

Моделирование спектрального распределения энергии родительской галактики гамма-всплеска

Москвитин Александр

группа изучения гамма-всплесков САО РАН

Содержание

1	Родительские галактики (host galaxies) и массивное звездообразование	2
2	Подготовка и наблюдения на примере фотометрии	2
3	Начальная обработка данных	4
3.1	Формат используемых данных (FITS)	4
3.2	CCD-матрицы	6
3.3	Вычитание электронного "нуля" (bias)	7
3.4	Темновой ток (dark frames)	9
3.5	Деление на плоское поле (flat field)	9
3.6	Удаление следов космических частиц (cosmic hits)	9
3.7	Вычитание интерференционного "узора" (fringes)	10
3.8	Суммирование кадров	10
4	Астрометрическая привязка (WCStools, Aladin)	10
5	Фотометрия	13
5.1	SExtractor	13
5.2	DAOPHOT	14
5.3	Расчёт звёздных величин (на примере апертурной фотометрии)	16
5.4	Перевод звёздных величин в потоки	17
6	Моделирование (PEGASE + IDL)	17
6.1	Подготовка к моделированию	17
6.2	Расчёт моделей в PEGASE	17
7	Результаты моделирования спектра родительской галактики	20
8	Приложение 1: поле родительской галактики GRB 021004	22
9	Приложение 2: исследование GRB 110801A	25
10	Приложение 3: программы для MIDAS и IDL	26
	Список литературы	48

1 Родительские галактики (host galaxies) и массивное звездообразование

Исследование родительских галактик космических гамма-всплесков служат нескольким основным целям:

1. эмиссионные линии в спектрах родительских галактик (а также абсорбции в спектрах оптического послесвечения вследствие поглощения в межзвездной среде родительской галактики) позволяют определять *расстояния* (z) до источников гамма-всплесков, что необходимо для полной астрофизической интерпретации этого явления;
2. изучение свойств родительских галактик — это еще один важный инструмент для *выяснения природы прародителей*, без сомнения, одного из важнейших вопросов, стоящих перед исследователями;
3. также важным вопросом является исследование *эволюции с красным смещением* свойств родительских галактик.

Всё больше наблюдательных фактов указывает на связь гамма-всплесков с эволюцией массивных звезд [1]:

- Наблюдаемые *потоки в синей части спектров* родительских галактик позволяет судить об повышенном темпе звездообразования.
- Значительное *внутреннее поглощение* в родительских галактиках говорит о высокой концентрации газа и пыли, характерной для областей образования массивных звезд.
- Наличие *недостатка потока в области 2175\AA* (в системе отсчета галактики) говорит о наличии полосы поглощения углерода, что достаточно часто встречается в спектральных распределениях родительских галактик и может быть детектировано фотометрическими методами.
- *Распределение положений гамма-всплесков относительно центров родительских галактик* в картинной плоскости статистически совпадает с распределением массивных звезд (в тех случаях, когда было возможно проследить морфологию галактик).
- Наблюдения *интенсивных линий железа в рентгеновских послесвечениях* некоторых гамма-всплесков указывают на наличие плотного, обогащенного тяжелыми элементами газа, окружающего области формирования гамма-всплесков.

В данной работе представлены этапы одного из вариантов изучения свойств родительских галактик — моделирование спектрального распределения энергии по данным широкополосной фотометрии и потоков в эмиссионных линиях начиная с подготовки к наблюдениям и заканчивая основными выводами.

2 Подготовка и наблюдения на примере фотометрии

Родительские галактики гамма-всплесков, расположенные на красных смещениях от долей единицы почти до десятки, в большинстве своем представляют слабые по потоку объекты. Только для небольшой части из них могут быть получены спектры, имеющие

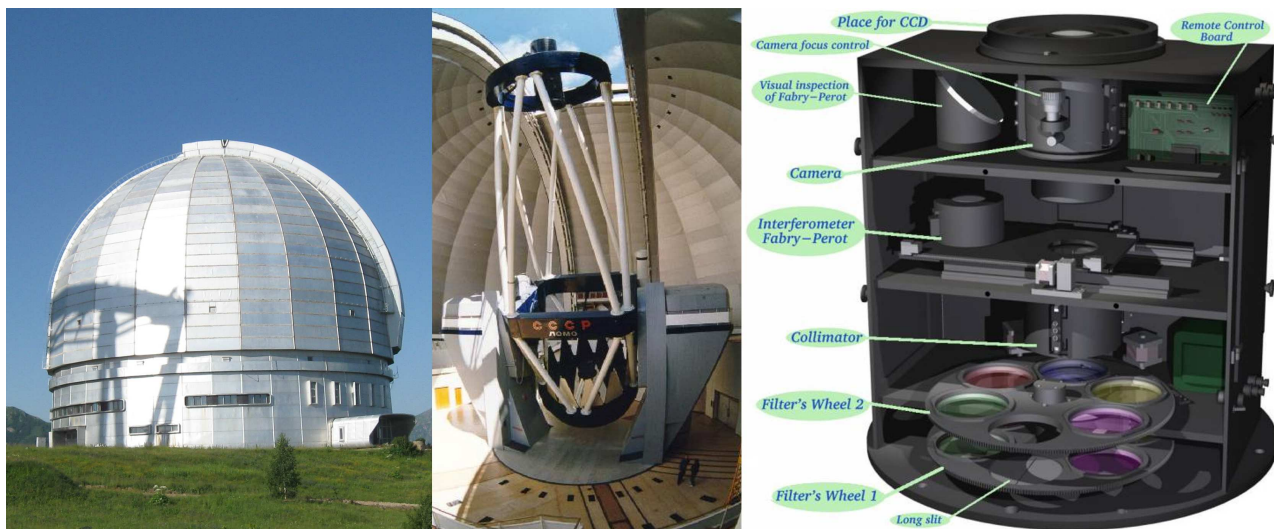


Рис. 1: Основные оптические телескопы САО РАН. Вверху: 6-метровый БТА + Scorpio (BVR_cI_c , длиннощелевая спектроскопия, многощелевая спектроскопия, спектрополяриметрия, ИФП) [2]. Внизу: метровый Zeiss-1000 + $UBVR_cI_c$ фотометр (другой вариант наблюдений: UAGS — спектрометр низкого разрешения).

достаточный для анализа поток в континууме. Обычно же возможно получить только *прямые снимки (для последующей фотометрии) и/или эмиссионный спектр*, где видны наиболее выдающиеся узкие галактические эмиссии.

Таким образом, для наблюдений родительских галактик обычно требуются телескопы большой апертуры (диаметр главного зеркала больше 4 метров), а иногда задачу способны выполнить только наблюдения с орбиты на космическом телескопе им. Хаббла.

Условия наблюдений, как то: телескоп + фильтры + приёмник (см. Рис. 1), наилучшая высота объекта над горизонтом, приемлемое качество изображений, качество атмосферы и т. д., выбираются исходя из имеющихся возможностей и конкретной поставленной задачи. В течение наблюдательной ночи необходимо произвести необходимое количество калибровочных работ, необходимых для последующей корректной обработки данных. В случае предельно слабых объектов эта техническая задача стоит особенно актуально.

3 Начальная обработка данных

В этом разделе показана методика обработки ”сырых“ CCD-данных на примере нескольких объектов, исследовавшихся в САО в разное время на разных инструментах (см. также [5]). Начальная редукция данных проводится в стабильной и широко распространённой среде ESO-MIDAS (Munich Image Data Analysis System), для которой написано огромное число программ. Обработка, в принципе, может проводиться в любой другой удобной среде, а представленные методы могут варьироваться, видоизменяясь под конкретные задачи и приборы, однако данное руководство является работающей на практике последовательностью шагов и может служить отправной точкой для поиска наилучшего варианта. Также перечислены некоторые свойства CCD матриц, на которых получены обрабатываемые данные, а также описаны некоторые свойства формата этих данных (описание fits файлов).

3.1 Формат используемых данных (FITS)

Основной формат получения, хранения и обработки астрономических данных — **FITS** (Flexible Image Transport System). В основном служит для передачи изображений любой мерности (чаще, 2D или 3D). Помимо изображения (или изображений) в файле прописываются т. н. шапка со строками описания — дескрипторами (ASCII, до 80 символов в одной строке), представляющими из себя необходимую для обработки данных информацию.

Ниже приведена шапка FITS-файла, полученного на БТА + Scorpio во время наблюдений GRB 110801A (сумма нескольких таких файлов показана на Рисунках 4 и 5).

```
SIMPLE =                               T / Written by IDL:  Wed Aug 10 02:14:46 2011
BITPIX =                               16 / No. of bits per pixel
NAXIS  =                               2 / No. of axes in matrix
NAXIS1 =                               1044 / No. of pixels in X
NAXIS2 =                               1046 / No. of pixels in Y
CRVAL1 =                               0 / Offset in X
CRVAL2 =                               0 / Offset in Y
DATE   = '2011-08-10'                  / Creation data of this file
ORIGIN = 'CCDServer v2.1'              / ACQUISITION SYSTEM
DATE-OBS= '2011/10/08'                 / DATE (YYYY/DD/MM) OF OBS.
TELESCOP= 'BTA 6-meter'                / TELESCOPE NAME
INSTRUME= 'SCORPIO '                  / INSTRUMENT
OBSERVER= 'Dodonov '                  / OBSERVERS
```

```

OBJECT = 'GRB 110801A' / NAME OF IMAGE
PROG-ID = 'GRB afterglows' / observational program
AUTHOR = 'Sokolov ' / AUTHOR OF PROGRAM
BSCALE = 1.00 / REAL = TAPE*BSCALE + BZERO
BZERO = 32768.0 /
DATAMAX = 61000.0 / MAX PIXEL VALUE
DATAMIN = 68.0 / MIN PIXEL VALUE
FILE = 'S8960625.FTS' / original name of input file
IMAGETYP= 'obj' / object, flat, dark, bias, scan, eta, neon, push
OBSERVAT= 'SAO RAS ' / observatory
START = '02:14:46' / measurement start time (local) (hh:mm:ss)
EXPTIME = 60.0 / actual integration time (sec)
CAMTEMP = 143.193 / camera temperature (K)
DETECTOR= 'EEV CCD42-40' / detector
RATE = 160.0 / readout rate (KPix/sec)
GAIN = 1.946 / gain, electrons per adu
NODE = 'B' / output node (A, B, AB)
BINNING = '2x2' / binning
PXSIZE = '27.0 x 27.0' / pixel size (mkm x mkm)
UT = '23:17:25.91' / universal time (hh:mm:ss.ms)
ST = '22:15:26.34' / sidereal time (hh:mm:ss.ms)
RA = '05:59:45.91' / Right Ascension (DD MM SS)
DEC = '+80:57:14.3' / Declination (DD MM SS)
EPOCH = 2011.61 / EPOCH OF RA AND DEC
Z = 50.8 / zenith distance
A = -168.5 / azimuth
PARANGLE= 303.0 / parallactic angle
ROTANGLE= 212.1 / field rotation angle
SEEING = ' 1.2 ' / seeing
FILTER = / filter
FOCUS = 38.31 / focus of telescope (mm)
IMSCALE = '0.357x0.357' / image scale ("/Pix x "/Pix)
CAMERA = 1 / camera number
SLITWID = / slit width (")
MIRRTEMP= 16.7 / mirror temperature (C)
DOMETEMP= 11.5 / dome temperature (C)
OUTTEMP = 11.4 / outside temperature (C)
WIND = 0.4 / wind (m/s)
CLOUDS = 0 / clouds (%)
PRESSURE= 595.6 / pressure
MODE = 'Image ' / mode of instrument
DISPERSE= ' ' / disperser, dispersion A/px
SPERANGE= '6620A EW=1500A' / spectral coverage
ORDER = ' 751' / order of dispersion TILTPOS
TILTPOS = ' ' / tilt position
FILTERS = ' R ' / name of both wheels
FILTPOS1= 0 / position of wheel number 1
FILTPOS2= 3 / position of wheel number 2
CAMFOCUS= 3.69 / focus of reducer (mm)
QGCONST = 10.4700 / Queensgate constant
LSCAN = 6598.95 / wavelength of IFP scan
CHANNEL = 40 / IFP channel
END

```

3.2 CCD-матрицы

Чувствительность детекторов, применявшихся в разное время в астрономических наблюдениях:

- Человеческий глаз 1 – 2%
- Фотографическая пластинка 20 – 30%
- ФЭУ 20 – 30%
- CCD 70 – 90%
- ИК детекторы (HgCdTe) 30 – 50%

Приборы с зарядовой связью (ПЗС, CCD = Charge-Coupled Device) были изобретены в 1969. В 1972 году группа исследователей из JPL (Лаборатория Реактивного Движения, США) основала программу развития ПЗС для астрономии и космических исследований. Три года спустя, совместно с учеными Аризонского университета, эта команда получила первое астрономическое ПЗС изображение.

Принцип действия: ПЗС-матрица состоит из поликремния, отделённого от кремниевой подложки. Под действием падающих на пиксели матрицы фотонов вследствие внутреннего фотоэффекта создаётся заряд, который может храниться и направленно передаваться в потенциальных ямах, образующихся в приповерхностном слое полупроводника при приложении к электродам внешних электрических напряжений. До экспонирования обычно подачей определённой комбинации напряжений на электроды происходит сброс всех ранее образовавшихся зарядов и приведение всех элементов в идентичное состояние. Далее комбинация напряжений на электродах создаёт потенциальную яму, в которой могут накапливаться электроны, образовавшиеся в данном пикселе матрицы в результате воздействия света при экспонировании. Чем интенсивнее световой поток во время экспозиции, тем больше накапливается электронов в потенциальной яме, соответственно тем выше итоговый заряд данного пикселя. После экспонирования последовательные изменения напряжения на электродах формируют в каждом пикселе и рядом с ним распределение потенциалов, которое приводит к перетеканию заряда в заданном направлении, к выходным элементам матрицы.

Для корректной обработки данных необходимо знать некоторые характеристики телескопа, CCD-матрицы и режима, в которой она работала при конкретных наблюдениях [3, 4].

1. Шум считывания (Readout-noise)

Шум усилителя и других элементов CCD перед конвертацией аналогового сигнала в цифровой. Величина порядка стандартного отклонения уровня электронного “нуля” (см. Параграф 3.3). Многие матрицы могут работать на нескольких скоростях считывания, при уменьшении времени считывания шум растёт.

2. Коэффициент усиления (Gain, ADC factor)

Количество электронов в одном отсчёте пикселя (ADU = Analog-to-Digital Units). Соответствует коэффициенту в аналого-цифровом преобразователе (АЦП, ADC = Analog-to-Digital Converter) при переходе от кулонов (соответствуют количеству электронов) через вольты в непрерывной шкале, вольты в дискретной, к ADU на последнем этапе. $[gain] = e^-/ADU$

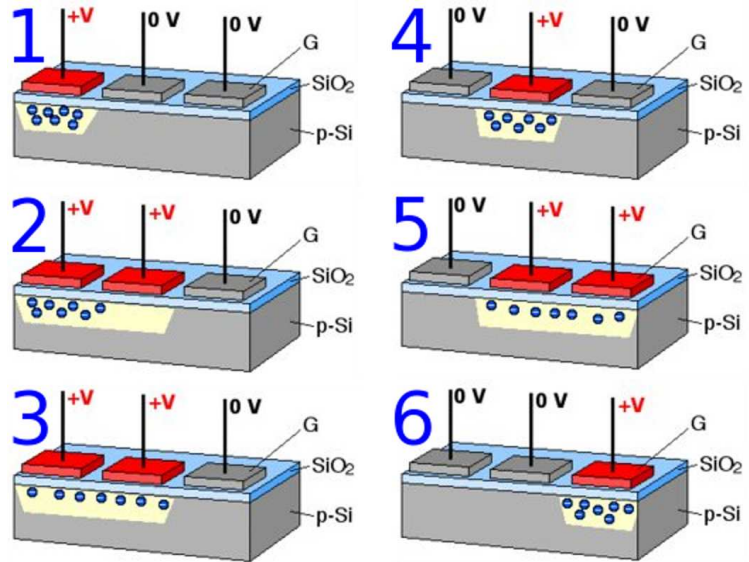


Рис. 2: Слева: Массив CCD матриц 2.5 метрового телескопа обзора Sloan Digital Sky Survey (SDSS) с фильтрами r, i, u, z, g . Справа: принцип переноса заряда в CCD. Пакеты зарядов (электроны, показаны голубым цветом) собираются в потенциальных ямах (показаны жёлтым), созданных приложенным напряжением на затворных электродах (G). Подача напряжения на затворные электроды в правильной последовательности перемещает пакеты зарядов.

3. **Динамический диапазон, разрядность CCD и передержанные объекты**
 Максимальное количество отсчётов в пикселе определяется *разрядностью АЦП* (обычно 15 или 16 бит в пикселе, что соответствует 32767 и 65535 ADU). Способность ячейки матрицы накапливать заряд не бесконечна и при превышении какого-то предела (saturation, передержанность объектов, сленг: “перекопленность”), заряд в данном пикселе может “перетечь” на другие пиксели (blooming), что выглядит на изображениях как длинные лучи около передержанных объектов. Незадолго до насыщения сигнала теряется линейность чувствительности, что нужно учитывать при наблюдениях для последующей корректной обработки.

Некоторые другие особенности CCD матриц указаны в последующих разделах обработки.

3.3 Вычитание электронного “нуля” (bias)

Электронный “нуль” (bias), являющийся уровнем шума CCD-матрицы, в виде аддитивной составляющей присутствует во всех кадрах, полученных на CCD. Этот искусственный порог вводится для *поддержания постоянно положительного сигнала при аналого-цифровом преобразовании, чтобы избежать потери данных о шуме.*

Обычно за ночь снимается несколько кадров с нулевой экспозицией, потом вычисляется медианный средний кадр, а из всех остальных изображений он **вычитается**. Это позволяет избавиться от следов космических частиц (попадающихся на кадрах электронного “нуля”) и уменьшить собственные шумы. Для вычитания электронного “нуля” используются следующие команды пакета MIDAS:

SET/CONTEXT ccdred — подключение библиотеки ccdred;

SET/CCD BS_MET=mmedian — установление типа усреднения кадров;

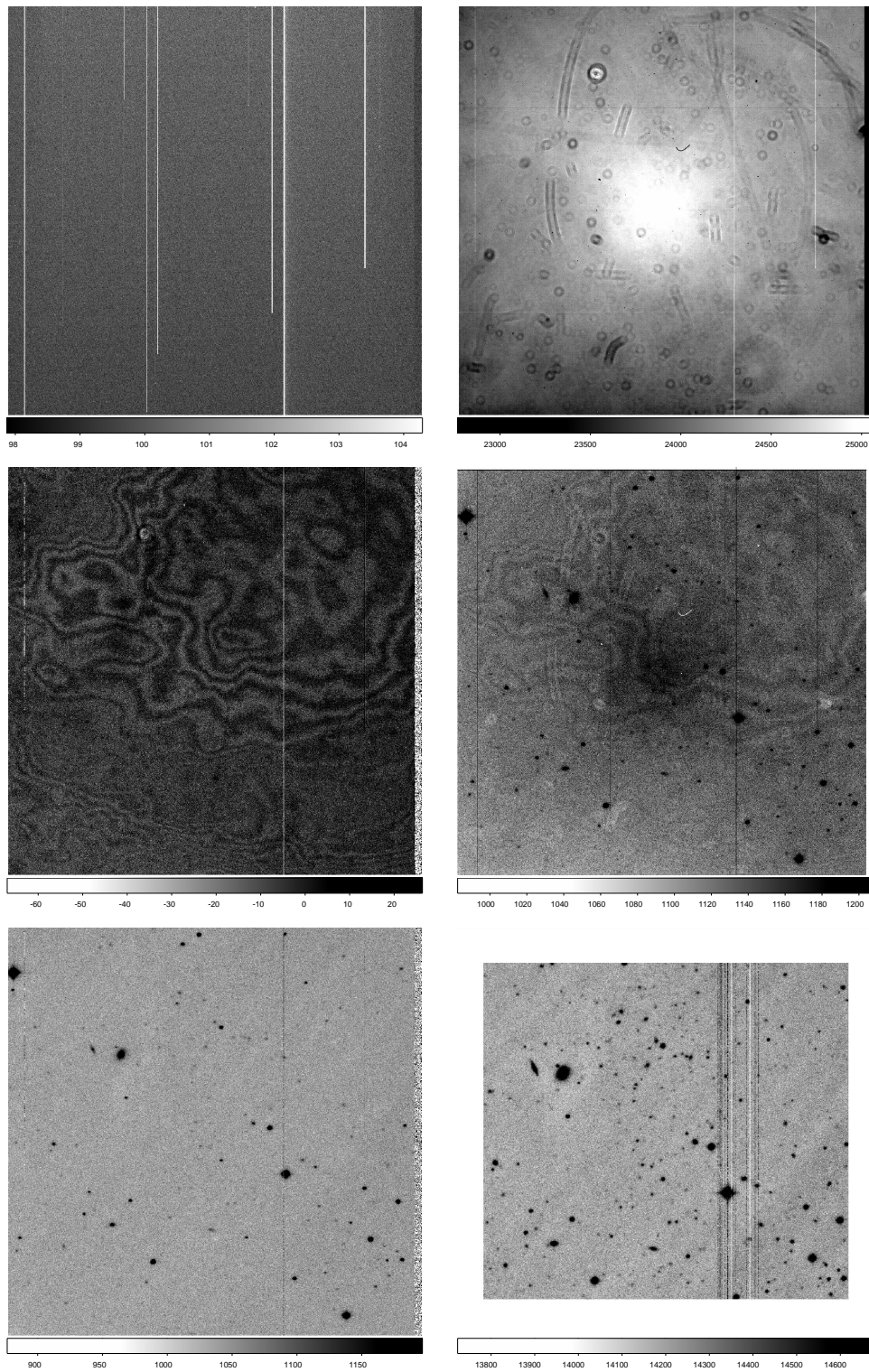


Рис. 3: Master bias медианно усреднённое поле электронного “нуля” (вверху слева, видны нечувствительные или слабочувствительные дефектные столбы), Master flat — медианно усреднённое плоское поле (вверху справа), поле интерференционного “узора” (fringe) из нескольких смещённых между собой редуцированных кадров объекта (посередине слева), сырое изображение поля (посередине справа, заметны дефектные столбы, кривизна поля, интерференционный “узор“), единичный обработанный кадр (снизу слева), сумма общего поля нескольких кадров (снизу справа). Для примера показаны этапы обработки поля сверхновой SN 2009de, полученного на телескопе Zeiss-1000 с матрицей EEV 42-40 в фильтре Rc.

CREATE/ICAT biases.cat bias*.bdf — создание каталога;
COMBINE/CCD BS biases.cat Sbias — построение суммарного кадра электронного "нуля";
COMPUTE/IMAGE B_bias.bdf = B.bdf - Sbias.bdf — вычитание суммарного кадра электронного "нуля" из остальных изображений.

3.4 Темновой ток (dark frames)

Некоторые малобюджетные CCD или матрицы без глубокого охлаждения (например, ISD017A, Photometrics, PixelVision и многие другие) имеют достаточно большой темновой ток, различный для каждого элемента матрицы. Такой ток является *собственным тепловым шумом матрицы — самопроизвольной генерацией заряда* — и имеет распределение неоднородное по полю (от пикселя к пикселю), но достаточно стабильный для поддерживаемой температуры характер. Для коррекции за этот эффект в течение ночи делается несколько экспозиций при закрытом затворе с длительностью такой же, как и в случае экспозиций для исследуемых объектов. Для понижения шумов производится медианное усреднение полученных кадров и затем результат **вычитается** из исходных данных. В среде MIDAS используются следующие команды для коррекции темнового тока:

```
SET/CCD DK_MET=mmedian — установление типа усреднения кадров;  
CREATE/ICAT dark.cat dark_200s_?.bdf — создание каталога кадров с темновым током;  
COMBIN/CCD DK dark.cat Sdark — построение усреднённого кадра темнового тока;  
COMPUTE/IMAGE debias_Sdark = Sdark - Sbias  
COMPUTE/IMAGE debias_Sfalt  
COMPUTE/IMAGE obj_red = obj - debias_Sdark - Sbias — вычитание усреднённого кадра темнового тока.
```

Многие современные профессиональные CCD матрицы (таких как TK 1024, EEV 42-40, E2V 42-90 и др.) являются мало-шумящими, поэтому коррекция за темновой ток может быть опущена.

3.5 Деление на плоское поле (flat field)

Неоднородности чувствительности CCD-матрицы корректируется делением кадров на плоское поле. Для получения снимков плоского поля обычно используется яркое вечернее и утреннее сумеречное небо или лампа непрерывного спектра, освещающая крышки главного зеркала. Для правильной коррекции, плоское поле снимается в каждом фильтре несколько раз, а затем для каждого же фильтра вычисляют усреднённый нормированный кадр плоского поля. Для удаления следов космических частиц и случайно попавших в поле зрения объектов, обычно делается несколько экспозиций с небольшими смещениями, а затем кадры медианно усредняются. Используемые команды практически те же самые, что для электронного "нуля", кроме типа данных: SET/CCD BS_MET=mmedian заменено на SET/CCD FF_MET=mmedian

3.6 Удаление следов космических частиц (cosmic hits)

Одним из недостатков приборов с зарядовой связью является их *чувствительность к космическим частицам*, которые на полученных кадрах однако имеют форму отличную от изображений звёзд и других изучаемых объектов. Существуют различные способы вычитания космических частиц, например вычитание медианного среднего нескольких кадров из данного. В работе может быть использован алгоритм, реализованный в процедуре FILTER/COSMIC пакета MIDAS.

Полный вариант обработки для мало-шумящих матриц, включающий вычитание электронного “нуля”, деление на плоское поле и удаление космических частиц, представлен в виде программы, адаптированной для данных с Zeiss-1000 (Zeiss_REDUC.prg в Приложении 3). Для сильно-шумящих матриц нужно добавить учёт темнового тока, как это указано в разделе 3.4.

3.7 Вычитание интерференционного “узора” (fringes)

Для тонких матриц (thinned CCD, например, TK1024, EEV 42-40) характерно присутствие в сигнале интерференционного “узора” (fringes), особенно в красной части спектра (R и I фильтры). Этот эффект получается из-за *интерференции практически монохромного излучения атмосферных эмиссионных линий в толще матрицы*. Для коррекции этого эффекта, в ходе наблюдений одного поля, производятся смещения телескопа на величину заведомо больше угловых размеров изучаемых объектов на единичном изображении (смещения должны проводиться, чтобы объект в следующей снимке не попадал на одну и ту же особенность интерференционного “узора”). Из редуцированных кадров (вычтен электронный “нуль”, поделено на плоское поле и удалены следы частиц) вычитается фон и полученные кадры усредняются с помощью медианы. Так как интерференционный “узор” является аддитивной составляющей, полученный суммарный кадр интерференционного “узора” **вычитается** из редуцированных данных. Алгоритм вычитания рассмотрен в программе FRINGES.prg (см. в Приложении 3).

3.8 Суммирование кадров

Применение метода последовательных смещений требует на последнем этапе редукиции сведения всех кадров в каждом из фильтров в единую систему координат. Эта задача может быть выполнена с помощью процедур ALIGN/IMAGE и REBIN/ROTATE пакета ESO-MIDAS. Первая процедура основана на вычислении геометрического преобразования (сдвиг, поворот, масштабирование) данного кадра к опорному с помощью набора реперных объектов. Обычно использовалось 7 – 15 опорных объектов. Для более точной астрометрии используются звездообразные объекты, что позволяет достигать точности 0.2 – 0.6 элемента матрицы при вычислении сдвига. Далее приведенные отдельные изображения складываются и кадрируются (отрезаются края, не вошедшие в общее поле пересечения отдельных изображений) с помощью команд COMPUT/IMAGE и EXTRACT/IMAGE, в дескрипторах O_TIME, START, RDNOISE и т. п. прописываются необходимые значения даты наблюдений, времени экспозиции, начала координат кадра, шума считывания (приблизительно равного шуму считывания одного изображения, умноженного на корень из числа сложенных кадров).

4 Астрометрическая привязка (WCStools, Aladin)

Для астрометрической привязки суммарного кадра может быть использовано несколько различных способов, например, каталог USNO-B1 (<http://nofs.navy.mil/data/fchpix/>) (или любой другой каталог, содержащий координаты звёзд, присутствующих на изображении) и программа imWCS пакета WCStools. IMWCS - утилита установки системы мировых координат (world coordinate system — WCS) в FITS/IRAF изображения. WCS — *соотношение между небесными координатами и пикселями изображения, которое описывается стандартным образом в заголовке (шапке) файла*. IMWCS работает с незначительно развернутыми изображениями (несколько градусов). Проекция на тангенциальную плоскость (координаты центра (прямое восхождение, склонение), масштаб и угол

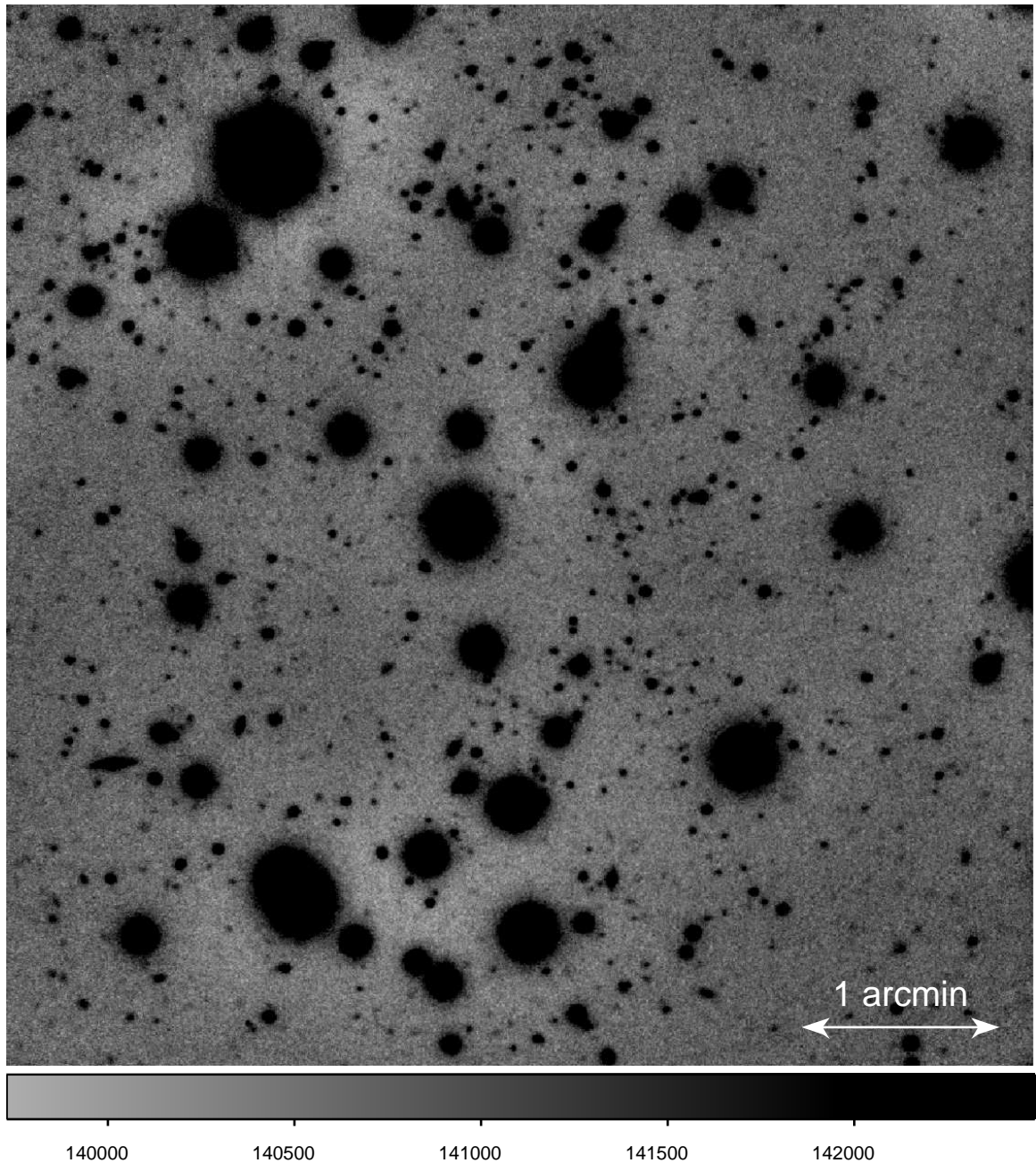


Рис. 4: Поле гамма-всплеска GRB 110801A, полученное на БТА + Scorpio 9.915 августа 2011 года в фильтре R_c, время экспозиции 2100 секунд. Несмотря на хорошее качество изображения (seeing, FWHM = 1".2), для областей кадра с высокой плотностью ярких звёзд величина сдвига недостаточна для корректного удаления следов интерференционного "узора" (фон около ярких звёзд перевычтен). К счастью, рядом с изучаемым объектом (расположенном в центральной области и показанном на следующем рисунке) такая проблема практически не возникла. Обычно для фотометрии значение фона выбирается в непосредственной близости от объекта, поэтому для ярких звёзд такое уменьшение потока фона не столь принципиально, но для предельно слабых объектов и в случае тесных полей важно продумать оптимальное решение (бóльшие сдвиги телескопа или отдельные пустые площадки для составления кадра интерференционного "узора"). Для интересующихся: подробности недавних наблюдений этого интересного гамма-всплеска, показавшего подъём блеска на 3 величины за первые пол-часа, см. на Рис. 5 и в Приложении 2.

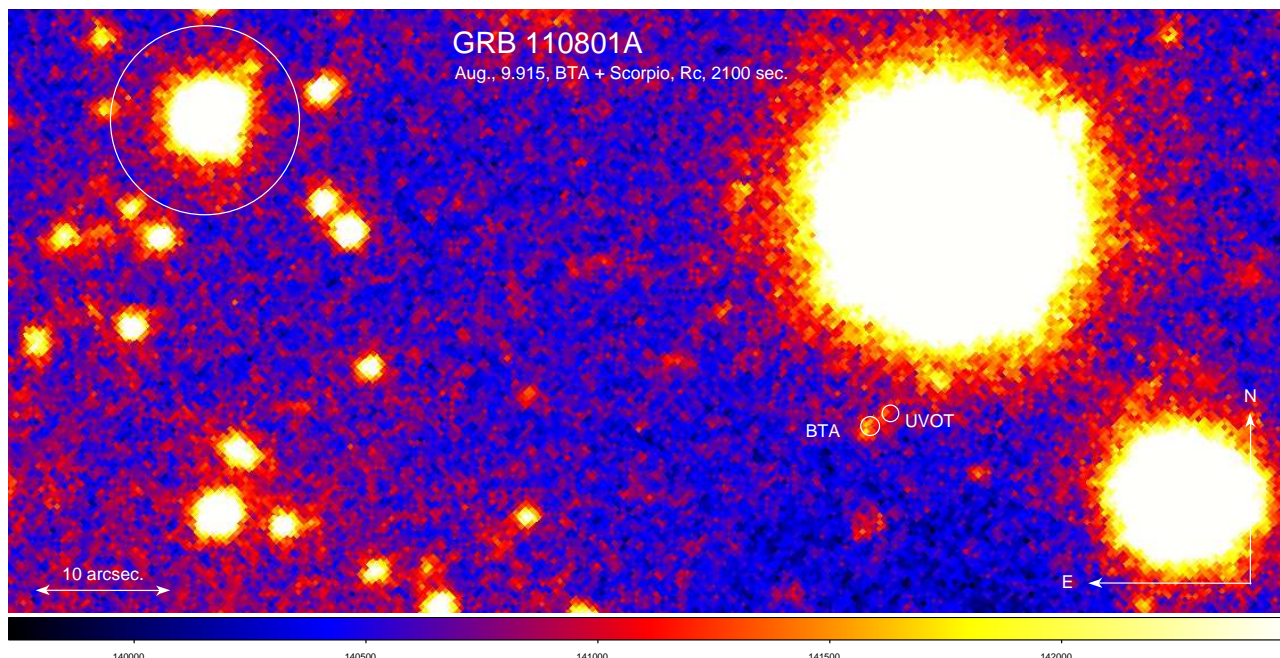


Рис. 5: Увеличенная область поля гамма-всплеска GRB 110801A, полученное на БТА + Scorpio (см. предыдущий Рисунок 4 и Приложение 2). Точность астрометрической привязки составила $0''.7$, заметно, что объект, по всей видимости, двойной. В случае слабых объектов или тесных полей точность привязки влияет существенную роль (равно как и высокое качество изображений).

поворота) вычисляется по совпавшим звёздам изображения и звёздам опорного каталога. В качестве опорных каталогов поддерживаются HST Guide Star Catalog, USNO A, SA и UJ каталоги, PPM и SAO каталоги, а также каталоги, определенные пользователем (<http://w0.sao.ru/hq/zhe/manuals/usno.html>)

Опорные звезды для привязки к мировой системе координат должны были удовлетворять следующим критериям:

- их центры должны хорошо определяться;
- их изображения не должны быть передержаны;
- они не должны быть слишком слабыми, чтобы их положение не искажалось фоновым шумом;
- собственное движение должно отсутствовать или быть минимальным, т.к. исследуемая область и опорные каталоги получены в разное время, за которые звезды могут заметно сместиться;
- они не должны накладываться друг на друга.

В качестве альтернативы `wcstools` может применяться кросс-платформенная программа `Aladin.jar`, однако ошибку привязки в таком случае придётся вычислять вручную, сравнивая мировые координаты опорных звёзд и их физические центры на изображении после привязки. В любом случае помощь могут оказать такие вспомогательные средства как `ds9` или `skycat`.

5 Фотометрия

5.1 SExtractor

Фотометрия (измерение потока от изучаемого объекта) ярких одиночных звёзд представляет собой задачу значительно более простую, нежели фотометрия слабых или протяжённых объектов, тесных полей или изображений, полученных на приборах с существенными аберациями оптики. Существует несколько основных методов фотометрии, основными из которых являются *апертурная* и *PSF*.

Для поиска и массовой фотометрии объектов в поле может быть использован программный пакет **SExtractor** [6]. Критериями для разделения звездообразных и протяжённых объектов служит параметр “STAR CLASS” пакета **SExtractor** (для звёзд “STAR CLASS” > 0.7).

Пакет позволяет измерять несколько видов звездных величин, среди которых наиболее подходящими являются:

- *Изофотная величина* определена как интегральный поток по области с интенсивностью выше заданного предела.
- *Исправленная изофотная величина* определялась следующим способом: профиль объекта аппроксимировался двумерной гауссианой и, исходя из найденных параметров, вводилась соответствующая поправка к изофотной величине.
- *Автоматическая величина* В работе [7] было показано, что для объектов со звездообразными, степенными и экспоненциальными профилями, свернутыми с гауссианой, примерно 92% потока заключено в апертуре радиуса kr_1 , где $k \approx 2$, а $r_1 = \frac{\sum rI(r)}{\sum I(r)}$. В пакете **SExtractor** определяется эллиптическая апертура с главными осями ϵkr_1 и kr_1/ϵ , где ϵ - эллиптичность. Автоматическая величина определена как звездная величина в такой апертуре.
- *Апертурная величина* определена как величина, измеренная в круговой апертуре, заданной пользователем.

Полная величина равна автоматической, если в соответствующую апертуру данного объекта не попадает соседний, изменяющий зв. величину более, чем на 0.1 зв. величины. В противном случае используется исправленная изофотная величина.

Построение фона — очень важная процедура при автоматическом поиске объектов. Аппроксимированный фон проверяется на отсутствие структур около ярких объектов и резких флуктуаций на малых масштабах (меньше, чем 5 – 7 FWHM).

В качестве предела обнаружения обычно выбирается 3σ -превышение интенсивности над фоном, где σ - флуктуация фона.

Пример наиболее значимых параметров в конфигурационном файле *.sex, например, для изображений с БТА + Scorpio:

```
PARAMETERS_NAME R_BTA.param # name of the file containing catalog contents
DETECT_THRESH 0.5 # <sigmas> or <threshold>,<ZP> in mag.arcsec-2
ANALYSIS_THRESH 0.5 # <sigmas> or <threshold>,<ZP> in mag.arcsec-2
PHOT_APERTURES 20 # MAG_APER aperture diameter(s) in pixels
SATUR_LEVEL 1485000. # level (in ADUs) at which arises saturation
GAIN 2.00 # detector gain in e-/ADU
PIXEL_SCALE 0.352 # size of pixel in arcsec (0=use FITS WCS info)
SEEING_FWHM 1.3 # stellar FWHM in arcsec
```

Запуск SExtractor'a: \$ sex sub33R2100.fits -c R_BTA.sex

5.2 DAOPHOT

Пакет DAOPHOT (существуют версии для MIDAS и IRAF) позволяет провести PSF фотометрию всех объектов поля, построив функцию рассеяния точечного объекта по наиболее ярким непередедержанным звёздам. Требования к таким звёздам: максимум потока должен быть в пределах линейного диапазона чувствительности CCD матрицы, не должно быть ярких соседей, объекты должны располагаться достаточно далеко от краёв для построения полноценных кривых роста. Достаточно хорошее руководство по DAOPHOT на русском языке, написанное Сергеем Копосовым: <http://lnfm1.sai.msu.ru/~math/daophot/node2.html> Перед запуском пакета необходимо видоизменить конфигурационные файлы в соответствии с параметрами приёмной матрицы, характеристиками изображения и требованиями к каталогу найденных объектов. Ниже приводятся примерные параметры для изображений с БТА + Scorpio (файлы daophot.opt, photo.opt, allstar.opt надо править до запуска DAOPHOT, либо в процессе изменять значения каждого параметра вручную, однако в исходные файлы введённые значения не сохраняются). Нужно сказать, что для изображений с большими значениями отсчётов, DAOPHOT может выдавать ошибку из-за пропадания пробелов в выходных файлах, поэтому их необходимо править вручную, либо использовать усреднённый кадр вместо суммарного.

daophot.opt

```
re = 1.542      ! READ NOISE
ga = 2.04      ! GAIN. Gain in  $e^{-}$ /ADU$.
ex = 5         ! EXTRA PSF CLEANING PASSES
wa = 1         ! WATCH PROGRESS
ps = 24        ! PSF RADIUS = maximal radius of brightest
                ! star with the wings of profile
LO = 10        ! LOW GOOD DATUM
hi = 45000     ! HIGH GOOD DATUM (normal part of sensitivity
                ! of CCD * numbers of added image
FW = 9.2       ! FWHM OF OBJECT
TH = 0.7       ! THRESHOLD (sigmas)
FI = 9.2       ! FITTING RADIUS ~ optimal FWHM
AN = 6         ! ANALYTIC MODEL PSF
VA = 2         ! VARIABILITY OF PROFILE
```

photo.opt

```
A1 = 2.
A2 = 3.
A3 = 4.
A4 = 5.
A5 = 6.
A6 = 8.
A7 = 10.
A8 = 12.
A9 = 15.
AA = 18.
AB = 21.
AC = 24.
IS = 28.
OS = 34.
```

allstar.opt

```
fi = 9.2
```


is = 9.2
os = 28
MA = 5

Основные этапы фотометрии изображений с помощью пакета DAOPHOT в среде MIDAS (предложенные по умолчанию шаги опущены, надо просто жать enter):

1. SET/CONTEXT DAOPHOT — подключение пакета
2. DAOPHOT/DAOPHOT — запуск фотометрии двумерных изображений
3. ATTACH aver — присоединение изображения “aver.bdf”
4. FIND — поиск объектов на изображении (нужно ввести количество усреднённых и суммированных изображений)
5. PHOTOMETRY — фотометрия в значениях апертур, заданных в файле photo.opt
6. PICK — выбор звёзд для построения PSF профиля, можно выбрать заведомо больше, потому что часть из них отсеется.
7. выход из DAOPHOT/DAOPHOT командой EXIT, чтобы перейти к отбору PSF звёзд
8. @@ apercorr aver aver aver photo — запуск программы выбора наилучших PSF звёзд и расчёта поправки за конечную апертуру, в ходе работы нужно ввести количество звёзд, найденных командой FIND. Далее необходимо удалить звёзды, чьи кривые роста ухудшают среднюю кривую (звёзды с соседями, искажённые за счёт абераций и т. п.) и пересчитать поправку заново. Запомнить значение поправки aper=m1-m23.
9. DAOPHOT/DAOPHOT → ATTACH aver → PSF — запуск построения PSF профиля.
10. EXIT → ALLSTAR/DAOPHOT, далее ввести название изображения aver и после завершения фотометрии проконтролировать вычитание звёзд на дополнительном изображении *s.bdf
11. WRITE/KEYWORD TRANSF/D/1/4 1,1,1,1 — подготовка к выводу результатов
12. DAOMID/DAOPHOT aver.als — конвертация таблиц DAOPHOT в таблицы MIDAS
13. @@ mag_dao averals 60 0 0 2.558 — учёт времени экспозиции, зенитного расстояния, коэффициента атмосферной экстинкции и поправки за конечную апертуру aper=m1-m23 (результат работы программы apercorr)
14. ASSIGN/PRINT FILE aver.dat — печать в файл исправленных данных.

Далее можно приготовить *.reg файл для ds9 и, нанеся объекты на обработанное *.fits изображение (пригодится MIDAS-команда OUTDISK/FITS aver.bdf aver.fits), найти объект и стандарты для фотометрии.

5.3 Расчёт звёздных величин (на примере апертурной фотометрии)

Величина объекта в инструментальной системе вычисляется следующим образом:

$$m_{aper} = -2.5 \cdot \log\left(\frac{F}{T_{exp}}\right) - \frac{k}{\cos Z}, \quad (1)$$

где F - поток от объекта (в отсчетах) в заданной апертуре, T_{exp} - время экспозиции (в секундах), k - коэффициент атмосферной экстинкции и Z - зенитное расстояние (в градусах). Коэффициенты атмосферной экстинкции для САО могут быть взяты из работы [8] и равны соответственно $k_B = 0.34$, $k_V = 0.21$, $k_{R_c} = 0.15$ и $k_{I_c} = 0.1$. В случае звездообразных объектов для вычисления инструментальной величины используется так называемая поправка за конечную апертуру. Тогда выражение для полной величины записывается как

$$m = m_{aper} - \delta m,$$

где δm - поправка за конечную апертуру, определяемая по кривым роста (увеличение потока объекта с ростом апертуры) для ярких звездообразных объектов в поле.

Для определения ошибок измерения зв. величин вычислялось отношение “сигнал/шум”:

$$\frac{S}{N} = \frac{F}{\sqrt{F/g + A \cdot \sigma^2}},$$

где F - поток от объекта (в отсчетах) в заданной апертуре, g - квант преобразования (в электронах/отсчет), A - количество элементов в апертуре и σ^2 - дисперсия фона (в отсчетах). Затем вычисляется ошибка:

$$\sigma_m = \frac{2.5}{\ln 10} \cdot \frac{\sigma_F}{F} = \frac{2.5}{\ln 10} \cdot \frac{1}{S/N}.$$

Фотометрическая калибровка может проводиться с помощью привязки вторичных стандартов в поле с помощью каталога Ландольта [9], Стетсона (<http://cadwww.dao.nrc.ca/cadcbn/wdb/astrocat/stetson/query>) или каких-нибудь хорошо “привязанных” полей. В случае стабильной прозрачности неба, часть наблюдательного времени может быть потрачена на наблюдение таких стандартов из каталога. Для перехода от инструментальных величин к стандартным используются следующие соотношения:

$$\begin{aligned} B - b &= C_0^B + C_1^B \cdot (b - v) \\ V - v &= C_0^V + C_1^V \cdot (b - v) \\ R_c - r &= C_0^{R_c} + C_1^{R_c} \cdot (v - r) \\ I_c - i &= C_0^{I_c} + C_1^{I_c} \cdot (r - i), \end{aligned} \quad (2)$$

где C_0^{B,V,R_c,I_c} , C_1^{B,V,R_c,I_c} — нуль-пункты и цветовые коэффициенты, b, v, r, i — инструментальные величины и B, V, R_c, I_c — величины в стандартной фотометрической системе. Нуль-пункты и цветовые коэффициенты определяются из наблюдений и фотометрии стандартных звезд, а затем линейной аппроксимацией системы уравнений.

В худшем случае для привязки можно использовать такие каталоги, как SDSS (предварительно конвертировав звёздные величины выбранных стандартов в необходимую систему), USNO и подобные обзоры (обычно используется при невозможности провести калибровочные работы или как временное решение. В этом случае стандарт(ы) указываются). Качество абсолютной калибровки в случае применения такого способа заметно снижается.

5.4 Перевод звёздных величин в потоки

Для сравнения результатов моделирования и наблюдений, полученные после фотометрии звёздные величины m и ошибки их определения dm исправляются за поглощение в нашей Галактике в соответствии с картами распределения пыли [10] и законом экстинкции Млечного Пути [11] (MW_{ext} -поправки), переводятся из фотометрической системы Веги в АВ-систему (с известными коэффициентами AB_{off} для каждого фильтра), а затем в плотности потока F и ошибки плотностей потока dF (выраженные в μJy) [12].

$$F = 10^{-0.4 \cdot (m + AB_{off} - MW_{ext} + 48.568) + 29} \quad (3)$$
$$dF = 0.4 \cdot \ln(10) \cdot F \cdot dm$$

В приложениях к данной работе содержится IDL-код перевода из звёздных величин в плотности потока на основе вышеуказанных формул. Именно получившиеся потоки в имеющихся фильтрах, а также характеристики самих фильтров, такие как эффективная длина волны, полуширина и кривые пропускания оптической системы для каждой полосы в виде текстовых файлов двухколоночного формата необходимы для моделирования.

6 Моделирование (PEGASE + IDL)

6.1 Подготовка к моделированию

Для того, чтобы уменьшить огромное количество рассматриваемых спектральных распределений, в качестве дополнительных начальных данных могут быть использованы потоки наиболее ярких галактических эмиссий (и ошибки их определения). Для этого необходимо получить спектральные данные, однако в некоторых случаях такие данные публикуются в литературе (поиск по базе http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html позволит это выяснить). Также можно провести сравнение получившегося широкополосного распределения энергии со спектрами галактик различных типов, чтобы при детальном моделировании исключить неподходящие типы. Из эмиссионного спектра галактики или из наблюдений спектра послесвечения мы знаем красное смещение объекта. В случае отсутствия таких данных можно заранее провести моделирование фотометрического красного смещения с помощью программы HyperZ (см. доклад Оскара Браво). Принимая некоторые космологические параметры (например, $H_0 = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$, $\Omega_M = 0.3$ и $\Omega_\Lambda = 0.7$), мы можем получить оценку физического расстояния до объекта (в принципе, неопределённости, связанные с выбором этих параметров, а следовательно, неточности определения физического расстояния, можно также включить в расчёт).

6.2 Расчёт моделей в PEGASE

Для детального моделирования спектрального распределения энергии родительских галактик используется программный пакет PEGASE (**P**rojet d'**É**tude des **G**Alaxies par **S**ynthèse **É**volutive ftp://ftp.iap.fr/pub/from_users/fiov/PEGASE/PEGASE.2/) [13].

Принципиальная идея развитого в нашей группе метода состоит в том, что модельный спектр галактики представляется не единственным спектральным распределением энергии [13], а суммой двух компонент [14]. Первая представляет собой молодое население галактики, то есть моделирует излучение областей звездообразования (далее вспышечная компонента), и вторая – излучение старого звездного населения. Алгоритм вычислений можно представить в виде следующей последовательности шагов:

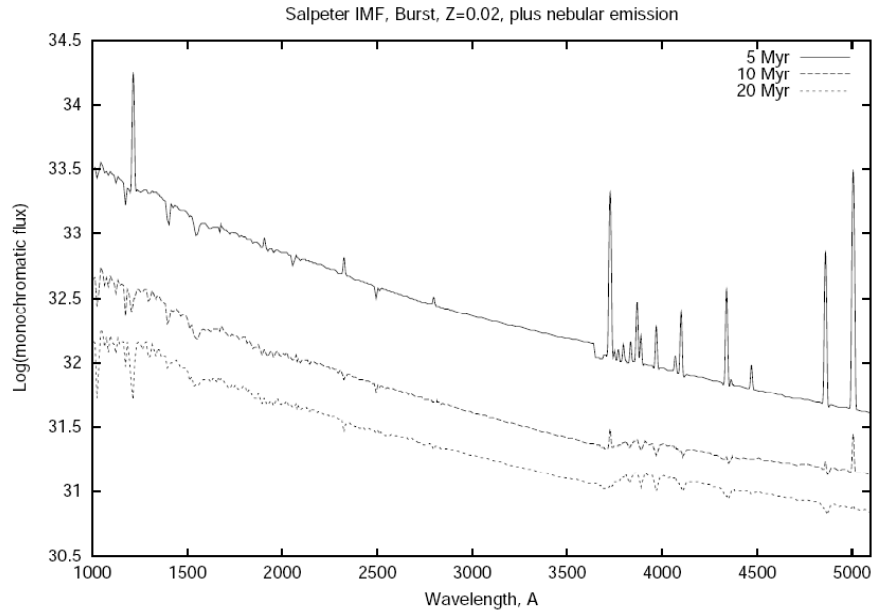


Рис. 6: Спектральная эволюция мгновенной вспышки звездообразования массы, равной $1M_{\odot}$ для 5, 10 и 20 миллионов лет после начала. Небулярные эмиссионные линии доминируют в спектре примерно до 10 миллионов лет. По оси ординат отложены логарифмы монохроматических светимостей, выраженных в единицах $\text{эрг с}^{-1} \text{Å}^{-1} M_{\odot}^{-1}$.

- Вычисление массива модельных распределений энергии с помощью пакета PEGASE. Входными параметрами для моделирования являются начальная функция масс, начальная металличность и сценарий звездообразования. Самым простым вариантом может являться начальная функция масс Солпитера, определенная в диапазоне звездных масс от $0.1M_{\odot}$ до $120M_{\odot}$. Для металличности для простоты могут быть приняты два значения, равные солнечной (Z_{\odot}) и одной десятой от солнечной ($0.1 Z_{\odot}$) (можно также рассмотреть и очень малометаллические варианты или наоборот, варианты с металличностью больше солнечной, однако количество моделей и время расчёта увеличивается в разы). В качестве сценария звездообразования были предлагаются простой мгновенный вспышечный (instantaneous burst) и более сложный сценарий экспоненциального затухания ($SFR \sim e^{-t/\tau}$). Для последнего требуется задать так называемое характерное время затухания τ , то есть время, за которое темп звездообразования падает в e раз. Можно задать диапазон значений для τ от 10 до 20000 млн. лет (или для определённости, ограничиться современными оценками возраста Вселенной). Нормировочный множитель для экспоненциального сценария должен быть выбран так, что интеграл по принятой числовой сетке был равен 1. Для всех модельных спектров PEGASE вычисляет значения потоков в небулярных линиях и континууме. Значения возрастов модельных спектров можно оставить равными принятым по умолчанию в пакете PEGASE, то есть от 0 до 20 млрд. лет (сетка из 69 значений). Далее результаты расчетов выделяются из выходного файла PEGASE в отдельные спектры, соответствующие каждому значению возраста, металличности и параметра τ . Организовано это в виде подпрограммы кода FIT_MODEL4.pro, данного в Приложении 3. Спектры представляются в виде текстовых файлов двух-колоночного формата: первая колонка – длина волны, вторая – монохроматическая светимость.
- Пакет PEGASE вычисляет спектральное распределение энергии на красном сме-

щении $z = 0$, то есть представляет результаты, выраженные в монохроматических светимостях, тогда как из наблюдений мы получаем спектральную плотность потока. Так как пакет PEGASE представляет монохроматические светимости, отнесенные к массе Солнца, нужно задать и сетку значений для масс (например, логарифмическую сетку с шагом 0.25 в диапазоне от 6.0 до 11.0, то есть массы моделируемых галактик лежат в пределах $10^6 - 10^{11} M_{\odot}$). Нужно помнить, что это светящаяся масса (звезды, газ), то есть без учета темной материи. Значения светимостей выходных спектров, полученных в предыдущем пункте, необходимо умножить на массу и выражение $1/(4\pi R^2)$, где R - фотометрическое расстояние, соответствующее красному смещению моделируемой галактики. Длины волн должны быть переведены в систему отсчета наблюдателя, то есть умножены на фактор $(1 + z)$. Эта же процедура должна быть выполнена и для светимостей рассчитанных небулярных линий.

По известному наблюдаемому потоку в дублете [OII] 3727Å/3729Å моделируемых галактик фиксируется вспышечная компонента, то есть формируется набор модельных непрерывных спектров вспышечной компоненты, для которых поток в этой линии в пределах 1σ от наблюдаемого. Выбор именно линии [OII] 3727Å/3729Å обусловлен тем, что она свободна от влияния звездных абсорбций в отличие от, например, линий бальмеровской серии.

Таким образом формируются две библиотеки (вспышечная компонента и старое население) предварительных спектров для каждой из моделируемых галактик в виде текстовых файлов, соответствующих каждому значению входных параметров (тип звездообразования, возраст, металличность, параметр τ , масса).

- Одной из целей предложенного метода является оценка внутренней экстинкции в родительских галактиках. Для простоты могут быть выбраны три типа законов. Первый соответствует закону экстинкции в нашей Галактике [11] (MW-закон); второй — закон, полученный эмпирически из выборки спектров галактик со звездообразованием в локальной Вселенной [15] (SB-закон); третий — закон экстинкции для Малого Магеланова Облака [16] (SMC-закон). Кривые для трёх законов представлены на Рисунке 7. Законы хорошо параметризуются в широком спектральном диапазоне отношением $R_V \equiv A_V/E(B - V)$. В предложенном методе используются значения для R_V , равные:

3.1 для MW-закона,

4.05 для SB-закона и

2.72 для SMC-закона.

Экстинкция накладывалась только на вспышечную компоненту, исходя из того факта, что поглощение в областях интенсивного звездообразования сильнее, чем в среднем по галактике. Для простоты была принята модель экрана для распределения пыли (dust-screen model). Тогда математическое выражение для покраснения принимает вид $F_{obs}(\lambda) = F_{int}(\lambda)10^{-0.4 \cdot A_{\lambda}}$, где $F_{obs}(\lambda)$ и $F_{int}(\lambda)$, соответственно, наблюдаемый и собственный (без поглощения) потоки, $A_{\lambda} = k(\lambda)E(B - V)$ — экстинкция на длине волны λ . Далее спектры вспышечной компоненты и старого населения складывались. Полученная сумма является готовым модельным спектром галактики. Следует отметить, что в данной реализации метода сценарии звездообразования (вспышечный или экспоненциальный) всегда одинаковы для обеих компонент.

- Далее выполняется процедура подгонки готовых модельных спектров к наблюдаемому широкополосным. Полученные в предыдущем пункте готовые модельные спектры галактики интегрируются с кривыми пропускания используемых в наблюдениях фильтров, затем вычисляется значение статистики χ^2 :

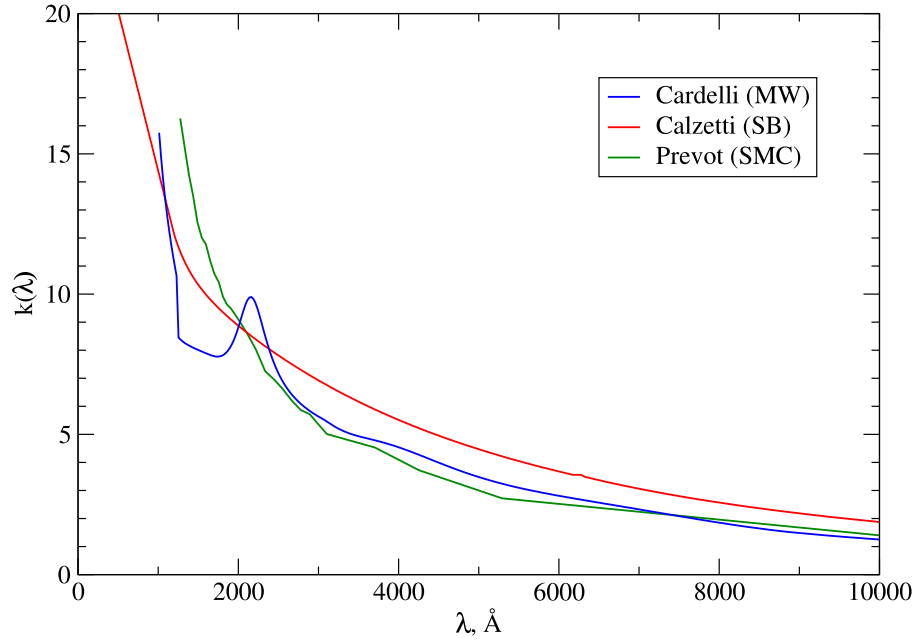


Рис. 7: Кривые законов экстинкции, используемые в моделировании. MW-закон — экстинкция в нашей Галактике, SB-закон — экстинкция локальных галактик со звездообразованием, SMC-закон — экстинкция в Малом Магелановом Облаке

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(f_{obs,i} - f_{model,i})^2}{\sigma_i^2}, \quad (4)$$

где f_{obs} и f_{model} — наблюдаемый и модельный поток в фильтре i , σ_i — ошибка измерения потока в фильтре i .

- Сравнение с локальными галактиками со звездообразованием позволяет получить диапазон значений $E(B - V)$. Далее в зависимости от типа кривой экстинкции можно получить диапазон для A_V . Разбивая это диапазон на сетку значений, и выполняя процедуру вычислений, описанную в предыдущих двух пунктах, можно найти значение A_V , соответствующее минимуму χ^2 .

Эмиссионные линии проявлены в спектрах галактики вплоть до возраста ≈ 10 миллионов лет (как это видно из Рисунка 6), поэтому этот критерий может служить для введения двух компонент: вспышечной, обеспечивающей наблюдаемый поток в эмиссионной линии, и старого звёздного населения, во многом определяющего спектр. Этот дополнительный параметр позволяет ограничить число шаблонных спектров, участвующих в моделировании.

7 Результаты моделирования спектра родительской галактики

На основе вышеизложенного алгоритма в качестве примера было проведено моделирование спектрального распределения энергии родительской галактики гамма-всплеска GRB 980703, расположенной на красном смещении $z = 0.966$. В моделировании была использована BVR_cI_c -фотометрия, полученная на БТА в САО РАН [14]. Кроме того, для более точной

Таблица 1: Фотометрические наблюдения родительских галактик (звёздные величины в системе Веги и уже скорректированы за поглощение в Галактике).

галактика	фильтр	телескоп/прибор	$m \pm dm$ корр.	redshift
GRB 980703 $\alpha_{2000} : 23^h 59^m 06^s .67$ $\delta_{2000} : +08^\circ 35' 07'' .09$ [18]	B	6.0БТА/Photometer [14]	23.15±0.12	0.966 [19]
	V	6.0БТА/Photometer [14]	22.66±0.10	
	Rc	6.0БТА/Photometer [14]	22.30±0.08	
	Ic	6.0БТА/Photometer [14]	22.17±0.18	
	J	10.0Keck/NIRC [17]	21.11±0.19	
	H	10.0Keck/NIRC [17]	20.66±0.31	
	K	10.0Keck/NIRC [17]	19.78±0.20	

Таблица 2: Необходимые для моделирования параметры галактик: красное смещение z , поток в эмиссионной линии [OII] 3727/3729Å или Ly α 1216Å, потоки в фильтрах. В четвёртой колонке ($m \pm dm$ не корр.) приведены звёздные величины, ещё не исправленные за поглощение в нашей Галактике. Галактическое поглощение MW_{ext} в звёздных величинах.

Параметры галактики	фильтр	AB_{off}	$m \pm dm$ не корр.	MW_{ext}	$F \pm dF, \mu Jy$
GRB 980703 $z = 0.966$ [19] [OII] 3727Å/3729Å: $(30.4 \pm 3.0) \cdot 10^{-17}$ эрг $\text{с}^{-1}\text{см}^{-2}$ [19]	B	-0.08	23.40±0.12	0.25	2.21±0.24
	V	0.04	22.85±0.10	0.19	3.10±0.29
	Rc	0.23	22.46±0.08	0.16	3.63±0.27
	Ic	0.49	22.28±0.18	0.11	3.23±0.53
	J	0.90	21.16±0.19	0.05	6.6±0.95
	H	1.37	20.69±0.31	0.03	8.3±1.55
	K	1.88	19.80±0.20	0.02	9.6±1.35

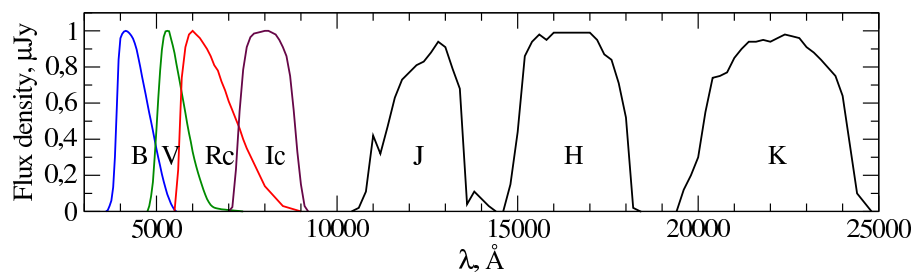


Рис. 8: Кривые пропускания фильтров BVR_cI_cJHK

Таблица 3: Параметры моделей родительской галактики GRB 980703, соответствующие минимальному значению χ^2 . Принят MW-закон экстинкции.

Сценарий	старое зв. население		вспышечная компонента		Z	модельный поток [O II]	$\chi^2_{min}/d.o.f$	A_V
	Возраст, Gyr	Масса, M_\odot	Возраст, Myr	Масса, M_\odot				
Мгновенная вспышка	3.00	3.16×10^{10}	3	1.78×10^8	Z_\odot	27.8×10^{-17}	3.86/7	0.51
	1.8	1.78×10^{10}	4	1.78×10^8	$0.1Z_\odot$	27.4×10^{-17}	15.19/7	0.45
Экспонент. затухание	6.0 ($\tau = 350$)	3.16×10^{10}	16 ($\tau = 150$)	5.62×10^9	Z_\odot	30.7×10^{-17}	1.78/7	0.64
	13 ($\tau = 50$)	3.16×10^{10}	40 ($\tau = 500$)	1.00×10^{10}	$0.1Z_\odot$	31.5×10^{-17}	4.10/7	0.45

оценки таких параметров, как масса галактики и возраст наблюдаемого звёздного населения, были использованы инфракрасные данные *JHK*- фотометрии [17]. Все необходимые данные могут быть найдены в Таблицах 1 и 2. Кривые пропускания фильтров показаны на Рисунке 8.

Применение описанного метода показало, что спектральное распределение энергии родительской галактики не описывается моделями с использованием SB- (то есть гладкого) закона экстинкции. Широкополосный *BVR_cI_cJHK* спектр хорошо описывается только с применением моделей с MW-законом экстинкции: дефицит наблюдаемого потока в фильтре *B* возможно объяснить полосой поглощения углерода ($\lambda \approx 2175\text{\AA}$), присутствующей на кривой экстинкции для нашей Галактики (см. Рисунок 7). При $z = 0.966$, эффективная длина волны фильтра *B* ($\lambda_{eff} = 4448\text{\AA}$) соответствует $\lambda = 2262\text{\AA}$ в системе покоя галактики, то есть при красном смещении $z \sim 1$ указанная особенность кривой MW-экстинкции попадает в *B*-фильтр. Наличие или отсутствие заметного дефицита потока в каком-либо фильтре с $\lambda_{eff} \approx (1+z) \cdot 2175\text{\AA}$ позволяет выбрать наиболее подходящий закон экстинкции (MW-закон при наличии этой спектральной особенности; SB и SMC -законы при отсутствии).

Как видно из расчётов, родительская галактика GRB 980703 — достаточно массивная галактика (судя по старому населению), в которой уже успели накопиться тяжёлые элементы. Это подтверждается наличием значительного поглощения ($A_V = 0.45 - 0.64$), присутствием углеродной полосы (2175\AA) и тем, что наиболее подходящие модели имеют солнечную металличность.

На Рисунках 9, 10 и Таблице 3 представлены результаты моделирования. Организация Таблицы следующая. В первой колонке даны сценарии звездообразования, во второй и третьей — возраст (в миллиардах лет) и масса старого звездного населения, в четвертой и пятой — те же параметры для вспышечной компоненты (возраст дан в миллионах лет). Для сценария экспоненциального затухания во второй и четвертой колонках в скобках приведены значения параметра τ — времени (в миллионах лет), за которое темп звездообразования падает в e раз. В шестой колонке приведены значения металличности, в седьмой — модельное значение потока в линии [O II]. В восьмой колонке приведено минимальное значение χ^2 и в девятой — полученное значение экстинкции A_V .

8 Приложение 1: поле родительской галактики GRB 021004

Для правильной оценки физических характеристик родительской галактики необходимо, чтобы поток от послесвечения ослабел настолько, чтобы им можно было пренебречь. В качестве примера в этом Параграфе показан случай, когда наземные данные широкополосной фотометрии более ранних эпох, содержащие вклад послесвечения, дают верные оценки фотометрического красного смещения и хорошо описываются одним из спектральных распределений энергии, в то время как данные с HST дают неверную оценку z и очень плохо описываются любым из огромного количества шаблонных спектров.

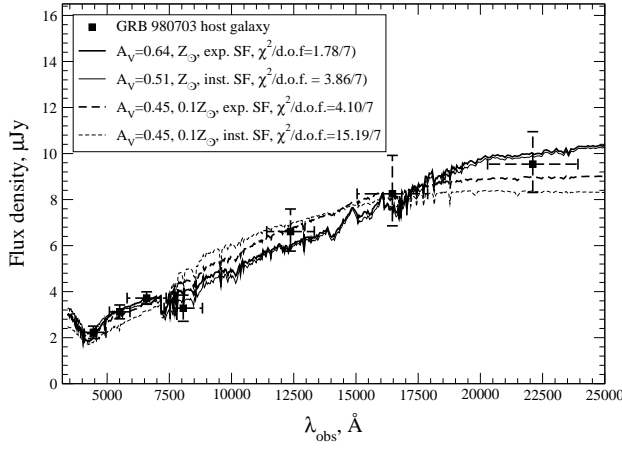


Рис. 9: Модельные спектры родительской галактики GRB 980703 с минимальным значением χ^2 для каждого набора параметров. Принят MW-закон экстинкции. Пометка “inst. SF” соответствует мгновенной вспышке звездообразования, “exp. SF” – экспоненциальному затуханию (см. текст)

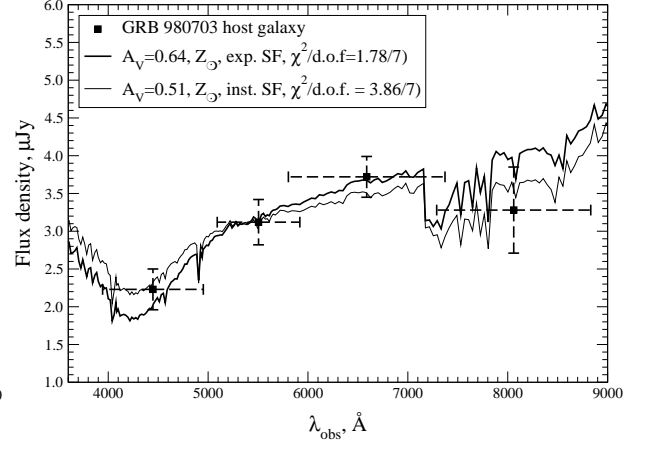


Рис. 10: Наилучшая подгонка модельными спектрами BVR_cI_cJHK фотометрии родительской галактики GRB 980703. Показана только BVR_cI_c спектральная часть. Принят MW-закон экстинкции. По оси абсцисс отложены наблюдаемые длины волн.

Наблюдения родительской галактики GRB 021004 (вспыхнул 4 октября 2004 года) на БТА проводились 29 ноября – 5 декабря, что соответствует фазе ≈ 18 дней после всплеска в системе отсчета с ним связанного, то есть потоки в некоторых фильтрах скорее всего содержат вклад послесвечения, что заметно в сравнении с данными HST [20]. Результаты сравнения показаны в Таблице 4 и на Рисунке 11.

Оценки z по данным HST фильтров + J в NuserZ имеют малую вероятность, а минимальный χ^2 с наилучшими моделями PEGASE равен 43, что говорит об отсутствии подходящей модели для спектрального распределения, заложенного в моделирование.

На данный момент ведётся обработка ИК данных с телескопа Spitzer для расширения спектрального диапазона, что, возможно, позволит улучшить результаты моделирования (см. Рис. 12).

Дополнительно можно сказать, что прямые оценки морфологического типа галактики

Таблица 4: Фотометрические наблюдения родительской галактики GRB 021004. λ – эффективная длина волны фильтра (\AA); $\Delta\lambda/2$ – полуширина пропускания фильтра; m_{Vega} – звёздная величина в системе Веги; AB_{off} – коэффициент перехода от системы Веги в AB; ext_{Gal} – поглощение в Галактике (согласно картам [10] и закону [11]); m_{AB} – звёздная величина в системе AB; Δm – ошибка определения звёздной величины;

Фильтр	λ	$\Delta\lambda/2$	m_{Vega}	AB_{off}	ext_{Gal}	m_{AB}	Δm	Дата наблюдений	Телескоп
V	5505	414	24.45[21]	0.04	0.24	24.25	0.04	2003 Sep. 17.073	4.2WHT
I_c	8060	771	23.82[21]	0.45	0.14	24.13	0.17	2003 Dec. 28.888	2.5NOT
J	12200	1500	23.15[21]	0.90	0.07	23.98	0.38	2004 Jan. 5.805	3.5САНА
H	16464	1431	>21.5 [21]	1.41	0.04	> 22.87		2004 Jan. 7.2775	3.5САНА
F435W	4297	550				24.39 [20]	0.04	2003 Jul. 26.086	2.4HST/ACS
F606W	5907	1250				24.55 [20]	0.05	2003 May 31.108	2.4HST/ACS
F814W	8332	1255				24.39 [20]	0.04	2003 Jul. 26.009	2.4HST/ACS
F110W	11191	2940				24.62 [20]	0.1	2003 Jul. 21.743	2.4HST/NIC3
F160W	16036	1994.5				23.89 [20]	0.15	2003 May 26.038	2.4HST/NIC3

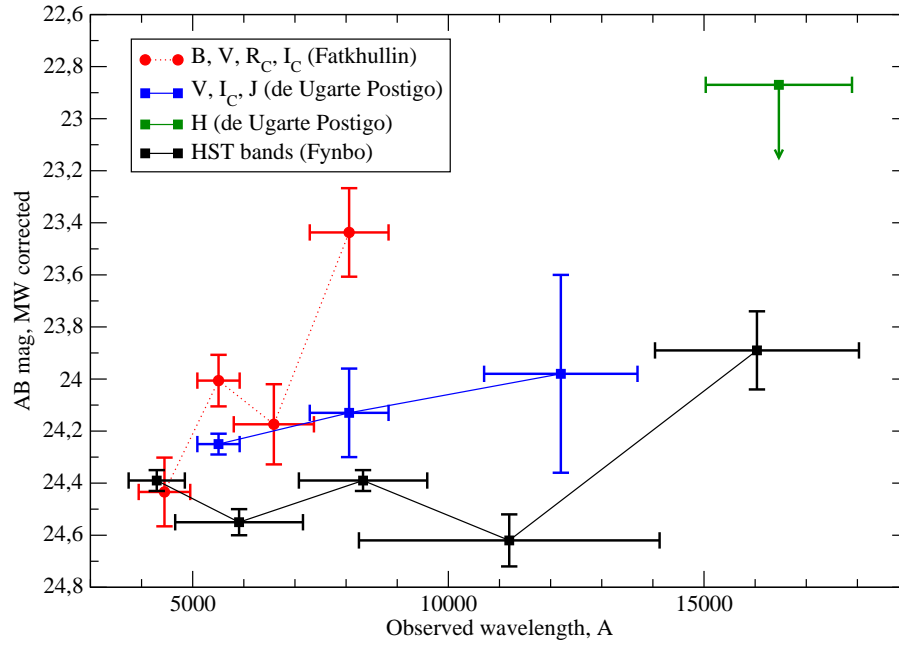


Рис. 11: Сравнение наблюдаемых звёздных величин родительской галактики GRB 021004. Красные точки и линия — данным наблюдений 29 ноября – 5 декабря 2002 года на БТА [5], чёрные точки и линия — наблюдения 26 мая – 26 июля 2003 года на HST [20], синие точки и линия — данные из работы [21], зелёная точка — верхний предел в фильтре H [21]. Все данные приведены в Таблице 4.

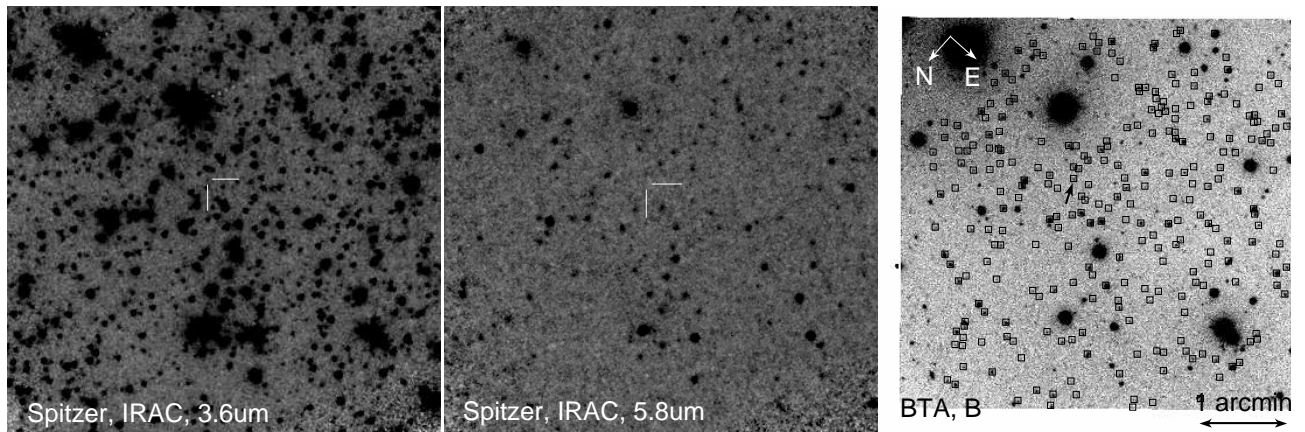


Рис. 12: Левая панель: поле родительской галактики GRB 021004, полученное на телескопе Spitzer/IRAC $3.6\mu m$ (первый канал инструмента). Чёрточками отмечено положение родительской галактики. Средняя панель: изображение того же поля на длине волны $5.8\mu m$ (третий канал). Правая панель: поле с БТА в фильтре B . Отмечены объекты каталога слабых галактик из работы [22]. Стрелкой отмечено положение родительской галактики.

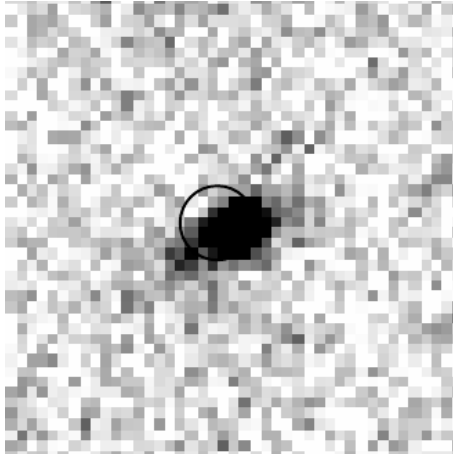


Рис. 13: Fig. 5. из работы [29] Изображение родительской галактики GRB 021004 с HST ACS в фильтре F606W, полученное 26 ноября 2002. Размер стороны 2", что сопоставимо с обычным качеством изображения (seeing) наземных наблюдений.

в данном случае (как и во многих других) возможно сделать лишь по данным с высоким угловым разрешением (см. Рисунок 8), т. к. объект находится на достаточно большом красном смещении $z = 2.3304 \pm 0.0005$ [30].

9 Приложение 2: исследование GRB 110801A

В основном тексте в качестве примеров приведены данные наблюдений в САО РАН очень интересного гамма-всплеска GRB 110801A, поярчавшего за время порядка десятков минут на несколько звёздных величин. Узнать подробности обнаружения и исследования этого объекта поможет данное Приложение.

1 августа в 19:49:42 UT гамма-телескопом BAT (Burst Alert Telescope) на борту спутника Swift был детектирован длительный гамма-всплеск GRB 110801A продолжительностью около 70 секунд (trigger=458521). Спустя почти 100 секунд после начала всплеска телескопом XRT (X-Ray Telescope) той же платформы был детектирован рентгеновский источник, что позволило уточнить координаты, уменьшив кружок ошибок с 3' до 4.9". На телескопе UVOT, расположенном на борту, спустя 108 секунд после всплеска начались наблюдения в ультрафиолетовом и оптическом диапазонах. Был найден оптический источник 18.03 ± 0.14 зв. величины (без применения фильтров, без учёта Галактического поглощения $E(B - V) = 0.08$) с координатами $R.A.(J2000) = 05 : 57 : 44.73$, $Dec.(J2000) = +80 : 57 : 21.6$ (точность 0.62") [23].

Спустя пол-часа после всплеска объект поярчал на несколько величин, что подтверждается наблюдениями на ROTSE-III_d, MITSuME, Swift/UVOT [24, 25, 26] и другими командами.

Согласно срочным (follow-up) наблюдениям на БТА + Scorpio в ту же ночь (4.35 часа после всплеска), звёздная величина объекта была следующая: $R = 18.10 \pm 0.01$, $B = 19.02 \pm 0.02$. На БТА был получен самый ранний спектр, на котором заметен наклон континуума в голубую область, однако низкое отношение S/N не позволило сразу определить красное смещение. Позже, участниками нашей коллаборации на 10.4-метровом GTC в Испании был получен спектр, на котором удалось детектировать множество абсорбционных линий, сдвинутых на $z = 1.858$ [27]. На голубом континууме нашего спектра хорошо заметен лишь дублет трижды ионизованного углерода C IV 1548,1550Å [28] (см. Рис. 14).

9.15 августа 2011 года были проведены повторные глубокие наблюдения этого поля в фильтре R_c (см. Рисунки 4 и 5). Был найден протяжённый источник 23.42 ± 0.05 звёздной величины, перекрывающийся по координатам с положением гамма-всплеска. Центр объекта имеет следующие координаты: $R.A.(J2000) = 05 : 57 : 45.371$, $Dec.(J2000) = +80 :$

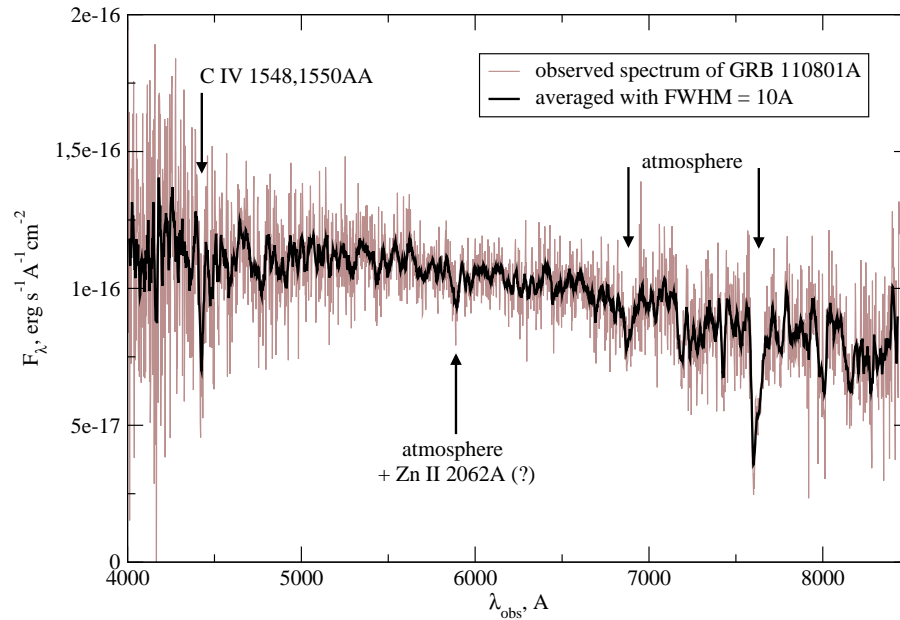


Рис. 14: Спектр оптического послесвечения гамма-всплеска GRB 110801A, полученный на БТА спустя ~ 4.5 часа после всплеска.

57 : 20.65 (точность 0.7"), 1.78" от центра кружка ошибок Swift/UVOT (что соответствует 115 ± 85 кпк для космологических параметров $H_0 = 75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$, $\Omega_M = 0.3$ и $\Omega_\Lambda = 0.7$). Объект выглядит двойным, но маловероятным кажется вариант, что гамма-всплеск произошёл на окраине достаточно достаточно большой галактики. Более вероятным кажется вариант вспышки в компактной галактике, расположенной рядом с наблюдаемой. Т. к. для наших наблюдений с момента всплеска прошло всего около 3 дней (в системе отсчёта гамма-всплеска), послесвечение недостаточно ослабело и окончательный вывод о принадлежности обнаруженного объекта можно будет сделать после получения глубоких снимков этого поля на крупном телескопе (БТА, ГТС, ...) через продолжительное время.

10 Приложение 3: программы для MIDAS и IDL

Программа **Zeiss_REDUС.prg**, написанная для среды MIDAS (как и следующие несколько программ с расширением *.prg).

```

DEFINE/PAR P1 ? CHAR "Enter a name of input image catalog:"
DEFINE/PAR P2 ? IMAGE "Enter a bias frame:"
DEFINE/PAR P3 ? IMAGE "Enter a flat field frame:"
DEFINE/PAR P4 red_ CHAR "Enter a prefix of reduced frames:"

DEFINE/LOCAL i/I/1/1
DEFINE/LOCAL mean/R/1/1
DEFINE/LOCAL IN_NAME/C/1/80 ""
DEFINE/LOCAL OUT_NAME/C/1/80 ""
DEFINE/LOCAL CATAL/I/1/1 0

STAT/IMAGE {P3} option=GNNN
mean = {OUTPUTR(8)}

```



```

CAT_LOOP:
  STORE/FRAME IN_NAME {P1} 1 END_CAT_LOOP
  OUT_NAME = "{P4}{IN_NAME}"
  WRITE/OUT {OUT_NAME}
  COMP/IMAGE tmp_{IN_NAME} = ({IN_NAME}-{P2})/({P3}-{P2})*{mean}
  @@ rmcos_int_Zeiss tmp_{IN_NAME}
  MODIFY/COLUMN fc_tmp_{IN_NAME} {OUT_NAME} V @51,@357,@358,@378,@384,
  @385,@670,@671,@699,@700,@701,@702,@902,@903,@904
  DEL/IMAGE fc_tmp_{IN_NAME} NO
  DEL/IMAGE tmp_{IN_NAME} NO

  @@ 1cl {OUT_NAME}
  GOTO CAT_LOOP
END_CAT_LOOP:

```

Программа **rmcos_int_Zeiss.prg**, используемая в Zeiss_REDUС.prg

```

define/par P1 * IMA      "Enter a image:"
define/par P2 2.08 NUM   "Enter a gain:"
define/par P3 1.15 NUM   "Enter a read out noise:"
define/par P4 5 NUM      "Threshold of cosmics, 3 by Timur"
define/par P5 4 NUM      "critical ratio for discrim/ of cosmics and objects, 2 by Timur"
define/par P6 * IMA      "mask image with cosmic hits, made by mosk"
@@ mean_sigma_clip {P1}

fil/cos {P1} fc_{P1} {{P1},clipped_mean},{P2},{P3},{P4},{P5} mask_{P1}

copy/dd {P1} lhcuts fc_{P1} lhcuts
copy/dd {P1} WINDOW_FROM fc_{P1} WINDOW_FROM
copy/dd {P1} WINDOW_TO fc_{P1} WINDOW_TO
copy/dd {P1} DISPLAY_DATA fc_{P1} DISPLAY_DATA

```

Программа **1cl.prg** для визуализации изображений

```

!+++++
!.COPYRIGHT: (c) 1996 SPbUniversity and Special Astrophysical Observatory
!.IDENT      : 1cl.prg
!.AUTHOR     : Igor O.Drozdovsky
!.KEYWORDS   : Standard CCD reduction
!.PURPOSE    :
!           Standard CCD reduction:
!           program graphics and display windows
!           and load image in created windows
!.USAGE      :
!           Execute as:
!           @@ 1cl inframe [low] [high]
!
!.VERSION    : $Id:1.0. August,20 1996$
!           : $Revision:1.3 June,24 1997$
!-----
!
```

```

CROSSREF INAME
!
!
! create graphics and display windows
! and load image in created windows
!
echo/off
define/par p1 ? ima "Enter name of load frame:"
define/par p2 2 N "Enter low -N * sig:"
define/par p3 20 N "Enter high +N * sig:"
define/local np/i/1/2 0,0
define/local dx/i/1/1 1
define/local dy/i/1/1 1
define/local dxy/i/1/1 1
define/local sx/i/1/2 0,0
define/local sy/i/1/2 0,0

IF {{p1},NPIX(1)} .GT. 800 dx = 2
IF {{p1},NPIX(2)} .GT. 800 dy = 2
IF {{p1},NPIX(1)} .GT. 1600 dx = 3
IF {{p1},NPIX(2)} .GT. 1600 dy = 3
IF {{p1},NPIX(1)} .GT. 2400 dx = 4
IF {{p1},NPIX(2)} .GT. 2400 dy = 4

IF {dx} .GT. {dy} THEN
dxy = {dx}
ELSE
dxy = {dy}
ENDIF

np(1) = M$NINT({{p1},NPIX(1)}/{dxy})
np(2) = M$NINT({{p1},NPIX(2)}/{dxy})
create/disp ? {np(1)},{np(2)},490,200
load/itt ramp
load/lut rainbow4
write/key lo/r/1/1 0
write/key hi/r/1/1 0
IF M$EXISTD("{p1}.bdf","STATISTIC") .GT. 0 THEN
comp/key lo = {{p1},STATISTIC(8)}-'p2'*M$SQRT({{p1},STATISTIC(4)})
comp/key hi = {{p1},STATISTIC(8)}+'p3'*M$SQRT({{p1},STATISTIC(4)})
ELSE
create/graph ? 500,300,0,0
sx(1) = M$NINT({{p1},NPIX(1)}/6)
sy(1) = M$NINT({{p1},NPIX(2)}/6)
sx(2) = {sx(1)}*5
sy(2) = {sy(1)}*5
statist/image {p1} [ @{sx(1)},@{sy(1)}:@{sx(2)},@{sy(2)}] p5=FX p7=p
comp/key lo = outputr(8)-'p2'*M$SQRT(outputr(4))
comp/key hi = outputr(8)+'p3'*M$SQRT(outputr(4))
ENDIF
set/format F8.3
wri/out "-{p2} * sig ; +{p3} * sig"
wri/out "Low_cuts = {lo}, High_cuts = {hi}"

```

```
IF M$EXISTD("{p1}.bdf","HISTOGRAM") .GT. 0 del/desc {p1} HISTOGRAM
wri/desc {p1} lhcuts/r/1/2 'lo','hi'
load/ima {p1} fix=1,1,0,0 scale=-{dxy},a
```

Программа **FRINGES.prg**

```
DEFINE/PAR P1 ? CHAR "Enter a name of input image catalog:"
DEFINE/PAR P2 ? IMAGE "Enter a output fringe frame:"
DEFINE/PAR P3 3.0 NUM "Enter a number of sigmas:"
```

```
DEFINE/LOCAL i/I/1/1
DEFINE/LOCAL mean/R/1/1
DEFINE/LOCAL IN_NAME/C/1/80 ""
DEFINE/LOCAL OUT_NAME/C/1/80 ""
DEFINE/LOCAL CATAL/I/1/1 0
DEFINE/LOCAL min/R/1/1 0
DEFINE/LOCAL max/R/1/1 0
DEFINE/LOCAL sigma/R/1/1
DEFINE/LOCAL low/R/1/1 0
DEFINE/LOCAL hi/R/1/1 0
```

```
CREATE/ICAT tmp_{P1} NULL
```

CAT_LOOP:

```
STORE/FRAME IN_NAME {P1} 1 END_CAT_LOOP
STAT/IMAGE {IN_NAME} ? ? ? GNNN
mean = {OUTPUTR(8)}
sigma = {OUTPUTR(4)}
min = {mean}-7*{sigma}
max = {mean}+7*{sigma}
STAT/IMAGE {IN_NAME} ? ? {min},{max} GNNN
mean = {OUTPUTR(8)}
sigma = {OUTPUTR(4)}
```

```
min = -{P3}*{sigma}
max = {P3}*{sigma}
IF {min} .LT. {low} THEN
    low = {min}
ENDIF
IF {max} .GT. {hi} THEN
    hi = {max}
ENDIF
OUT_NAME = "sc{IN_NAME}"
COMP/IMAGE {OUT_NAME} = {IN_NAME}-{mean}
ADD/ICAT tmp_{P1} {OUT_NAME} >/dev/null
GOTO CAT_LOOP
```

END_CAT_LOOP:

```
WRITE/OUT {low},{hi}
AVERAGE/IMAGE {P2} = tmp_{P1} ? ? median {low},{hi}
```

```
DELETE/ICAT tmp_{P1} NO
```

Программа apercorr.prg

```
!+++++
!.COPYRIGHT: (c) 1998 Special Astrophysical Observatory & SPb University
!.IDENT      : apercorr.prg
!.AUTHOR     : Igor O.Drozdovsky
!.KEYWORDS   : Standard table reduction
!.PURPOSE    :
!           Program calculate an aperture correction and show
!           magnitude rising with the aperture radius
!           growing AS A FUNCTION OF FWHM for obtaining full stars magnitude.
!.USAGE      :
!           Execute as:
!           @@ apercorr image.BDF file.AP file.LST [PHOTO_?.opt(default photo_5.opt)]
!
!.NOTE
!           You should have photo_?.opt , photoopt.fmt & app.fmt
!           in your working directory.
!           This version of program compute also FWHM for file.LST stars
!           and FWHM-coefficient for the aperture correction.
!
!.VERSION    : $Id:1.1 October,30 1997 $
!           : $Revision:1.4 July,23 1998 ! Work with Upper case file names $
!-----
!
CROSSREF INAME
!
!
!echo/off
define/par p1 ? ima "Enter the name of the image for computing FWHM"
define/par p2 {p1} C "Enter the name of the file of .AP stars photometry"
define/par p3 {p2} C "Enter the name of the file of .LST psf-stars"
define/par p4 photo_4 C "Enter the name of the file PHOTOMETRY_?.OPT "
define/local j/i/1/1 0
define/local j1/i/1/1 0
write/key nrows/i/1/1 0
define/local n/i/1/1 0
define/local ymin/r/1/1 0.0
define/local ymax/r/1/1 0.0
define/local drad/r/1/1 0.0
define/local avfwhmx/r/1/1 0.0
define/local avfwhmy/r/1/1 0.0
define/local k/i/1/1 9
!define/local k/i/1/1 10
define/local ll/i/1/1 10
define/local ex/i/1/1 0
define/local ey/i/1/1 0
define/local sx/i/1/1 0
define/local sy/i/1/1 0
define/local lowp3/c/1/10
!   Checking the existence necessary tables
IF M$EXIST("{p4}.opt") .EQ. 0 .AND. M$EXIST("{p4}") .EQ. 0 THEN
write/out "You type the name of Aperture Photometry Options file: {p4}"
```

```

write/out " We cold'nt find this file in current directory !!!"
GOTO END
ENDIF
IF M$EXIST("photoopt.fmt") .EQ. 0 .AND. M$EXIST("app.fmt") .EQ. 0 THEN
write/out "We cold'nt photoopt.fmt and/or app.fmt in current directory !!!"
write/out "Copy it, please, from ~/midwork/fmt/ directory"
GOTO END
ENDIF
lic {p1}
cop/ii {p1} aux
write/desc {p1} start 1,1
write/desc {p1} step 1,1
write/desc {p1} cunit "COUNTS          ARCSEC          ARCSEC"
!
!   Due to DAOPHOT doesn't works with World Coordinates
write/keyw TRANSF/D/1/4 {{p1},START(1)},{{p1},START(2)},{{p1},STEP(1)},{{p1},STEP(2)}
!
! Some strange strings are wrote in order to create MIDAS table from file.LST
$cp {p3}.lst {p3}.add
daomid {p3}.add
lowp3 = M$LOWER("{p3}")
$mv {lowp3}add.tbl {p3}lst.tbl
! Old $mv {p3}add.tbl {p3}lst.tbl
!
!   Computing the FWHM of stars from {p3}lst.tbl
copy/tab {p3}lst lst
DO ll = 1 2 1
!
comput/key ex = {{p1},NPIX(1)}-{{k}}-{{p1},START(1)}
comput/key ey = {{p1},NPIX(2)}-{{k}}-{{p1},START(2)}
comput/key sx = {{k}}+{{p1},START(1)}
comput/key sy = {{k}}+{{p1},START(2)}
!
! select/tab lst :X_COORD.GT.{{sx}}.AND.:X_COORD.LT.{{ex}}.AND.:Y_COORD.GT.{{sy}}.AND.:Y_COORD.LT.{{ey}}
compute/tab lst :XSTART = :X_COORD - {{k}}
compute/tab lst :XEND = :X_COORD + {{k}}
compute/tab lst :YSTART = :Y_COORD - {{k}}
compute/tab lst :YEND = :Y_COORD + {{k}}
!
center/gauss {p1},lst LST
!
comp/tab LST :FWHM = (:xfwhm + :yfwhm) / 2.0
stat/tab LST :xfwhm
avfwhmx = {outputr(3)}
stat/tab LST :yfwhm
avfwhmy = {outputr(3)}
set/format F8.3
write/out "AvFWHMx= {avfwhmx} AvFWHMy= {avfwhmy}"
k = ({avfwhmx} + {avfwhmy})
ENDDO
!
! Creating of the table photo_?opt.tbl
!

```

```

creat/tab {p4}opt * 12 {p4}.opt photoopt
del/row {p4}opt @13,14
!
! Preparing the file.AP to transforming in Midas Table: fileapp.tbl
! if it doesn't exist:
IF M$EXIST("{p2}app.tbl") .EQ. 1 GOTO APRES
!
! a) Cut the header
!
$dd if={p2}.ap of=test bs=126 skip=1
!
! b) Cut the second row for each stars double data rows
!
$wc -l {p2}.coo
write/out " If number above you decrease on 3, you receive number of the stars"
inquire/keyword j "Enter a total stars number in file.AP:"
! Writing a first string to the transforming file.APP
$dd if=test of={p2}.app bs=133 count=1
DO n = 2 j 1
$dd if=test of=test1 bs=267 skip=1
$cp test1 test
$dd if=test of=temp bs=133 count=1
!
! In the file TEMP we write each time a necessary string
! After we gather each string in the result file.APP
$cat {p2}.app temp > temp1
$cp temp1 {p2}.app
ENDDO
creat/table {p2}app * {j} {p2}.app app.fmt
$rm test test1 temp temp1 {p2}.app
APRES:
!
! c) Create table of selected stars (from fileLST.tbl) apertures photometry
!
comput/key nrows = {{p3}lst.tbl,TBLCONTR(4)}
j = {{p3}lst.tbl,:I,@1}
write/out "j= {j}"
copy/tab {p2}app rr
select/tab rr :I.EQ.{j}
write/out "outputi(1) = {outputi(1)}"
IF {outputi(1)} .GT. 0 copy/tab rr ADRR
DO n = 2 nrows
j = {{p3}lst.tbl,:I,@{n}}
write/out "j= {j}"
select/tab rr :I.EQ.{j}
IF {outputi(1)} .GT. 0 merge/tab ADRR rr rrr
write/out "outputi(1) = {outputi(1)}"
copy/tab rrr ADRR
ENDDO
!          ++++++ FWHM ++++++
copy/tt LST :FWHM ADRR :FWHM
!
! Selection for non error LST_stars photometry with given aperture

```



```

!
select/tab ADRR :MAG0012.LT.99.999 .AND. :FWHM.GT.0.0
IF {outputi(1)} .GT. 0 THEN
copy/tab ADRR rr
copy/tab rr ADRR
nrows = {outputi(1)}
ELSE
select/tab ADRR :MAG0011.LT.99.999 .AND. :FWHM.GT.0.0
write/out ":MAG0011 used for selection < 99.999!!!"
copy/tab ADRR rr
copy/tab rr ADRR
nrows = {outputi(1)}
ENDIF
!
sta/tab ADRR :MAG0001
ymax = {outputr(2)} + 0.2
sta/tab ADRR :MAG0012
ymin = {outputr(1)} - 0.2
set/format F7.3
write/out "ymax= {ymax} , ymin = {ymin}"
IF DAZDEVR(11) .LT. 0 THEN
cre/gra 00
ELSE
assign/gra g,0
ENDIF
set/gra STYPE=1
!           Ploting :DMAG <-> :FWHM
comp/tab ADRR :DMAG = :MAG0001 - ((:MAG0012 + :MAG0011) / 2.0)
plot/tab ADRR :DMAG :FWHM
!           Ploting Stars Labels above the corresponding points.
comput/key nrows = {ADRR.tbl,TBLCONTR(4)}
DO n = 1 nrows
ll = {ADRR.tbl,:I,@{n}}
label/gra "{ll}" {ADRR.tbl,:DMAG,@{n}},{ADRR.tbl,:FWHM,@{n}} ? 0.8
ENDDO
!
IF DAZDEVR(11) .LT. 1 THEN
cre/gra 01 512,740,500,50
ELSE
assign/gra g,1
ENDIF
set/graphics yaxis={ymax},{ymin} PMODE=1 CLEARGRA=OFF stype=0 ltype=1
clear/gra
del/tab rr NO
del/tab rrr NO
!
j1 = {nrows} + 1
create/table {p2}lstap j1 14 NULL
copy/tt {p4}opt :APERRAD {p2}lstap :APERRAD
create/column {p2}lstap :AVEMG F6.3 R*4 "mag"
create/column {p2}lstap :AVEST F5.3 R*4 "mag"
create/column {p2}lstap :AVGRD F6.4 R*4 "mag/pix"
sta/tab ADRR #4

```

```

{p2}lstap, :AVEMG, @1 = {outputr(3)}
{p2}lstap, :AVEST, @1 = {outputr(4)}
DO j1 = 5 15 1
sta/tab ADRR #{j1}
n = {j1} - 3
j = {n} - 1
{p2}lstap, :AVEMG, @{n} = {outputr(3)}
{p2}lstap, :AVEST, @{n} = {outputr(4)}
drad = {{p2}lstap, :APERRAD, @{n}} - {{p2}lstap, :APERRAD, @{j}}
IF {drad} .NE. 0.0 THEN
{p2}lstap, :AVGRD, @{j} = ({{p2}lstap, :AVEMG, @{j}} - {{p2}lstap, :AVEMG, @{n}}) / {drad}
ELSE
{p2}lstap, :AVGRD, @{j} = 0.0
ENDIF
ENDDO
{p2}lstap, :AVGRD, @12 = 0.0
DO n = 1 {nrows} 1
j = {ADRR, :I, @{n}}
create/column {p2}lstap :MG{j} F6.3 R*4 "mag"
DO j1 = 1 12 1
{p2}lstap, :MG{j}, @{j1} = {ADRR, :MAG{j1}, @{n}}
ENDDO
plot/table {p2}lstap :APERRAD :MG{j}
!           Plotting Stars Labels right & left from the profiles.
label/gra "{j}" {{p2}lstap.tbl, :APERRAD, @1}, {{p2}lstap.tbl, :MG{j}, @1} ? 0.8 2
label/gra "{j}" {{p2}lstap.tbl, :APERRAD, @12}, {{p2}lstap.tbl, :MG{j}, @12} ? 0.8 1
ENDDO
!
IF DAZDEVR(11) .LT. 2 THEN
cre/gra 02
ELSE
assign/gra g,2
ENDIF
ymax = {{p2}lstap, :AVEMG, @1} + 0.2
ymin = {{p2}lstap, :AVEMG, @12} - 0.2
set/graphics yaxis={ymax}, {ymin} CLEARGRA=ON
plot/table {p2}lstap :APERRAD :AVEMG
set/graphics yaxis={ymax}, {ymin} LTYPE=1 COLOUR=3 LWIDTH=4
over/table {p2}lstap :APERRAD :AVEMG
!
set/gra COLOUR=1 LTYPE=2 LWIDTH=1
DO n = 1 {nrows} 1
j = {ADRR, :I, @{n}}
comp/tab {p2}lstap :DAVEMG = :MG{j} - ({{p2}lstap, :MG{j}, @1} - {{p2}lstap, :AVEMG, @1})
over/table {p2}lstap :APERRAD :DAVEMG
ENDDO
del/col {p2}lstap :DAVEMG
set/gra; assign/gra g,0
!
! Here we calculates an aperture correction coefficient from table {p2}lstap
!
define/local m1/r/1/1 0.0
define/local m2/r/1/1 0.0

```

```

define/local m3/r/1/1 0.0
define/local m23/r/1/1 0.0
define/local apercor/r/1/1 0.0
set/format F7.3
m1 = {{p2}lstap.tbl, :AVEMG, @1}
m2 = {{p2}lstap.tbl, :AVEMG, @11}
m3 = {{p2}lstap.tbl, :AVEMG, @12}
m23 = ({m2}+{m3})/2.0
apercor = {m1} - {m23}
stat/tab LST :FWHM
avfwhmx = {outputr(3)}
write/out "AvFWHM= {avfwhmx}"
regr/line ADRR :DMAG :FWHM
write/out "aper=m1-m23= {apercor}"
del/tab ADRR NO
del/tab LST NO
del/tab lst NO
lic {p1}
loa/tab {p3}lst :X_COORD :Y_COORD I ? 10 1
del/tab {p3}lst.tbl NO
$rm {p3}.add
END:
cop/ii aux {p1}
del/ima aux NO

```

Программа mag_dao.prg

```

!
!+++++
!.COPYRIGHT: (c) 1996 Special Astrophysical Observatory, SPb University
!.IDENT      : mag_dao.prg
!.AUTHOR    : Igor O.Drozdovsky
!.KEYWORDS  : Standard CCD star photometry
!.PURPOSE   :
!           Standard table reduction
!           program make a reduction of the instrumental magnitude,
!           corrected for 1 second, zenith distance, extinction, aperture correction
!           and for zero point of magnitude scale.
!.USAGE     :
!           Execute as:
!           @@ mag_dao ALLSTARS_table EXPOTIME ZENIT XAIRMASS APER MAGZERO
!
!.VERSION   : $Id:March,12 1996$
!           : $Revision:; $
!-----
!
CROSSREF INAME
!
!           Standard table reduction
!           program make a reduction of the instrumental magnitude,
!           corrected for 1 second,zenit,extinction,aperture correction and
!           for zero point of the magnitude scale
!
!                                     ( default MAGZERO=-25.0 )

```

```

!
!   All inputed parameters will be write to corresponding descriptors:
!   EXPOTIME, ZENIT, XAIRMASS, APER, MAGZERO.
!
echo/off
define/par p1 ? tab "Enter the name of the source table with allstar photometry"
define/par p2 ? N "Enter the exposure time (in seconds)"
define/par p3 ? N "Enter the zenith distance (in degrees)"
define/par p4 ? N "Enter the coefficient of atmosphere extinction (xairmass)"
define/par p5 ? N "Enter the coefficient of apperture correction (in magnit)"
define/par p6 -25.0 N
define/local CONST/R/1/1 0.0

compute/key CONST = (2.5 * M$LOG({p2})) - ({p4} / M$COS({p3})) - {p5} + {p6}
compute/tab {p1} :MG00 = :MG + {CONST}
name/column {p1} :MG00 :MG_0 F10.3
set/format F8.3
write/descr {p1}.tbl EXPOTIME/R/1/1 {p2}
write/descr {p1}.tbl ZENIT/R/1/1 {p3}
write/descr {p1}.tbl XAIRMASS/R/1/1 {p4}
write/descr {p1}.tbl APER/R/1/1 {p5}
write/descr {p1}.tbl MAGZERO/R/1/1 {p6}

```

Для работы предыдущих двух программ необходимы файлы app.fmt и photoopt.fmt следующего содержания.

app.fmt:

```

! @(#)apercor.fmt 1.1 (SPbU-SA0) 14/3/96 15:22:45
!+++++0
!.Identification: dio_ap.dat
!.Purpose:format file for DAOPHOT option file photo_?.opt [default photo_4.opt]
!.Author:      Igor O. Drozdovsky
!.Version:     960314 RHW Creation
!-----
COLUMN 15
!
DEFINE/FIELD 2    6  I I4    :I
define/field 9    15 R F7.3  :X_COORD
define/field 18   24 R F7.3  :Y_COORD
define/field 28   33 R F6.3  :MAG0001
define/field 37   42 R F6.3  :MAG0002
define/field 46   51 R F6.3  :MAG0003
define/field 55   60 R F6.3  :MAG0004
define/field 64   69 R F6.3  :MAG0005
define/field 73   78 R F6.3  :MAG0006
define/field 82   87 R F6.3  :MAG0007
define/field 91   96 R F6.3  :MAG0008
define/field 100  105 R F6.3  :MAG0009
define/field 109  114 R F6.3  :MAG0010
define/field 118  123 R F6.3  :MAG0011
define/field 127  132 R F6.3  :MAG0012
END

```

photoopt.fmt:

```

! @(#)photoopt.fmt 1.1 (SPbU-SAO) 14/3/96 15:22:45
!+++++0
!.Identification: photoopt.fmt
!.Purpose:format file for DAOPHOT option file photo_?.opt [default photo_4.opt]
!.Author:      Igor O. Drozdovsky
!.Version:     960314 RHW Creation
!-----
ROWS 12
COLUMNS 1
!
DEFINE/FIELD 5 9 R F5.1 :APERRAD
END

```

Для некоторых расчётов используется язык программирования IDL (Interactive Data Language, разработчик Research Systems, Inc.), а так же IDL-программы пакета AstroLib <http://idlastro.gsfc.nasa.gov>.

IDL-код перевода звёздных величин в μJy :

```

PRO UBVRIZJHK_to_mkJy
; program for converting U, B, V, R, I, Z, Js, H, Ks magnitudes
; and their errors to Flux density in mkJy for galaxy GRB 000210
; and data from Gorosabel 2003
;
;----- INPUT DATA -----
;
filters = ['U', 'B', 'V', 'R', 'I', 'Z', 'Js', 'H', 'Ks' ]
mag      = [23.54, 24.40, 24.22, 23.46, 22.49, 22.83, 21.98, 21.51, 20.94]
err_mag  = [ 0.13,  0.13,  0.08,  0.10,  0.12,  0.28,  0.10,  0.23,  0.14]
ABoff    = [ 0.73, -0.07,  0.04,  0.23,  0.45,  0.56,  0.94,  1.41,  1.87]
Gal_ext  = [ 0.10,  0.08,  0.06,  0.05,  0.04,  0.03,  0.02,  0.01,  0.01]
;
; mag      - magnitudes of GRB000210 host in all filters
; err_mag  - errors of magnitudes
; ABoff    - AB offsets (ABoff = mAB - m)
; Gal_ext  - Galaxy extinction for RA: 01:59:15, Dec: -40:39:33 ($ extin)
;
;----- CALCULATIONS -----
;
Fd = 10^(29 - (mag + ABoff - Gal_ext + 48.568)/2.5)
err_Fd = ALOG(10.0)/2.5 * err_mag * Fd
;
; Fd in mkJy (Fukugita 1995)
; error of flux density err_Fd also in mkJy
;
;----- PRINTING -----
N = size(filters)
PRINT, '-----'
PRINT, '      Fd,[mkJy]  err_Fd,[mkJy]  filter'
PRINT, '-----'
FOR i=0, N[1]-1 DO BEGIN
  PRINT, Fd[i], err_Fd[i], '      ', filters[i]
ENDFOR
PRINT, '-----'
END

```

IDL-код подгонки моделей:

```
FUNCTION GET_INDEX, a, b, eps
;
; Return an indexes of elements in a-vector for which
; the expression ABS(a[i]-b[j]) LE eps is valid.
; b may be either a scalar and a vector.
; Return the only one index for a scalar b.
; This index is one of element closest to b.
;
; NOTE: At this stage return just the closest value index!!!
N = size(b)
index = 0
IF N[0] EQ 0 THEN BEGIN
  e1 = MIN(ABS(a-b),index)
ENDIF ELSE BEGIN
  FOR i=0, N[1]-1 DO BEGIN
    e1 = MIN(ABS(a-b[i]),ind)
    IF i EQ 0 THEN index = ind ELSE index = [[index],[ind]]
  ENDFOR
  index = TRANSPOSE(index)
ENDELSE
RETURN, index
END

FUNCTION GET_PEGASE_WAVES, filename, CONT = c
;
; Return the wavelengths vector from PEGASE-spectra file
; (see PEGASE manual)
;
; INPUT:      filename - name of PEGASE-spectra filename [string]
;             /CONT     - return continuum wavelenths
;             else return lines wavelength
;
;
ind = -1
str = ''
time_step = 0
N_cont = 0
N_lines = 0
OPENR, 51, filename
WHILE (ind EQ -1) DO BEGIN ; skip header (see PEGASE manual)
  READF, 51, str
  ind = STRPOS(str,'***')
ENDWHILE
READF, 51, time_step, N_cont, N_lines
waves = FLTARR(N_cont)
READF, 51, waves
IF KEYWORD_SET(c) THEN BEGIN
  CLOSE, 51
  RETURN, waves
ENDIF
waves = FLTARR(N_lines)
```

```

    READF, 51, waves
    CLOSE, 51
    RETURN, waves
END

```

```

FUNCTION INT_PEGASE_WAVES, spec, PEGASE_waves
;
; Interpolating and extrapolating spec according to PEGASE wavelengths
; (see PEGASE manual).
; The extrapolated values i.e.with wavelengths outside from original
; spec ones will be set to zero
;
; INPUT:  spec          - two-dimension array, where spec[0,*] - wavelength
;                                     spec[1,*] - flux or the same one
;          PEGASE_waves - vector of PEGASE wavelength (see PEGASE manual)
;
; OUTPUT: vector of interpolated values
;
    N = size(spec[0,*])
    N = N[2]-1
    tmp = SPL_INIT(spec[0,*],spec[1,*])
    knots = SPL_INTERP(spec[0,*],spec[1,*],tmp,PEGASE_waves)
    index = WHERE((PEGASE_waves LT spec[0,0]) OR (PEGASE_waves GT spec[0,N]))
    knots[index] = 0.0
    RETURN, knots
END

```

```

FUNCTION GET_EFF_FLUXES, cont, lines, cont_waves, line_waves, filter
;
; Integrating continuum with filters transmission curves,
; calculating effective flux densities in mkJy.
;
; NOTE: Take into account fluxes of emission lines
;
; INPUT:  cont          - vector of continuum flux densities [erg/s/A/cm^2]
;          lines        - vector of lines fluxes [erg/s/cm^2]
;          cont_waves   - vector of continuum wavelengths
;          line_waves   - vector of lines wavelengths
;          filter       - two dimesion (f[i,j]) array with filters
;                                     transmission curves <f[*j]> - j-th filter
;
;
    c = 2.99792458E+18
    N = size(filter)
    N = N[2] ; how many filters
    eff_flux = FLTARR(N)
    FOR i=0, N-1 DO BEGIN
        transs = filter[*i]
        index = WHERE(transs GT 0.0)
        tmp = cont[index]*transs[index]
    END

```

```

integr = INT_TABULATED(cont_waves[index],tmp)
ind = GET_INDEX(cont_waves,line_waves,0.2)
integr = integr+TOTAL(lines*transs[ind])           ; add lines
                                                    ; contamination
surf = INT_TABULATED(cont_waves[index],transs[index])
flux = integr/surf
eff_lambda = $
    INT_TABULATED(cont_waves[index],cont_waves[index]*transs[index])/surf
eff_flux[i] = flux*eff_lambda*eff_lambda/c*1.0E+29 ; to mkJy
END
RETURN, eff_flux
END

```

PRO FIT_MODEL4, SFR_scens, SFR_scens_0, OBS_SPEC, FILTERS, z, EXTIN_FILE, OUT_FILE

```

; *****
;
; The fitting of object broadband spectrum by PEGASE model SEDs
;
; INPUT:          SFR_scens - name of a text file
;                  with filenames of
;                  PEGASE-spectra files
;                  (see PEGASE manual)
;                  for burst component.
;
;                SFR_scens_0 - name of a text file
;                  with filenames of
;                  PEGASE-spectra files
;                  (see PEGASE manual)
;                  for old component.
;
;                OBS_SPEC  - name of a text file
;                  with a broadband spectrum
;                  of object.Format of spectrum
;                  is <Wavelenth [A] Flux [mkJy] Err.Flux [mkJy]>
;                  In the last line of the file it is assumed
;                  that given flux of emission line in format
;                  <Wavelenth [A] Flux [erg/s/cm^2] Err.Flux [erg/s/cm^2]>
;
;                FILTERS  - name of a text file with
;                  filenames of transmission
;                  curves of used filters.
;
;                z        - redshift of object
;
;                EXTIN_FILE- name of a text file with extinction law
;
;                OUT_FILE - name of output file
; *****

```

RESOLVE_ALL


```

; *****
;
; Common constant:
;

chi2_cutoff = 0.0           ; cutoff value of chi^2 for output
c = 2.99792458E+18         ; speed of light in Angstroms/s
LOW_MASS = 6.0             ; logarithm of low mass of model
HIGH_MASS = 8.5           ; logarithm of high mass of model
STEP_MASS = 0.25          ; logarithmic step of mass of model

LOW_MASS_0 = 8.8           ; logarithm of low mass of model
HIGH_MASS_0 = 8.81        ; logarithm of high mass of model
STEP_MASS_0 = 0.1         ; logarithmic step of mass of model

EBV_LOW = 0.0             ; low color excess E(B-V) value
EBV_HIGH = 0.1           ; high color excess E(B-V) value
EBV_STEP = 0.01          ; step of color excess E(B-V)

; *****

PEGASE_filename = ""
str = ''
ind = -1
time_step = 0
N_cont = 0
N_lines = 0
time = 0.0
filter = 0.0

;
; Reading observed broadband spectrum
;

obs_spec = read_ascii(OBS_SPEC)
obs_spec = obs_spec.field1
N = size(obs_spec)
N = N[2]-1
obs_line_flux = obs_spec[:,N]           ; assuming that format of file with
                                         ; observed spectrum as described above!!!

obs_spec = obs_spec[:,0:N-1]
WINDOW, 0
PLOT, obs_spec[0,:], obs_spec[1,:], psym=1, $
      TITLE='Observed input broadband spectrum', $
      XTITLE='Wavelength, [A]', YTITLE='Flux density, [microJy]', $
      CHARSIZE=1.5
OPLOTERR, obs_spec[0,:], obs_spec[1,:], obs_spec[2,:], 1

;
; Optimization ...

```

```

;

OPENR, 55, SFR_scens
READF, 55, PEGASE_filename
cont_waves = GET_PEGASE_WAVES(PEGASE_filename,/CONT)
red_cont_waves = cont_waves*(1.0+z)
lines_waves = GET_PEGASE_WAVES(PEGASE_filename)
red_lines_waves = lines_waves*(1.0+z)
index_line = GET_INDEX(red_lines_waves,obs_line_flux[0]) ; get index of
; oserved emis.line

print, 'line index: ',index_line
print, 'observ wavelen OII, 3727+z*3727 = ', obs_line_flux[0]
print, 'Pegase 3727 = ', lines_waves[index_line]
CLOSE, 55

PRINT, 'Reading extinction curve (file: ', EXTIN_FILE, '),'
extin_curve = read_ascii(EXTIN_FILE)
extin = extin_curve.field1
WINDOW, 1
extin_curve = INT_PEGASE_WAVES(extin,cont_waves)
index = WHERE(extin_curve GT 0)
N = size(index)
N = N[1]-1
PLOT, cont_waves, extin_curve, $
    TITLE='Extinction curve', $
    XTITLE='Wavelength, [A]', YTITLE='k(lambda)', $
    XRANGE=[cont_waves[index[0]],cont_waves[index[N]]]

OPENR, 59, FILTERS ; reading filters
WHILE NOT EOF(59) DO BEGIN
    READF, 59, str
    PRINT, 'Reading filter (file: ', str, '),' , '...'
    tmp = read_ascii(str)
    tmp = tmp.field1
    knots = INT_PEGASE_WAVES(tmp,red_cont_waves)
    s = size(filter)
    IF s[0] EQ 0 THEN filter = knots ELSE filter = [[filter],[knots]]
END
CLOSE, 59

; *****
;
; START FITTING
;

d = lumdist(z,H0=75) ; get lum.distance, [Mpc]
dil = 4.0*!DPI*d^2
burst_spec = 0.0
lines = 0.0
burst_scen = ''

;

```

```

; Fixing burst component using emission line
;

burst_SFH = ''
burst_mass = 0.0
burst_ebv = 0.0
burst_tau = ''
burst_age = 0.0
tau = 0.0
bt = ''

PRINT, ''
PRINT, '-----'
PRINT, '  START OF FITTING:'
PRINT, ''
PRINT, '  Fixing burst component ...'
OPENR, 59, SFR_scens
WHILE NOT EOF(59) DO BEGIN
  READF, 59, PEGASE_filename
  PRINT, 'Reading star formation scenarios (file: ', PEGASE_filename, ')'
  OPENR, 1, PEGASE_filename
  str = ''
  ind = -1
  WHILE (ind EQ -1) DO BEGIN    ; skip header
    READF, 1, str
    ind = STRPOS(str, 'Type of star formation:') ; assuming format of
    IF (ind NE -1) THEN BEGIN   ; PEGASE-spectra file
      tmp = STRSPLIT(str, ':', /EXTRACT)
      N = size(tmp)
      burst_SFH_num = FIX(tmp[N[1]-1])
      CASE burst_SFH_num OF
        0: burst_SFH = 'INST.'
        1: burst_SFH = 'CONST.'
        2: BEGIN
          burst_SFH = 'EXP.'
          READF, 1, str
          tmp = STRSPLIT(str, ':', /EXTRACT)
          tau = FLOAT(tmp[1])
        END
        3: burst_SFH = 'POWER.'
      ENDCASE
    ENDIF
    ind = STRPOS(str, '***')
  ENDWHILE
  time_step = 0
  N_cont = 0
  N_lines = 0
  READF, 1, time_step, N_cont, N_lines
  PRINT, '(Time steps: ', time_step, '; N_cont: ', N_cont, $
    ', N_lines: ', N_lines, ')'
  cont_waves = FLTARR(N_cont)
  model_spec = FLTARR(N_cont)
  lines_waves = FLTARR(N_lines)

```

```

lines_lum = FLTARR(N_lines)
READF, 1, cont_waves
READF, 1, lines_waves
FOR i=1, time_step DO BEGIN
  READF, 1, time
  PRINT, time
  READF, 1, str
  READF, 1, model_spec
  READF, 1, lines_lum
; if time GE 0 AND time LE 700 then begin ; set Burst Age
  IF lines_lum[index_line] EQ 0 THEN BREAK ; if line flux
; in PEGASE-
; spectra file
; is 0 then
; break loop

  FOR mass = LOW_MASS, HIGH_MASS, STEP_MASS DO BEGIN
    lines_flux = lines_lum/3.024E+24/dil*10.0^mass/3.024E+24 ; to observed
; fluxes

    ind = GET_INDEX(red_cont_waves,obs_line_flux[0],0.2)
    FOR ebv = EBV_LOW, EBV_HIGH, EBV_STEP DO BEGIN
      l_f = lines_flux[index_line]*10.0^(-0.4*extin_curve[ind]*ebv)
      IF ABS(l_f-obs_line_flux[1]) LE obs_line_flux[2] THEN BEGIN
print, 'OII = ', l_f
        index = GET_INDEX(cont_waves,lines_waves,0.2) ; redenning
        l_f = lines_flux*10.0^(-0.4*extin_curve[index]*ebv) ; all lines
        N = size(lines)
        IF N[0] EQ 0 THEN lines = l_f ELSE lines = [[lines],[l_f]]
        m_s = model_spec/3.024E+24/dil*10.0^mass/3.024E+24 ; to observed
; fluxes

        m_s = m_s*10.0^(-0.4*extin_curve*ebv) ; redenning
        N = size(burst_spec) ; continuum
        CASE burst_SFH OF
          'INST.' : bt = ' --> 0 '
          'CONST.': bt = ' --> inf.'
          'EXP.' : bt = STRING(tau,FORMAT='(F9.1)')
        ENDCASE
        IF N[0] EQ 0 THEN BEGIN
          burst_spec = m_s
          burst_mass = mass
          burst_scen = burst_SFH
          burst_tau = bt
          burst_ebv = ebv
          burst_age = time
        ENDIF ELSE BEGIN
          burst_spec = [[burst_spec],[m_s]]
          burst_mass = [[burst_mass],[mass]]
          burst_scen = [[burst_scen],[burst_SFH]]
          burst_tau = [[burst_tau],[bt]]
          burst_ebv = [[burst_ebv],[ebv]]
          burst_age = [[burst_age],[time]]
        ENDELSE
      ENDIF
    ENDFOR

```

```

        ENDFOR
;endif
        ENDFOR
        CLOSE, 1
END
CLOSE, 59
PRINT, ' Fixing is complited!'

;
; read old population continuum and fitting model to observed spectrum
;

old_SFH = ''
old_tau = ''
tau = 0.0

BEST_chi2 = 1000.0
BEST_params = ''
BEST_spec = 0.0
j = 0L

OPENW, 55, OUT_FILE, BUFSIZE=0
PRINTF, 55, " Generated by FIT_MODEL.pro"
PRINTF, 55, "*****"
PRINTF, 55, ""
head1 = ' chi^2 | Old pop.SFH | Old pop.tau | Old pop.mass | Old pop.age |'
head2 = ' Burst SFH | Burst tau | Burst mass | Burst age | E(B-V)'
PRINTF, 55, head1+head2
hline1 = "-----"
hline2 = "-----"
PRINTF, 55, hline1+hline2

PRINT, ' Starting fitting templates ...'
OPENR, 59, SFR_scens_0
WHILE NOT EOF(59) DO BEGIN
    READF, 59, PEGASE_filename
    PRINT, 'Reading star formation scenarios (file: ', PEGASE_filename,')'
    OPENR, 1, PEGASE_filename
    ind = -1
    WHILE (ind EQ -1) DO BEGIN ; skip header
        READF, 1, str
        ind = STRPOS(str,'Type of star formation:') ; assuming format of
        IF (ind NE -1) THEN BEGIN ; PEGASE-spectra file
            tmp = STRSPLIT(str,':',/EXTRACT) ; reading star formation
            N = size(tmp) ; scenarios and
            old_SFH_num = FIX(tmp[N[1]-1]) ; for exp.case reading
            CASE old_SFH_num OF ; tau
                0: old_SFH = 'INST.'
                1: old_SFH = 'CONST.'
                2: BEGIN
                    old_SFH = 'EXP.'
                    READF, 1, str
                    tmp = STRSPLIT(str,':',/EXTRACT)

```

```

        tau = FLOAT(tmp[1])
    END
    3: old_SFH = 'POWER.'
ENDCASE
ENDIF
ind = STRPOS(str,'**')
ENDWHILE
time_step = 0
N_cont = 0
N_lines = 0
READF, 1, time_step, N_cont, N_lines
PRINT, '(Time steps: ', time_step, '; N_cont: ', N_cont, $
        ', N_lines: ', N_lines, ')'
cont_waves = FLTARR(N_cont)
model_spec = FLTARR(N_cont)
lines_waves = FLTARR(N_lines)
lines_lum = FLTARR(N_lines)
READF, 1, cont_waves
READF, 1, lines_waves
FOR i=1, time_step DO BEGIN
    READF, 1, time
    PRINT, 'Current evolv.time: ', time
    READF, 1, str
    READF, 1, model_spec
    READF, 1, lines_lum
    N = size(burst_spec)
if time GE 10000 AND time LE 10010 then begin
    FOR mass = LOW_MASS_0, HIGH_MASS_0, STEP_MASS_0 DO BEGIN
        lines_flux = lines_lum/3.024E+24/dil*10.0^mass/3.024E+24 ; to observed
                                                ; fluxes

        old_spec = model_spec/3.024E+24/dil*10.0^mass/3.024E+24
        FOR j=0, N[2]-1 DO BEGIN
            template = 0.0 ; CHANGED !
lines_flux = 0.0 ; CHANGED !
            template = old_spec+burst_spec[*,j]
            lines_flux = lines_flux+lines[*,j]
            eff_fluxes = GET_EFF_FLUXES(template,lines_flux,$
                                        red_cont_waves,red_lines_waves,filter)

            tmp = (obs_spec[1,*]-eff_fluxes)/obs_spec[2,*]
            chi2 = TOTAL(tmp*tmp)
            IF chi2 LE chi2_cutoff THEN BEGIN
                CASE old_SFH OF
                    'INST.' : old_tau = ' --> 0 '
                    'CONST.': old_tau = ' --> inf.'
                    'EXP.' : old_tau = STRING(tau,FORMAT='(F12.1)')
                ENDCASE
                str = STRING(chi2,FORMAT='(F6.2)')+ ' | '+ $
                    STRING(old_SFH,FORMAT='(A12)')+ ' | '+ $
                    old_tau+ ' | '+ STRING('10.0^'+ $
                    STRING(mass,FORMAT='(F6.3)'),FORMAT='(A13)')+ $
                    ' | '+STRING(time,FORMAT='(F7.1)')+ ' Myr '++'+ $
                    STRING(burst_scen[j],FORMAT='(A10)')+ ' | '+burst_tau[j]+$

```

```

        ' | '+STRING('10.0~'+$
        STRING(burst_mass[j],FORMAT='(F5.3)'),FORMAT='(A10)')+ $
        ' | '+STRING(burst_age[j],FORMAT='(F7.1)')+ $
        ' Myr '+'|'+STRING(burst_ebv[j],FORMAT='(F6.3)')
    PRINTF, 55, str
    IF chi2 LT BEST_chi2 THEN BEGIN
        BEST_chi2 = chi2
        BEST_params = str
        BEST_spec = template
    ENDIF
ENDIF
ENDFOR
ENDFOR
;endif
; set old Age
ENDFOR
CLOSE, 1
END
CLOSE, 59

PRINTF, 55, hline1+hline2
PRINTF, 55, ""
PRINTF, 55, "The minimal chi^2: ", BEST_chi2, FORMAT='(A19,1X,F5.2)'
PRINTF, 55, "The best fit parameters: "
PRINTF, 55, hline1+hline2
PRINTF, 55, head1+head2
PRINTF, 55, hline1+hline2
PRINTF, 55, BEST_params
CLOSE, 55

tmp = BEST_spec*red_cont_waves^2/c*1.0E+29 ; the BEST template to mkJy
N = size(tmp)
spec = FLTARR(2,N[1])
spec[0,*] = red_cont_waves
spec[1,*] = tmp
str = OUT_FILE+'_best_spec.dat'
OPENW, 1, str ; write on disk the BEST template
PRINTF, 1, spec ; filename is
; OUT_FILE+'_best_spec.dat'

CLOSE, 1
;WSET, 0
;OPLOT, red_cont_waves, tmp
PRINT, '-----'
PRINT, ' DONE!!!'
END

```

Список литературы

- [1] Черепашук, А.М.
ЗВЕЗДЫ ВОЛЬФА-РАЙЕ: ОТ ЧЕРНЫХ ДЫР ДО ГАММА-ВСПЛЕСКОВ
СОЖ, **9**, 96, (2001)
- [2] Afanasiev V.L. & Moiseev A.V.
THE SCORPIO UNIVERSAL FOCAL REDUCER OF THE 6-M TELESCOPE Astronomy
Letters, **31**, 194 (2005)
- [3] Peter W. Draper, Mark Taylor, Alasdair Allan;
CCDPACK: CCD DATA REDUCTION PACKAGE VERSION 4.0
Starlink User Note 139.17 (2006)
<http://star-www.rl.ac.uk/star/docs/sun139.htx/node126.html>
- [4] Michael Richmond
PHYSICS 445: OBSERVATIONAL ASTRONOMY
<http://spiff.rit.edu/classes/phys445/phys445.html>
- [5] Т. А. Фатхуллин, ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОДИ-
ТЕЛЬСКИХ ГАЛАКТИК КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ
Диссертация на соискание научной степени кандидата физ.-мат.наук, УДК 524.7-
732:520.8
- [6] E. Bertin and S. Arnouts, SExtractor: SOFTWARE FOR SOURCE EXTRACTION
A&A Suppl. Ser. **117**, 393 (1996).
- [7] R. G. Kron, PHOTOMETRY OF A COMPLETE SAMPLE OF FAINT GALAXIES
ApJ. Suppl. Ser. **43**, 305 (1980).
- [8] С. И. Неизвестный, АТМОСФЕРНАЯ ЭКСТИНКЦИЯ В САО И СССР - 1976-1980
Известия САО, **17**, 26 (1983).
- [9] Landolt, A. U., UBVRI PHOTOMETRIC STANDARD STARS IN THE MAGNITUDE RANGE
11.5-16.0 AROUND THE CELESTIAL EQUATOR, AJ, **104**, 340 (1992)
- [10] Schlegel, D.J.; Finkbeiner, D.P.; Davis, M.
MAPS OF DUST INFRARED EMISSION FOR USE IN ESTIMATION OF REDDENING AND
COSMIC MICROWAVE BACKGROUND RADIATION FOREGROUNDS
ApJ, **500**, 525, (1998)
- [11] Cardelli, J.A.; Clayton, G.C.; Mathis, J.S.
THE RELATIONSHIP BETWEEN INFRARED, OPTICAL, AND ULTRAVIOLET EXTINCTION
ApJ, **345**, 245, (1989)
- [12] Fukugita, M.; Shimasaku, K.; Ichikawa, T.
GALAXY COLORS IN VARIOUS PHOTOMETRIC BAND SYSTEMS
PASP, **107**, 945, (1995)
- [13] Fioc, M. & Rocca-Volmerange, B.
PEGASE: A UV TO NIR SPECTRAL EVOLUTION MODEL OF GALAXIES.APPLICATION
TO THE CALIBRATION OF BRIGHT GALAXY COUNTS
A&A, **326**, 950, (1997)

- [14] Sokolov, V.V.; Fatkhullin, T.A.; Castro-Tirado, A.J.; Fruchter, A.S.; Komarova, V.N.; Kasimova, E.R.; Dodonov, S.N.; Afanasiev, V.L. & Moiseev, A.V.
HOST GALAXIES OF GAMMA-RAY BURSTS: SPECTRAL ENERGY DISTRIBUTIONS AND INTERNAL EXTINCTION
A&A, **372**, 438, (2001)
- [15] Calzetti, D.; Armus, L.; Bohlin, R.C.; Kinney, A.L.; Koornneef, J. & Storchi-Bergmann, T.
THE DUST CONTENT AND OPACITY OF ACTIVELY STAR-FORMING GALAXIES
ApJ, **533**, 682, (2000)
- [16] Prevot, M.L.; Lequeux, J.; Prevot, L.; Maurice, E. & Rocca-Volmerange, B.
THE TYPICAL INTERSTELLAR EXTINCTION IN THE SMALL MAGELLANIC CLOUD
A&A, **132**, 389, (1984)
- [17] Bloom, J.S.; Frail, D.A.; Kulkarni, S.R.; Djorgovski, S.G.; Halpern, J.P.; Marzke, R.O.; Patton, D.R.; Oke, J.B.; Horne, K.D.; Gomer, R.; Goodrich, R.; Campbell, R.; Moriarty-Schieven, G.H.; Redman, R.O.; Feldman, P.A.; Costa, E. & Masetti, N.
THE DISCOVERY AND BROADBAND FOLLOW-UP OF THE TRANSIENT AFTERGLOW OF GRB 980703
ApJ, **508**, L21, (1998)
- [18] Taylor, G.B.; Frail, D.A.; Beasley, A.J. & Kulkarni, S.R.
GRB 980703 VERY LONG BASELINE INTERFEROMETRY
GCN #152 (1998) <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/152.gcn3>
- [19] Djorgovski, S.G.; Kulkarni, S.R.; Bloom, J.S.; Goodrich, R.; Frail, D.A.; Piro, L. & Palazzi, E.
SPECTROSCOPY OF THE HOST GALAXY OF THE GAMMA-RAY BURST 980703
ApJ, **508**, L17, (1998)
- [20] J. P. U. Fynbo et al.,
ON THE AFTERGLOW AND HOST GALAXY OF GRB 021004: A COMPREHENSIVE STUDY WITH THE HUBBLE SPACE TELESCOPE
ApJ, **633**, 317 (2005)
- [21] A. De Ugarte Postigo et al., GRB 021004 MODELLED BY MULTIPLE ENERGY INJECTIONS
A&A, **443**, 841 (2005)
- [22] Baryshev, Yu. V.; Sokolov, I. V.; Moskvitin, A. S.; Fatkhullin, T. A.; Nabokov, N. V.; Kumar, Brajesh,
STUDY OF FAINT GALAXIES IN THE FIELD OF GRB 021004
Astrophysical Bulletin, **65**, 311 (2010) arXiv:1010.3910
- [23] M. De Pasquale et al.
GRB 110801A: SWIFT DETECTION OF A BURST WITH AN OPTICAL COUNTERPART
GCN #12228 (2011) <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12228.gcn3>
- [24] W. Zheng & T. Guver
GRB 110801A: ROTSE-III DETECTION OF RE-BRIGHTENING FROM OT
GCN #12229 (2011) <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12229.gcn3>

- [25] D. Kuroda et al.
GRB110801A: MITSuME ISHIGAKIJIMA OPTICAL OBSERVATION
GCN #12233 (2011) <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12233.gcn3>
- [26] M. De Pasquale
SWIFT/UVOT OBSERVATIONS OF GRB110801A GCN #12236 (2011) <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12236.gcn3>
- [27] A. Cabrera Lavers, A. de Ugarte Postigo, A. J. Castro-Tirado, J. Gorosabel, C.C. Thoene & R. Domínguez
GRB 110801A: AFTERGLOW REDSHIFT FROM 10.4M GTC
GCN #12234 (2011) <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12234.gcn3>
- [28] V. V. Sokolov, A. S. Moskvitin & T. A. Fatkhullun
GRB 110801A: SAO RAS OPTICAL OBSERVATIONS
GCN #12241 (2011) <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/12241.gcn3>
- [29] Mirabal et. al.
GRB 021004: A POSSIBLE SHELL NEBULA AROUND A WOLF-RAYET STAR GAMMA-RAY BURST PROGENITOR ApJ, **595**, 935 (2003).
- [30] A. J. Castro-Tirado et al., GRB 021004: TOMOGRAPHY OF A GAMMA-RAY BURST PROGENITOR AND ITS HOST GALAXY A&A, **517**, A61 (2010), arXiv:1004.1131.



Сверхновые и гамма-всплески ждут своих исследователей!

Группа изучения гамма-всплесков САО РАН ищет студента 3-5 курса для работы (производственной и преддипломной практики) по направлениям: изучение массивных сверхновых, гамма-всплесков и их родительских галактик. Вас ждут самые далёкие и мощные взрывы во Вселенной, релятивистские объекты, наблюдательная космология и звёздная астрофизика.

Москвитин Александр
+7(928)1335840; mosk@sao.ru
Соколов Владимир Владимирович
+7(928)3969372; sokolov@sao.ru
<http://www.sao.ru/hq/grb/>

- Интересная, актуальная тема для курсовых/диплома и диссертации
- Наблюдения на больших телескопах (6 метровый БТА и 1-метровый Zeiss-1000)
- Освоение методов обработки и интерпретации данных (а заодно и системы Linux)
- Возможность карьерного и личностного роста
- Большой институт, около 100 сотрудников, много молодёжи
- Чистый воздух и вода, лес и реки, горы и звёздное небо
- Возможность участвовать в международных проектах, ездить за границу, публиковаться в ВАКовских журналах, самостоятельно формулировать задачи, наблюдательные заявки и гранты, выступать на семинарах и конференциях
- Предоставляется отдельная комната (почти бесплатно:-)
- Дешёвая столовая, кружки по интересам и душевная компания!

Требования:

- Желание работать в предлагаемой области
- Самостоятельность и умение учиться
- Нормальный уровень английского языка
- Способность жить вне города в компании помешанных на своей работе астрономов ;-)



Рис. 15: Реклама :-)) К сотрудничеству приглашаются все желающие, не только студенты!