температуру –50°. После выхода температуры детектора на постоянный уровень, повторить описанные выше действия, меняя экспозицию для темновых изображений если надо. Затем то же самое делается для температуры –70°.

5.2 Оценка скорости термогенерации

Скорость термогенерации оценивается для каждой температуры по разности темнового кадра и кадра подложки. Разностный кадр требуется разделить на экспозицию и усреднить в области размером порядка 100 × 100, где нет косметических особенностей. Полученные 11данные нанести на график как зависимость от температуры и найти параметры А и В аппроксимирующей функции: у = Ae Bx.

5.3 Получение и анализ световых кадров плоского поля

Дальнейшие эксперименты выполняются при охлажденной до –70 ° С ПЗС матрице. Нужно перевести затвор камеры в автоматический режим и включить источник света и направить свет в прибор. Это делается с помощью epics-переменных. Для того, чтобы узнать состояние нужно запросить:

student@tds:~\$ caget FSU:LAMP на что приходит ответ: FSU:LAMP OFF необходимо переключить лампу в режим CON (непрерывный источник). Для этого при помощи команды caput изменяем переменную: student@tds:~\$ caput FSU:LAMP\_TARGET CON Old : FSU:LAMP\_TARGET OFF New : FSU:LAMP\_TARGET CON и применяем изменения: student@tds:~\$ caput FSU:CMD RUN 1

аналогично нужно проеверить установку щели:

student@tds:~\$ caget TDS:SLIT TDS:SLIT 1asec

нам нужна 1 asec, если это не так, то выполняем:

tudent@tds:~\$ caput TDS:SLIT

Old : FSU:LAMP\_TARGET OFF New : FSU:LAMP\_TARGET CON и перебрасывающего зеркала: student@tds:~\$ caget FSU:MIRROR FSU:MIRROR TDS значение должно быть CAL устанавливаем: student@tds:~\$ caput FSU:MIRROR\_TARGET CAL

Old : FSU:MIRROR_TARGET	TDS
New : FSU:MIRROR_TARGET	CAL
и применяем изменения:	
student@tds:~\$ caput FSU:CMD_RUN 1	
Old : FSU:CMD_RUN (	)
New : FSU:CMD_RUN	1

Получить не менее 3 кадров подложки, чтобы гарантировать на них отсутствие значимых спорадических событий. Проверку выбросом можно делать анализируя разность смежных кадров.

После этого перевести затвор в автоматический режим.

Далее, начиная с экспозиции в 1 с и до 5 с увеличивая каждый раз на 1 с,

получить для каждой не менее 3 световых кадров. Таким образом должна быть получена серия для примерно 4-5 экспозиций, покрывающая полностью динамический диапазон ПСЗ камеры.

Внимательно визуально проинспектировать изображения и описать замеченные косметические и систематические явления. Выбрать область размером примерно 100 × 100 пикселей, свободную от явных косметических дефектов для последующей обработки.

5.4 Определение коэффициента преобразования камеры и шума считывания

Для каждой экспозиции (включая кадры подложки) выбрать два лучших кадра и получить их разность.

Для каждого кадра определить средний уровень сигнала в пределах выбранной области изображения. Для разностного кадра определить дисперсию отсчетов в пределах той же области.

После завершения обработки всего набора данных постройте зависимость полученной дисперсии от среднего уровня светового сигнала. Для этого из среднего уровня кадров плоского поля нужно вычесть средний уровень подложки. Точка, соответствующая дисперсии разностного кадра подложки, будет находиться на х = 0. Все точки на кривой должны расположиться на прямой линии. Этот факт следует из предположения, что дисперсия светового сигнала пропорциональна самому сигналу, если число зарегистрированных фотоэлектронов подчиняется закону распределения Пуассона.

Провести линию линейной регрессии у = a + bx через полученные точки. Наклон этой кривой b = 2/G однозначно определяется коэффициентом преобразования G (е – /ADU ) и, соотвественно:

$$G = \frac{2}{b} \quad (3)$$

Зная коэффицинт преобразования нетрудно получить значение шума считывания r в электронах (е – ):

$$r = \sqrt{\frac{a}{2}}$$

Нетрудно догадаться, что фактор 2 появился в этих формулах, потому что мы анализировали дисперсию разностного кадра, которая вдвое больше дисперсии отсчетов одного кадра.

## 5.5 Оценка линейности ПЗС камеры

Под линейностью ПЗС камеры понимается линейный отклик на полную световую энергию, полученную детектором за время накопления. Для ее оценки можно использовать

полученные ранее значения среднего уровня светового сигнала с разными экспозициями. Единственное предположение в таком методе исследования линейности заключается в том, что интенсивность излучения источника света не меняется в течение эксперимента. Постройте и объясните зависимость среднего сигнала в электронах от времени экспозиции. Оцените относительную величину отклонения от идеальной линейной зависимости.

## 5.6 Исправление неоднородности поля

Перед тем как проверять возможность исправления неоднородности чувствительности матрицы, вычтите из всех световых кадров кадр подложки. Первый этап проверки — нужно выбрать кадр с уровнем сигнала не меньше 30 – 40 тысяч ADU, но в области линейности. Вычислить среднее значение по кадру и разделить кадр на это среднее значение. Полученный кадр и будет кадр плоского поля, на который нужно будет делить все остальные световые кадры.

Проверить качество выравнивания на изображениях, полученных с той же экспозицией, и на изображениях, полученных с другими экспозициями.