

Санкт-Петербургский Государственный Университет  
Математико-механический факультет  
Кафедра астрофизики

МАКАРОВА М. О.

$\eta$  CARINAE

Санкт-Петербург  
2018

# Содержание

<b>1</b>	<b>Общее описание объекта</b>	<b>2</b>
1.1	Описание объекта . . . . .	2
1.2	Компоненты системы . . . . .	3
<b>2</b>	<b>История переменности <math>\eta</math> Car</b>	<b>4</b>
2.1	Открытие звезды . . . . .	4
2.2	«Великая вспышка» . . . . .	4
2.3	Меньшая вспышка . . . . .	6
2.4	XX век . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Окружающее пространство</b>	<b>7</b>
3.1	Туманность Киля . . . . .	7
3.2	Туманность Гомункул . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Характеристики объекта</b>	<b>9</b>
4.1	Расстояние до системы . . . . .	9
4.2	Орбитальный период системы . . . . .	9
4.3	Массы компонентов и потеря масс . . . . .	10
4.4	Звёздный ветер и температуры компонентов . . . . .	11
4.5	Размеры компонентов системы . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Наблюдаемое излучение</b>	<b>12</b>
5.1	Видимое излучение . . . . .	12
5.2	Ультрафиолетовое излучение . . . . .	13
5.3	Излучение высоких энергий . . . . .	13
5.4	Инфракрасное излучение . . . . .	14
5.5	Радиоизлучение . . . . .	14

# 1 Общее описание объекта

## 1.1 Описание объекта

$\eta$  Carinae ( $\eta$  Car), Эта Киля, Форамен (лат. Foramen), до середины XVIII века Эта Корабля Арго ( $\eta$  Argus Navis,  $\eta$  Arg) — двойная переменная звезда в созвездии Киля с совокупной светимостью компонентов более чем в 5 миллионов раз превосходящей солнечную светимость.

$\eta$  Car является одной из самых массивных звезд нашей Галактики, и бесспорно - одной из самых нестабильных. Она хорошо известна астрономам как звезда, уцелевшая после катастрофического взрыва, приключившегося с ней в середине XIX века, - мощнейшего из известных астрономам звездных взрывов, после которых звезда продолжила жить.

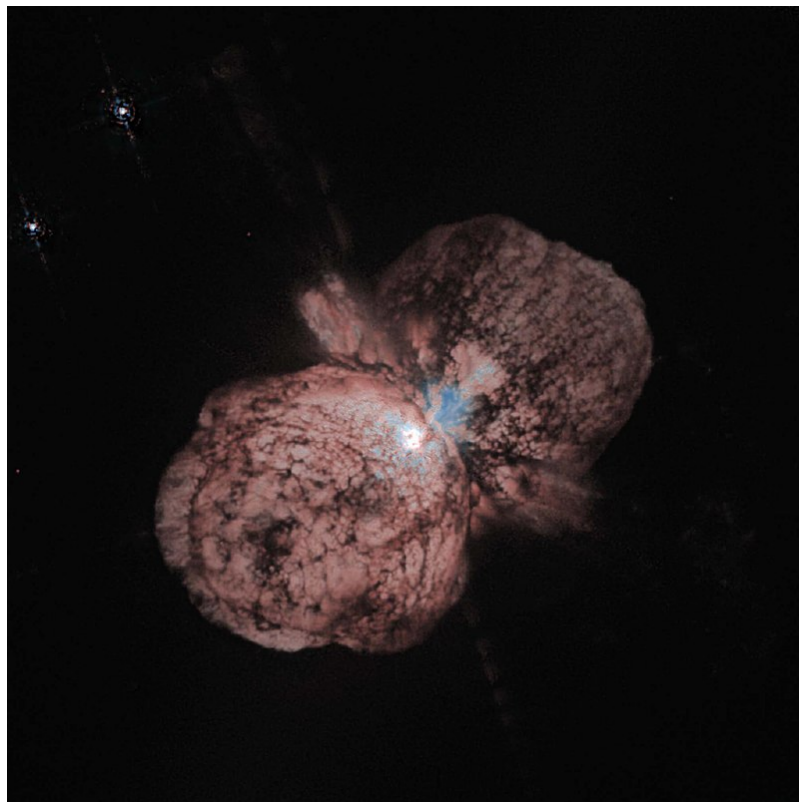


Рис. 1:  $\eta$  Carinae — двойная переменная звезда с совокупной светимостью компонентов более чем в 5 млн раз превосходящей  $L_{\odot}$ . [1]

Впервые  $\eta$  Car упоминается как звезда 4-й звездной величины, но в ходе события, известного как «Великая вспышка», которое произошло в 1843 году [2], она достигла блеска  $-1.^m0$  и на время стала второй по яркости звездой небосвода. Биполярная туманность Гомункул, которая сейчас окружает объект, обязана своим рождением именно этому колоссальному событию.

## 1.2 Компоненты системы

$\eta$  Car A классифицируется как гипергигант, яркая голубая переменная звезда (ЯГП, Luminous blue variables, LBV). LBV – это очень яркие голубые переменные гипергиганты, которым характерны нерегулярные изменения блеска с амплитудой от  $1^m$  до  $7^m$  и сбрасывание с себя порций вещества.

Яркие голубые переменные могут светить в миллионы раз сильнее, чем Солнце, их массы могут достигать  $150 M_{\odot}$ , подходя к теоретическому пределу массы звезды, что делает их самыми яркими, горячими и мощными звёздами во Вселенной. Звёзды этого типа всегда находятся в состоянии неустойчивого гидростатического равновесия, поскольку с их поверхности постоянно истекает мощнейший звёздный ветер, который всё время снижает их массу. По этой причине они всегда окружены туманностями. Время жизни таких звёзд очень мало – порядка нескольких миллионов лет.

$\eta$  Car B — это массивная и яркая звезда, о которой мало что достоверно известно. Судя по отдельным и нехарактерным для основной звезды эмиссионным линиям в спектре,  $\eta$  Car B может являться молодой звездой спектрального класса O.

Свет от компонентов системы  $\eta$  Car сильно поглощается окружающей туманностью Гомункул, которая состоит из вещества  $\eta$  Car A, выброшенного в ходе «Великой вспышки».

## 2 История переменности $\eta$ Car

### 2.1 Открытие звезды

До XVII столетия не существует достоверных записей о наблюдении или открытии  $\eta$  Car, хотя нидерландский мореплаватель Питер Кейзер примерно в 1595—1596 годах описал звезду 4-й звёздной величины в месте, приблизительно соответствующем положению  $\eta$  Car.

Первое уверенное упоминание об  $\eta$  Car принадлежит Эдмунду Галлею, который описал её в 1677 году. Галлей отметил, что звёздная величина примерно равнялась  $4^m$  на момент открытия звезды, что соответствует примерно  $3.^m3$  на современной шкале.

Несколько разрозненных наблюдений позволяют сделать вывод, что звезда в течение большей части XVII столетия не была значимо ярче  $3^m$ . В 1752 году Никола Луи де Лакайль определяет её звёздную величину как  $2^m$ .

Есть неясности касательно того, каким был блеск звезды последующие 70 лет. Существуют редкие записи, такие как наблюдения Уильяма Бёрчелла 1815 года, упоминающие  $\eta$  Car как звезду 4-й звёздной величины, но непонятно, основаны ли эти записи на оригинальных наблюдениях или являются повтором более ранней информации.

### 2.2 «Великая вспышка»

В 1827 году Бёрчелл отметил увеличение яркости  $\eta$  Car до  $1^m$  и впервые высказал гипотезу о её переменности. Затем блеск  $\eta$  Car в течении нескольких лет медленно падал, и звезда ослабела до  $2^m$ . Считается, что это был первый локальный максимум вспышки. Данное событие положило начало 18-летнему периоду в эволюции  $\eta$  Car, известному как «Великая вспышка».

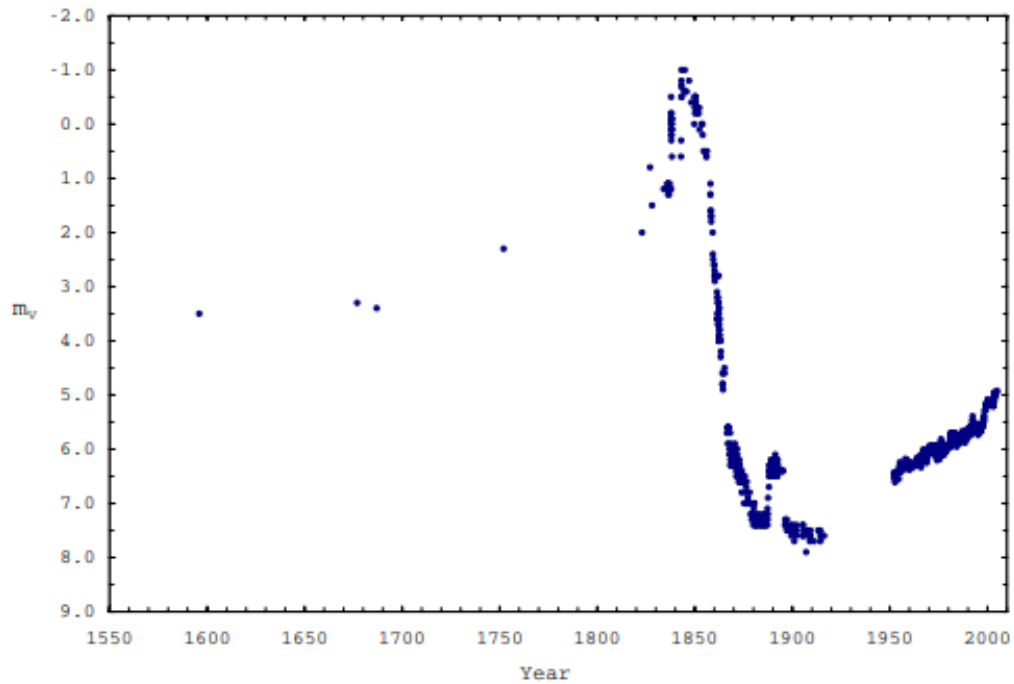


Рис. 2: Кривая блеска  $\eta$  Car с 1595 по 2000 годы. [2]

Далее в 1830-х годах Джон Гершель проделал серию точных измерений, которая показала, что блеск звезды колебался в районе  $1.^m4$  вплоть до ноября 1837 года. К началу 1838 года звёздная величина  $\eta$  Car составляла около  $0.^m2$ , после чего звезда снова начала ослабевать. Это был второй локальный максимум вспышки.

Затем начался последний и самый мощный рост блеска: на период с 11 по 14 марта 1843 года  $\eta$  Car стала второй по яркости звездой (после Сириуса) на земном небе, её блеск достиг  $-1.^m0$ . Светимость на пике вспышки достигла порядка 30 млн  $L_{\odot}$ .

Забегая вперед, следует сказать, что в 1996 году было обнаружено, что вариации блеска проявляют 5.52-летнюю периодичность, для объяснения такой переменности и была предложена модель двойной звезды. Позднее период был уточнён до 5.54 года. Гипотеза о наличии в системе второго компонента была подтверждена наблюдениями изменений радиальной скорости системы и профилей спектральных линий. Подтверждение двойственности звезды значительно улучшило понимание физических характеристик  $\eta$  Car и её переменности.

Локальные максимумы или пики яркости «Великой вспышки», пришедшиеся на 1827, 1838 и 1843 годы, судя по всему, были обусловлены прохождением периастра звёздами двойной системы  $\eta$  Car, что было показано в работе [3].

На протяжении большей части 1844 года видимый блеск звезды составлял около  $0.^m2$ . С 1845 по 1856 звёздная величина падала примерно на  $0.^m1$  в год. По-видимому, 1856 год стал окончанием Великой вспышки.

С 1857 года яркость уменьшалась быстрыми темпами, пока звездная система не перестала быть видимой невооружённым взглядом. В работе [4] показано, что этот эффект был вызван конденсацией пыли из выброшенного вещества, окружающего звезду, а не собственными переменами в светимости.

### 2.3 Меньшая вспышка

Ещё одно увеличение яркости началось в районе 1887 года. Звёздная величина достигла  $6.^m2$  к 1892 году, затем к 1895 блеск упал до  $7.^m5$ . Несмотря на визуальный характер наблюдений вспышки 1892 года, в работе [5] подсчитано, что  $\eta$  Car была тусклее примерно на  $4.^m3$  из-за облаков газа и пыли, выброшенных в ходе предшествовавшей «Великой вспышки»  $\eta$  Car. В отсутствие этих помех блеск звёздной системы на тот момент должен был бы достигать примерно  $1.^m5$  -  $1.^m9$ .

### 2.4 XX век

В 1900—1940 годах блеск  $\eta$  Car практически не менялся, и звёздная величина в среднем равнялась  $7.^m6$ . Однако в 1953 году было отмечено увеличение блеска до  $6.^m5$ .

Неожиданное удвоение яркости в 1998—1999 годах вернуло звёздную систему в зону видимости невооружённым глазом и вновь привлекло внимание к изучению  $\eta$  Car.

## 3 Окружающее пространство

### 3.1 Туманность Киля

$\eta$  Car расположена в глубине туманности Киля (NGC 3372) - гигантской области звездного формирования в рукаве Стрельца нашей галактики Млечный Путь. Эта туманность — хорошо заметный невооружённым взглядом объект на южном ночном небе и представляет собой сочетание из эмиссионной, отражательной, и темной туманностей.  $\eta$  Car расположена на одном с туманностью расстоянии от Земли, и является освещающей эту туманность звездой. [7]

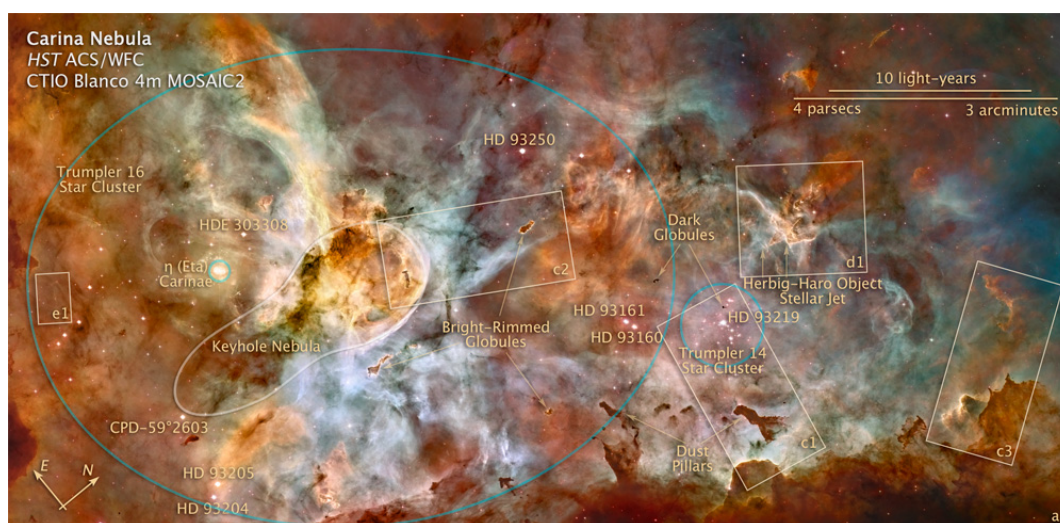


Рис. 3: Туманность Киля (NGC 3372). [8]

Туманность Киля в своих границах имеет две большие ОВ-ассоциации (группы звезд, включающие в себя звезды спектрального класса О и В), Киль ОВ1 и Киль ОВ2. Ассоциация Киль ОВ1 размером 70 световых лет является одной из наиболее массивных ассоциаций в нашей Галактике, и содержит два рассеянных звёздных скопления: Trumpler 14 и Trumpler 16, в котором находится  $\eta$  Car.

### 3.2 Туманность Гомункул

Вокруг  $\eta$  Car расположена туманность Гомункул (от лат. homunculus «маленький человек»), которая, как уже упоминалось, состоит из газа и обломков,



выброшенных в ходе «Великой вспышки». В строении туманности выделяются две «лопасти» и экваториальная «юбка». Полярный диаметр туманности близок к 0.7 светового года. Масса пыли в Гомункуле оценивается как  $0.04 M_{\odot}$  и даёт представление о масштабах «Великой вспышки» с оценками выброшенной материи от 15 до  $20 M_{\odot}$ . [9]

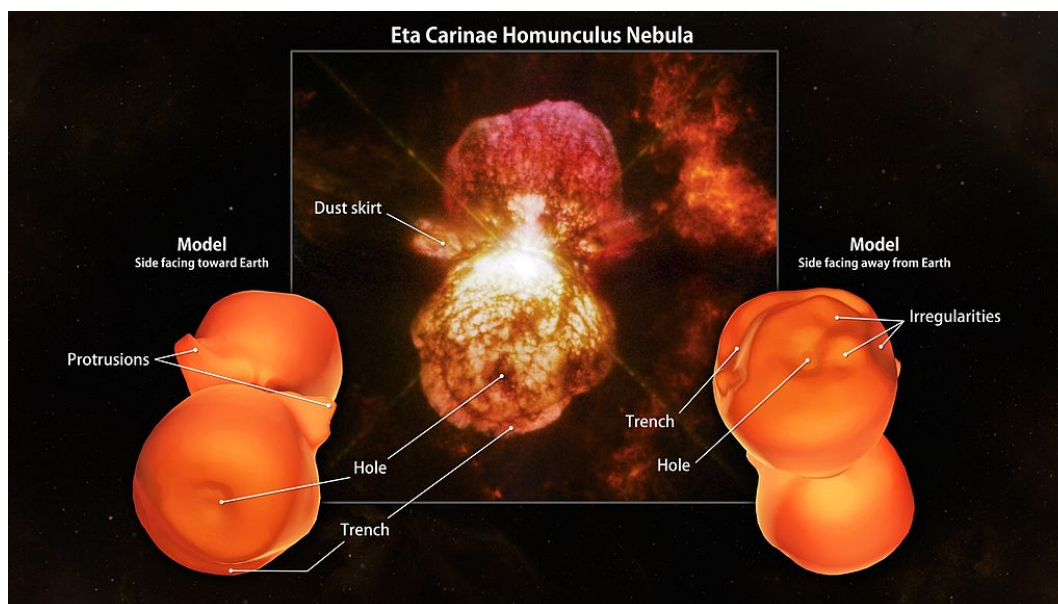


Рис. 4: Туманность Гомункул. [10]

Наблюдения при максимальном разрешении позволили выявить больше мелких деталей: туманность Малый Гомункул внутри основной туманности, возможно появившаяся в ходе вспышки 1892 года; тонкие потоки газа и «узелки» материи, особо заметные в регионе «юбки»; и три глобулы Вайгельта — плотные газовые облака, расположенные очень близко к звезде, т.е. маленькие отражательные туманности в центре Гомункула.

Комковатый внешний вид обеих лопастей биполярной туманности скорее всего является следствием газодинамических неустойчивостей. Можно предположить несколько сценариев появления этих неустойчивостей. К примеру, они могли возникнуть под действием непрерывного звездного ветра, дующего внутри лопастей, или светового давления на их пылевую компоненту.

## 4 Характеристики объекта

Звездная система  $\eta$  Car на данный момент является одной из самых массивных систем, её интересно было бы детально изучить, но это является крайне сложной задачей из-за экранирования компонентов околозвёздной материей. Их закрывают плотные облака, состоящие из сброшенной во время вспышек материи, и оптически толстый звёздный ветер, наблюдаемый от обоих компонентов системы. Поэтому оказывается невозможным увидеть истинные поверхности звезд и можно наблюдать только их псевдофотосферы. Соответственно, установить значения характеристик компонентов довольно проблематично.

### 4.1 Расстояние до системы

Расстояние до  $\eta$  Car было определено различными методами, полученное значение оказывается равным  $2.3 \text{ кпк} \pm 100 \text{ пк}$  ( $7800 \text{ св. лет} \pm 330 \text{ св. лет}$ ). [11]

### 4.2 Орбитальный период системы

Двойственность системы  $\eta$  Car установлена ясно, даже несмотря на невозможность видеть компоненты напрямую. Как уже говорилось, в 1996 году было обнаружено, что вариации блеска проявляют 5.52-летнюю периодичность. Периодические фотометрические и спектральные изменения побудили начать поиски компаньона, а моделирование позволило установить примерные орбиты компонентов системы.

В настоящее время орбитальный период системы уточнен до 5.539 лет. При этом были учтены спектральные изменения, связанные с потерей вещества обоими компонентами. Считается, что орбитальный период между «Великой Вспышкой» и меньшей вспышкой в 1892 году составлял примерно 5.52 лет, тогда как до «Великой Вспышки» был короче, его значение могло составлять от 4.8 до 5.4 лет. [12]

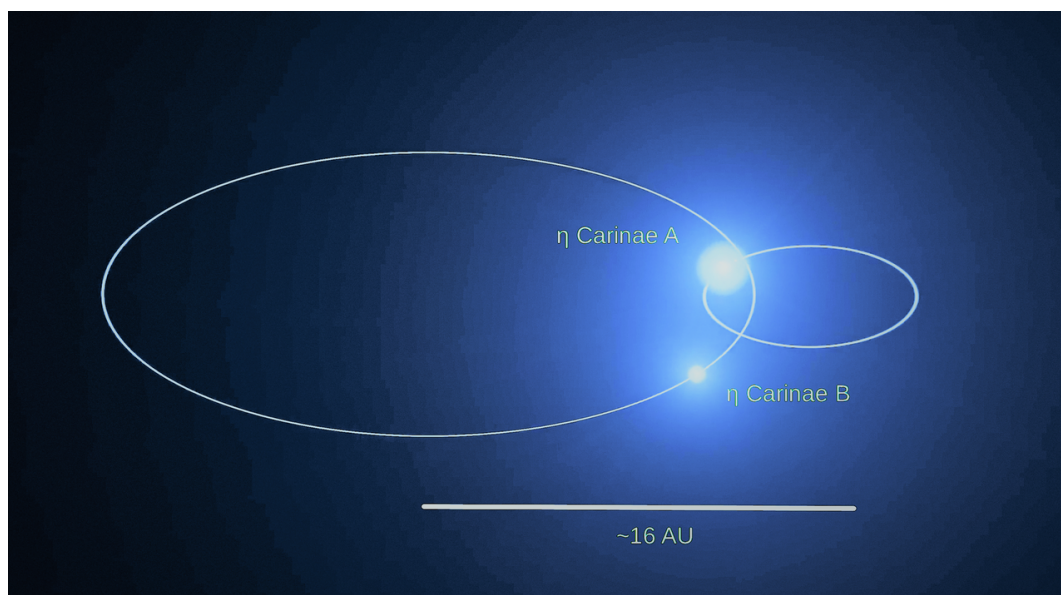


Рис. 5: Орбиты компонентов системы  $\eta$  Car. [13]

Орбитальное расстояние известно лишь приблизительно, с оценкой большой полуоси орбиты около 15.4 а.е. Орбита обладает большим эксцентриситетом,  $e = 0.9$ . Это означает, что расстояние между звёздами составляет иногда около 1.6 а.е., примерно как расстояние между Солнцем и Марсом, а иногда 30 а.е., примерно как расстояние между Солнцем и Нептуном. [14]

### 4.3 Массы компонентов и потеря масс

Стандартная модель системы предполагает, что масса главного компонента системы составляет 100—120  $M_{\odot}$ , а масса менее массивного компонента — 30—80  $M_{\odot}$  [12].  $\eta$  Car A потеряла огромную долю массы в ходе вспышек и, как предполагается, изначально обладала массой около 150  $M_{\odot}$ .

Потеря массы — один из наиболее интенсивно изучаемых аспектов существования массивных звёзд.  $\eta$  Car A обладает сверхвысоким темпом потери массы, сейчас это значение примерно составляет  $10^{-3} M_{\odot}$  в год.

Во время «Великой вспышки» темп потери массы был в тысячу раз больше, по оценкам - около 1  $M_{\odot}$  в год на протяжении десяти или более лет. Совокупная потеря массы на протяжении вспышки составила порядка 15-20  $M_{\odot}$ .

Большая часть вещества покидает  $\eta$  Car на скорости около 420 км/с, но также зафиксированно, что некоторая доля вещества уносится звёздным ветром на скорости до 3200 км/с, возможно эти потоки вещества образуются в результате взаимодействия менее массивного компонента с аккреционным диском более массивного компонента. [16]

#### 4.4 Звёздный ветер и температуры компонентов

В системе  $\eta$  Car наблюдается непрозрачный звёздный ветер от обоих компонентов и область столкновения ветров. В области столкновения наблюдается разделение звёздных ветров от двух звезд.

Присутствие горячего ветра, типичного для звёзд спектрального класса O или для звезд Вольфа-Райе, позволяет обнаружить излучение от  $\eta$  Car B. В работе [6] благодаря спектральным линиям удалось оценить температуру  $\eta$  Car B, она может составлять от 37 000 К до 41 000 К.

Помимо ветра от компонента B по другую сторону зоны столкновения ветров наблюдается звёздный ветер  $\eta$  Car A, куда более холодный и более чем в 100 раз более плотный, чем ветер  $\eta$  Car B. Он полностью скрывает поверхность более массивной звезды, наблюдаемое излучение происходит из псевдофотосферы. Эффективная температура на уровне псевдофотосферы оценивается разными методами на основании особенностей, видимых в спектре, и может быть равна от 15000 К до 35000 К.

Звёздный ветер от компонентов сталкивается внутри пылевой туманности, что становится причиной нагрева вещества в области столкновения вплоть до  $10^8$  К. Нагретое вещество излучает в жёстком рентгеновском и гамма-диапазонах.

Туманность Гомункул содержит пыль с температурами от 150 К до 400 К и перерабатывает 90% электромагнитного излучения в средний и дальний инфракрасный участки спектра. Это источник почти всего инфракрасного излучения от  $\eta$  Car, делающий её ярким объектом на этих длинах волн. [17]

## 4.5 Размеры компонентов системы

Сложно сказать что-либо конкретное о размерах компонентов двойной системы  $\eta$  Car ввиду трудностей с непосредственным наблюдением поверхностей звезд. Радиус  $\eta$  Car В можно установить исходя из принятого спектрального класса звезды. Сверхгигант О класса при температуре в 37000 К должен иметь радиус примерно в  $23 R_{\odot}$ . [18]

Размеры  $\eta$  Car А сложно определить даже примерно. По одним данным удалось вычислить радиус горячего звёздного ядра с температурой в 35000 К (то есть самой звезды внутри оптически плотного звёздного ветра) как  $60 R_{\odot}$  при оптической глубине 150 вблизи от того уровня, который можно было бы назвать физической поверхностью звезды. Вычисления при оптической глубине порядка 1 дают оценку радиуса в более чем  $800 R_{\odot}$ . На пике «Великой вспышки» радиус, насколько такое понятие применимо к моменту выброса огромной массы материи, мог достигать  $1400 R_{\odot}$ .

## 5 Наблюдаемое излучение

### 5.1 Видимое излучение

Ширина и форма спектральных линий  $\eta$  Car обладают значительной переменностью, но вместе с тем проявляют целый ряд отличительных особенностей. В спектре  $\eta$  Car ярко выражены эмиссионные линии, обычно широкие. Большинство линий имеют тип профиля P Cyg, но с абсорбцией много более слабой, чем эмиссия.

Линии водорода сильны, что говорит в пользу того, что  $\eta$  Car сохранила большую часть своей водородной оболочки. Линии HeI намного слабее водородных, а линии HeII отсутствуют. Линии NII идентифицируемы, но слабы, тогда как линии углерода не обнаружены вовсе, а линии кислорода крайне слабы. Одна из наиболее характерных особенностей спектра  $\eta$  Car — значимое присутствие эмиссионных линий FeII, как разрешённых, так и запрещенных; последние возникают при возбуждении газа туманности низкой плотности вокруг звезды.

## 5.2 Ультрафиолетовое излучение

Ультрафиолетовый спектр системы  $\eta$  Car богат эмиссионными линиями ионизированных металлов, например FeII и CrII, в нём также присутствует ярко выраженная линия Лайман $_{\alpha}$  ( $L_{\alpha}$ ).

Некоторые принадлежащие FeII линии в ультрафиолете необычно сильны. Они локализируются в глобулах Вайгеля и, как считается, вызваны механизмом, схожим по сути с работой лазера с низким коэффициентом усиления. Ионизированный водород в области между глобулами и центральной звездой генерирует интенсивную  $L_{\alpha}$  эмиссию, которая проникает в глобулы. Глобулы содержат атомарный водород с малой примесью других элементов, включая ионизированное излучением компонентов системы железо. Случайный резонанс (когда эмиссионное излучение по совпадению имеет подходящую энергию для накачки возбуждённого состояния) позволяет  $L_{\alpha}$  эмиссии возбуждать ионы Fe+ до определённого метастабильного состояния, создавая инверсию населённости, которая в свою очередь вызывает вынужденное излучение. Этот эффект схож по своей сути с мазерной эмиссией в плотных «карманах», окружающих многие холодные сверхгиганты, но последний эффект куда слабее в видимом и УФ спектре, и  $\eta$  Car — единственный пример ультрафиолетового космического лазера.

## 5.3 Излучение высоких энергий

В районе  $\eta$  Car было обнаружено множество источников во всём высокоэнергетическом электромагнитном спектре: жесткое рентгеновское и гамма-излучение внутри области в 1 световой месяц от  $\eta$  Car; жёсткое рентгеновское излучение из центрального района поперечником в 3 световых месяца; отчётливо различимая подковообразная структура протяжённостью 0.67 парсека (2.2 светового года), излучающая низкоэнергетические рентгеновские волны и соответствующая фронту ударной волны времён «Великой Вспышки»; рассеянное рентгеновское излучение, распределённое по всей площади туманности Гомункул; а также многочисленные уплотнения и дуги, видимые в гамма и рентгене.

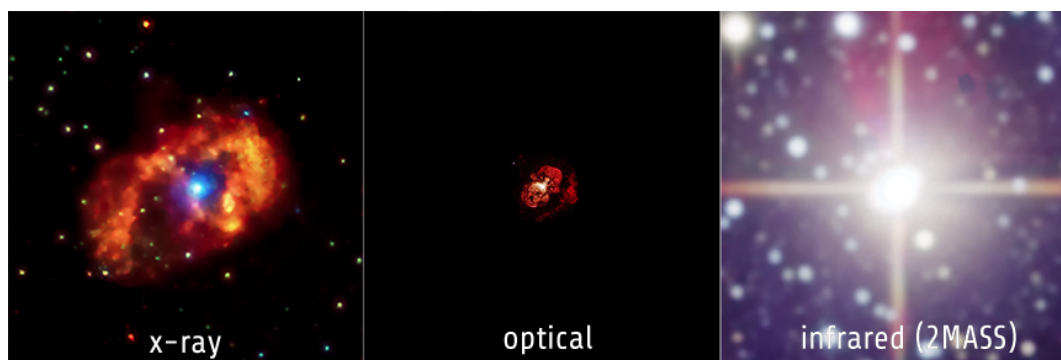


Рис. 6:  $\eta$  Car в рентгеновском, оптическом и инфракрасном диапазонах. [19]

## 5.4 Инфракрасное излучение

Инфракрасные наблюдения  $\eta$  Car становятся всё более и более важными. Подавляющее большинство электромагнитного излучения от компонентов системы поглощается окружающей пылью и затем излучается в среднем и далеком инфракрасном диапазонах в соответствии с температурой пыли. Инфракрасное излучение наблюдается на длинах волн, мало подверженным экстинкции, что позволяет делать гораздо более точные оценки светимости, чем в случае остальных экстремально ярких звезд.

## 5.5 Радиоизлучение

Радиоизлучение от  $\eta$  Car в основном наблюдается в микроволновом диапазоне. Эмиссия сконцентрирована в небольшом неточечном радиоисточнике с поперечником менее чем в 4 угловых секунды; она представляет собой главным образом излучение на свободно-свободных переходах (тепловое тормозное излучение).

## Список литературы

- [1] Jon Morse (University of Colorado) NASA Hubble Space Telescope, [hubblesite.org/image/430/news\\_release/1996](http://hubblesite.org/image/430/news_release/1996) – 23.
- [2] Frew D. J., The Historical Record of  $\eta$  Carinae I. The Visual Light Curve, 1595–2000, The Journal of Astronomical Data. — 2004. — Vol. 10, no. 6. — P. 1–76.
- [3] Damineli A., The 5.52 Year Cycle of Eta Carinae, Astrophysical Journal Letters. — 1996. — Vol. 460.— P. L49.
- [4] Davidson K., Humphreys R. M., Eta Carinae and Its Environment, Annual Review of Astronomy and Astrophysics. — 1997. — Vol. 35. — P.
- [5] Humphreys R. M., Davidson K., Smith N., Eta Carinae’s Second Eruption and the Light Curves of the eta Carinae Variables, The Publications of the Astronomical Society of the Pacific. — 1999. — Vol. 111, no. 763. — P. 1124–1231.
- [6] Mehner A. et al., High-excitation Emission Lines near Eta Carinae, and Its Likely Companion Star, The Astrophysical Journal.— 2010.—Vol. 710.— P. 729.
- [7] Smith, Nathan. A census of the Carina Nebula – I. Cumulative energy input from massive stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2006. — Vol. 367, no. 2. — P. 763.
- [8] NASA, ESA, Z. Levay (STScI),  
[http://hubblesite.org/image/2115/news\\_release/2007](http://hubblesite.org/image/2115/news_release/2007) – 16
- [9] Gomez, H. L.; Vlahakis, C.; Stretch, C. M.; Dunne, L.; Eales, S. A.; Beelen, A.; Gomez, E. L.; Edmunds, M. G. Submillimetre variability of Eta Carinae: Cool dust within the outer ejecta, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters. — 2010. — Vol. 401. — P. L48.
- [10] [https://apod.nasa.gov/apod/image/1407/etacarinae\\_model\\_comparison\\_labels2048.jpg](https://apod.nasa.gov/apod/image/1407/etacarinae_model_comparison_labels2048.jpg)
- [11] Walborn, Nolan R. The Company Eta Carinae Keeps: Stellar and Interstellar Content of the Carina Nebula, Eta Carinae and the Supernova Impostors. — 2012. — T. 384. — C. 25–27. — (Astrophysics and Space Science Library).
- [12] Kashi A., Soker N. Periastron Passage Triggering of the 19th Century Eruptions of Eta Carinae, The Astrophysical Journal. — 2010. — Vol. 723. — P. 602.
- [13] <https://www.abicko.cz/galerie/precti-si-technika-vesmir/48479/zahada-velke-exploze-falesna-supernova?foto=2>



- [14] Madura, T. I.; Gull, T. R.; Owocki, S. P.; Groh, J. H.; Okazaki, A. T.; Russell, C. M. P. Constraining the absolute orientation of  $\eta$  Carinae's binary orbit: A 3D dynamical model for the broad [Fe III] emission, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2012. — Vol. 420, no. 3. — P. 2064.
- [15] Soker, Noam. Why a Single-Star Model Cannot Explain the Bipolar Nebula of  $\eta$  Carinae, *The Astrophysical Journal*. — 2004. — Vol. 612, no. 2. — P. 1060.
- [16] Davidson, Kris; Humphreys, Roberta M. *Eta Carinae and the Supernova Impostors*. — New York, New York: Springer Science Business Media, 2012. — T. 384. — C. 26–27. — (Astrophysics and Space Science Library).
- [17] Davidson, Kris; Humphreys, Roberta M. *Eta Carinae and the Supernova Impostors*. — New York, New York: Springer Science Business Media, 2012. — T. 384. — C. 26–27. — (Astrophysics and Space Science Library).
- [18] Verner E. et al. The Binarity of  $\eta$  Carinae Revealed from Photoionization Modeling of the Spectral Variability of the Weigelt Blobs B and D, *The Astrophysical Journal*. — 2005. — Vol. 624, no. 2. — P. 973.
- [19] [http://www.chandra.harvard.edu/photo/2014/etacar/etacar\\_3panel.jpg](http://www.chandra.harvard.edu/photo/2014/etacar/etacar_3panel.jpg)