

ВЛАДИМИР СУРДИН

ПОНЯТНЫЙ КОСМОС

ОТ КВАРКА ДО КВАЗАРА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АСТ
МОСКВА

УДК 52
ББК 22.6
С90

Дизайн обложки *Виктора Чапурина*

В оформлении издания использованы иллюстрации Н. Л. Васильевой,
фотографии из архивов В. Г. Сурдина и NASA, ESA.

Сурдин, Владимир Георгиевич

С90 Понятный космос: от кварка до квазара / Владимир Сурдин. — 2-е изд.,
испр. и доп. — Москва : Издательство АСТ, 2025. — 384 с. — (История и наука
Рунета. Подарочное издание).

ISBN 1978-5-17-159905-8

«Понятный космос: от кварка до квазара» — это настольная энциклопедия, в которой содержатся развернутые объяснения терминов и понятий, используемых в современной астрономии и астрофизике, данные о звездах, планетах, галактиках и других небесных объектах. Из чего состоит Вселенная? Что такое черная дыра? Как светят звезды? Ответы на эти и многие другие вопросы подготовил российский астроном и просветитель Владимир Сурдин. Книга рассчитана на школьников, студентов, учителей и журналистов; многие ее статьи привлекут внимание продвинутых любителей астрономии и даже профессиональных ученых. Большинство данных приведено по состоянию на начало 2023 г.

УДК 52
ББК 22.6

ISBN 978-5-17-159905-8

© Сурдин В. Г., текст, фотографии, 2025
© Васильева Н. Л., иллюстрации, 2025
© ООО «Издательство АСТ», 2025

Введение

Сообщения об астрономических открытиях заполняют новостные ленты. Астрономия становится всё более популярной темой, на что указывают миллионные просмотры научно-популярных лекций в YouTube. Астрономия вновь стала обязательным предметом в старших классах средней школы и одним из любимых факультативных предметов во всех классах без исключения. Но те, кому выпало преподавать астрономию, а также те, кто увлекся ею как хобби, нуждаются в кратком и точном описании астрономических терминов и понятий. Только так мы сможем понять Вселенную.

Астрономия — наука древняя, поэтому её язык архаичен. «Слабость астрономии — вкладывать в простое слово древний смысл», — посетовал недавно один из читателей моих книг. Он запутался в астрономических терминах, приняв наблюдаемое «попятное движение» планеты за её реальное движение в обратном направлении. Что тут скажешь? Хотя в любой науке можно найти примеры устаревших и неоднозначных терминов (например, «плазма» в физике и в биологии — далеко не одно и то же), но всё же астрономия особенно богата атавизмами.

Хотя сегодня уже очевидно, что разбиение неба на созвездия, сохранение собственных имен звёзд, использование астрологических знаков для обозначения Солнца, Луны, планет и зодиакальных созвездий — всё это анахронизмы, но, к сожалению, до сих пор не было серьёзных попыток модернизировать язык астрономии. «Исторический хвост» этой науки, делающий её романтической в глазах неспециалистов, в действительности весьма заметно затрудняет контакты астрономии с другими, более молодыми, естественными дисциплинами — физикой, химией, биологией, — терминология которых приведена в более понятный и систематический вид.

«Зоопарк» астрономических объектов велик, и он постоянно расширяется: квазары, пульсары, магнитары, блазары... метеориты, метеоры, метеороиды... новые, сверхновые, гиперновые... мириды, цефеиды, персеиды, леониды... В астрономии много специфических слов. Одни из них обозначают типы объектов, другие — типы явлений. К сожалению, классификация астрономических объ-

ектов и явлений разработана слабо. Обилие специфических терминов затрудняет изучение астрономии. Многие учителя средней школы, чувствуя себя дилетантами в астрономии и не владея свободно её терминологией, предпочитают вообще не преподавать эту дисциплину школьникам, лишая их тем самым фундаментальных знаний об окружающем мире.

Разумеется, очень нелегко менять или модернизировать язык. Но через это проходили многие науки, и результат оправдывал временные трудности. Богатая история — это ещё и тяжёлый груз: астрономия ждёт своего Карла Линнея. Приблизив астрономическую систему классификации объектов к биологической, унифицировав терминологию с физической, введя более рациональные знаки, вероятно, можно было бы значительно упростить изучение астрономии и взаимный обмен информацией среди профессионалов. Возможно, при этом у астрономии исчезнет некоторый налёт романтизма. Но этот этап неизбежен в процессе эволюции любой науки. В конце концов, истинная романтика космоса — не в мифических именах планет и не в их загадочных «алхимических» знаках, а в сказочном разнообразии космических объектов и в гармонии законов, по которым они живут.

Модернизация языка науки происходит по мере необходимости. Не избежит этого и астрономия. А пока этого не произошло, всем, кто интересуется «наукой о звёздах», будет полезна эта книга. Ведь любая научная дискуссия, а особенно дискуссия, в которой участвуют специалисты разных наук, начинается с фразы: «Давайте определим понятия!» — то есть договоримся о значении слов. Ученые понимают: для конструктивного диалога важно, чтобы его участники в одни и те же слова вкладывали один и тот же смысл. Однако далеко не всегда это понимают специалисты других профессий, особенно сегодня, когда некоторые научные термины и обороты речи стали расхожими выражениями и потеряли свой строгий исходный смысл («формула», «теория», «катастрофа», «ученые доказали, что...» и т. п.). Более того, даже вполне чёткие астрономические понятия теперь часто претерпевают «абerrацию» и «обмениваются

смыслом»: многие не видят различия между астрономией и астрологией, звездой и планетой, метеором и метеоритом. Особенно печально, когда это наблюдается в профессиональной работе журналистов и переводчиков, растекаясь в средствах массовой информации.

Эта книга в основном рассчитана на школьников, студентов, учителей и журналистов. Однако многие её статьи привлекут внимание продвинутых любителей астрономии и даже профессиональных астрономов и физиков, поскольку большинство данных приведено на начало 2024 г. Отметим некоторые особенности этой книги.

1. Собранные здесь словарные статьи достаточно полно представляют терминологию современной астрономии. Тем не менее в некоторых узких разделах астрономии, таких как телескопостроение, астрохимия, астробиология, планетология и др., часто используются термины других дисциплин, которые не вошли в наше издание. Их следует искать в соответствующих справочниках и на специализированных интернет-сайтах, обращая особое внимание на уровень квалификации авторов статей.

2. Расположение статей – алфавитное. В большинстве составных терминов принят естественный порядок слов, т. е. такой же, как в речи и текстах книг, учебников и статей. Исключения сделаны в тех редких случаях, когда желательнее для взаимного сравнения располагать статьи рядом. Например: *год аномалистический, год бесселев, год драконический, год звёздный, год тропический...*

3. Точное значение терминов обычно содержится в учебниках и специализированных справочниках, однако часто эти книги «отстают от жизни». Развитие науки регулярно приводит к рождению новых терминов, которые входят в международную практику обычно на английском языке. Их адекватный перевод на русский иногда появляется не сразу. Например, термину «brown dwarf» уже полвека, а до сих пор нет его однозначного эквивалента на русском: обычно говорят «коричневый карлик», но встречается и «бурый карлик». Термин «habitable zone» некоторые переводят как «обитаемая зона», а другие (в их числе и я) – как «зона возможной

жизни» или просто «зона жизни». Совершенно уникальный пример даёт термин «multiverse»: сейчас в ходу более дюжины (!) его русских переводов, из которых в качестве основного мы выбрали «сверхвселенная». Подобную неоднозначность всегда следует иметь в виду.

4. В тексте книги используются некоторые астрономические знаки: M_{\odot} – масса Солнца, L_{\odot} – светимость Солнца, R_{\odot} – радиус Солнца. Запись типа $00^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}}$ означает время в часах, минутах и секундах (либо угол прямого восхождения в соответствующей часовой мере). Запись типа $00^{\circ} 00' 00''$ означает угол в градусах, минутах и секундах дуги. Запись типа 00^{m} означает блеск небесного светила в звёздных величинах. Буквенные сокращения объясняются ниже в разделе «Аббревиатуры».

5. В каждой профессии, в том числе и в каждой науке, есть свой сленг. Астрономия – не исключение. Профессионалы часто используют слова, имеющие для постороннего человека неоднозначный смысл: «слабая звезда» вместо «тусклая звезда», «стеклянная библиотека» вместо «архив фотопластинок», «щель башни» вместо «окно купола» и т. п. В этой книге я старался избегать профессионального сленга либо разъяснять его в подходящих случаях.

6. Здесь не указана литература, рекомендованная для дальнейшего изучения по темам конкретных статей, поскольку в эпоху развитого интернета это неактуально. Не указаны также использованные источники информации, поскольку указать их все было бы физически невозможно. Отмечу лишь, что в работе над текстом я опирался на наиболее качественные книги и сайты, а также пользовался консультациями коллег-астрономов. Фактически эта книга – результат коллективного труда лучших астрономов нашей страны и их зарубежных коллег, а роль автора в основном свелась к отбору и обновлению материала, а также к улучшению некоторых формулировок.

Поскольку при обзоре столь обширного материала трудно избежать неточностей, все сообщения о недостатках и ошибках будут с благодарностью приняты по адресу vsurdin@gmail.com и размещены на сайте <http://lnfm1.sai.msu.ru/~surdin>.

В. Г. Сурдин, ГАИШ МГУ, февраль 2024 г.

Аббревиатуры

Русские

а. е. м. – атомная единица массы.
АЗТ – астрономический зеркальный телескоп
АМС – автоматическая межпланетная станция
БПФ – быстрое преобразование Фурье
ГАИШ – Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (МГУ)
ГАО – Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
ГР-диаграмма, или диаграмма ГР, или диаграмма Г – Р, – диаграмма Герцшпрунга – Рассела
ЕКА – Европейское космическое агентство.
ИКИ – Институт космических исследований РАН
ИНАСАН – Институт астрономии Академии наук (РАН)
ИСЗ – искусственный спутник Земли.
К, К – кельвин, единица измерения температуры
кпк – килопарсек (англ. kpc)
КТХ – космический телескоп «Хаббл»
кэВ – килоэлектронвольт
ЛОМО – Ленинградское оптико-механическое объединение
М – каталог Мессье
МАС – Международный астрономический союз
МГУ – Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Мпк – мегапарсек; см. *Парсек*
МэВ – мегаэлектронвольт
НАСА – см. NASA
ОКПЗ – Общий каталог переменных звезд
ОСЗ – объекты, сближающиеся с Землёй
ПЗС – прибор с зарядовой связью
пк – парсек (англ. pc)
ПОО – потенциально опасные объекты
РАН – Российская академия наук
РСДБ – радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой
САО РАН – Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук.
св. год – световой год
ФИАН – Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук
ФРТ – функции рассеяния точки (аппаратная функция)
ФЭУ – фотоэлектронный умножитель
эВ – электронвольт
ЭОП – электронно-оптический преобразователь

Английские

AAS – American Astronomical Society, Американское астрономическое общество
AAO – Australian Astronomical Observatory, Австралийская астрономическая обсерватория (в прошлом – Англо-Австралийская обсерватория, Anglo-Australian observatory)
AAVSO – American Association of Variable Star Observers, Американская ассоциация наблюдателей переменных звёзд
ADC – Astronomical Data Center, Центр астрономических данных
AGS – Artificial Guide Star, искусственная опорная звезда
ALMA – Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array, Большая миллиметровая антенная решётка в Атакаме
ASA – American Standards Association, Американская ассоциация стандартов; светочувствительность фотоэмульсии
ASP – Astronomical Society of the Pacific, Тихоокеанское астрономическое общество
ATCA – Australia Telescope Compact Array, Австралийская компактная сеть радиотелескопов
AURA – Association of Universities for Research in Astronomy, Ассоциация университетов для астрономических исследований
B1950 – см. *Эпоха; Год, бесселев*
BD – Bonner Durchmusterung, Боннское обозрение
C-band – рентгеновский диапазон спектра с длинами волн от 5 до 10 нм
CBAT – Central Bureau for Astronomical Telegrams, Центральное бюро астрономических телеграмм
CDS – Centre de Données astronomiques de Strasbourg, Центр астрономических данных в Страсбуре (Франция)
CFHT – Canada-France-Hawaii telescope, Канадо-франко-гавайский телескоп
CHARA – Center for High Angular Resolution Astronomy, Центр астрономии высокого углового разрешения
CNES – Centre National d'Etudes Spatiales, Национальный центр космических исследований Франции
COAST – Cambridge optical aperture synthesis array, Система оптического апертурного синтеза Кембриджа
CSA – Canadian Space Agency, Канадское космическое агентство

- CTIO – Cerro Tololo Inter-American Observatory, Межамериканская обсерватория Сьерро-Тололо
- Dec – Declination, склонение
- ESO – European Southern Observatory, Европейская южная обсерватория
- ESA – European Space Agency, Европейское космическое агентство
- FITS – Flexible Image Transport System, формат электронных изображений
- GIF – Graphics Interchange Format, формат электронных изображений
- GMT – Greenwich Mean Time, среднее гринвичское время (Всемирное время)
- GSC – Guide Star Catalog, Каталог гидировочных звезд
- GSD – Greenwich Siderial Date, гринвичская звёздная дата
- HD – HD catalog, каталог HD, каталог Генри Дрэпера
- HET – Hobby-Eberly Telescope, телескоп Хобби – Эберли
- HIPPARCOS – High Precision PARallax COLlecting Satellite, см. *Каталог ГИППАРКОС*
- HJD – Heliocentric Julian Date, гелиоцентрическая юлианская дата
- HST – Hubble Space Telescope (NASA), космический телескоп «Хаббл»
- HWHM – Half-Width at Half-Maximum, Полуширина на уровне половины от максимума, см. *Полная ширина на половине от максимума*
- IAC – Instituto de Astrofísica de Canarias (исп.), Институт астрофизики на Канарских островах
- IBVS – Information Bulletin on Variable Stars, Информационный бюллетень переменных звёзд
- IC – Index catalog, Индекс каталог
- IDA – International Dark sky Association, Международная ассоциация тёмного неба
- IRAF – Image Reduction and Analysis Facility, средство редукции и анализа изображений
- J2000 – см. *Эпоха*
- JD – Julian Day, юлианский день; Julian Date, юлианская дата
- JPEG – Joint Photographic Experts Group, формат электронных изображений
- JPL – Jet Propulsion Laboratory, Лаборатория реактивного движения
- LBT – Large binocular telescope, Большой бинокулярный телескоп
- LGS – Laser Guide Star, Лазерная опорная звезда, см. *Искусственная опорная звезда*.
- LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, Лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория.
- LMC – Large Magellanic Cloud, Большое Магелланово Облако, см. *Магеллановы Облака*
- LZT – Large Zenith Telescope, Большой зенитный телескоп
- MACHO – Massive Compact Halo Objects, Массивные компактные объекты гало
- MERLIN – Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network, Многоэлементная интерферометрическая сеть с радиосвязью
- NASA – National Aeronautic and Space Administration, Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства
- NED – NASA extragalactic database, База данных внегалактических объектов NASA
- NG – N-galaxy, N-галактика
- NGC – New General Catalog, Новый общий каталог
- NGST – Next Generation Space Telescope, Космический телескоп следующего поколения
- NOAO – National Optical Astronomy Observatories, Национальные обсерватории оптической астрономии
- NSSDC – National Space Science Data Center, Национальный центр космических данных
- NTT – New Technology Telescope, Телескоп новой технологии
- PASP – Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Публикации Тихоокеанского астрономического общества
- RA – Right Ascension, Прямое восхождение
- RAS – Royal Astronomical Society, Королевское астрономическое общество
- RGO – Royal Greenwich observatory, Королевская Гринвичская обсерватория
- ROE – Royal observatory, Edinburgh, Королевская обсерватория в Эдинбурге
- SALT – South African large telescope, Большой южно-африканский телескоп
- SAO – Смитсоновская астрофизическая обсерватория
- SAR – Synthetic Aperture Radar, Радар с синтезируемой апертурой

- S-band – радиодиапазон спектра в области длины волны 13 см
- SIMBAD – Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data, База обозначений, измерений и библиография астрономических данных. Постоянно пополняемая база данных в Центре астрономических данных в Страсбуре (Франция), включающая информацию о более чем 3 млн астрономических объектов. Адрес: <http://simbad.u-strasbg.fr/Simbad>
- SMC – Small Magellanic Cloud, Малое Магелланово Облако, см. *Магеллановы Облака*.
- TAI – Temps Atomique International (франц.), Международное атомное время
- TIFF – Tagged Image File Format, формат электронных изображений
- UKIRT – UK InfraRed Telescope, Британский инфракрасный телескоп
- UKST – UK Schmidt telescope, Британский телескоп системы Шмидта (Британская камера Шмидта)
- USNO – United States Naval observatory, Морская обсерватория США
- UT – Universal time, Всемирное время
- UTC – Universal coordinated time, Всемирное координированное время
- VLA – Very Large Array, Очень большая (антенная) решётка
- VLBA – Very-Long-Baseline Array, Антенная решётка со сверхдлинными базами
- VLBI – Very-Long-Baseline Interferometry, Радиointерферометрия со сверхдлинной базой
- VLT – Very Large Telescope, Очень большой телескоп ESO
- WHT – William Herschel Telescope, телескоп «Вильям Гершель»
- WIMP – Weakly Interacting Massive Particles, слабо взаимодействующие массивные частицы
- X-band – радиодиапазон спектра в области длины волны 3,5 см

Астрономические величины и их обозначения

Величина	Обозначение	Значение
Радиус Солнца	R_{\odot}	$6,96 \cdot 10^8 \text{ м} \approx 109$ радиусов Земли
Масса Солнца	M_{\odot}	$1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг} \approx 333\,000$ масс Земли
Светимость Солнца	L_{\odot}	$3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт} = 3,85 \cdot 10^{33} \text{ эрг/с}$
Парсек	1 пк	$3,0857 \cdot 10^{16} \text{ м} \approx 206\,265 \text{ а. е.} \approx 3,262 \text{ св. года}$
Астрономическая единица	1 а. е.	$149\,597\,870 \text{ км} \approx 499 \text{ св. с} \approx 8,32 \text{ св. мин}$
Световой год	1 св. год	$1 \text{ св. год} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м} = 0,3066 \text{ пк}$
Средний радиус Земли	R	6371 км
Масса Земли	M	$5,97 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

Напутствие

В любой науке, и астрономия не исключение, внимательно относятся к смыслу слов. Например, если сказано, что космический аппарат «вышел на орбиту Земли» (Марса, Юпитера и т. п.), это значит, что он, как и указанная планета, обращается вокруг Солнца. А чтобы сообщить, что он обращается вокруг планеты, нужно сказать «вышел на орбиту вокруг Земли» или же «...на околоземную орбиту». То же с Луной («на окололунную орбиту») и другими телами. Кстати, глаголы «вращаться» и «обращаться» в астрономии имеют разный смысл.

Внимательно следите за словами! Слово – не воробей: вылетит – не поймаешь!

А

АБАСТУМАНСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — см. *Грузинская национальная астрофизическая обсерватория*.

АБЕРРАЦИЯ ОПТИЧЕСКАЯ, точнее — абerrация оптической системы (от лат. *aberratio* — уклонение) — искажение изображения, построенного оптическим прибором, когда оптические изображения неточно соответствуют предмету, оказываются размыты (монокроматические геометрические абerrации) или окрашены (хроматические абerrации). Как правило, абerrации обоих типов проявляются одновременно.

В приосевой (параксиальной) области оптическая система близка к идеальной: точка изображается точкой, прямая линия — прямой и плоскость — плоскостью. Но при конечной ширине пучков и конечном удалении точки-источника от оптической оси эти правила нарушаются: лучи, испускаемые точкой предмета, не пересекаются в одной точке плоскости изображений, а образуют кружок рассеяния.

В зависимости от причины и характера искажения различают пять геометрических абerrаций и две хроматические. Геометрические абerrации, искажающие подобие между объектом и его изображением, — это кривизна поля, кома, дисторсия, астигматизм и сферическая абerrация. В отличие от них, хроматические абerrации возникают и в параксиальной области.

Полностью устранить абerrации в одном инструменте практически невозможно, поэтому, в зависимости от его назначения, исправляются в большей или меньшей степени одни или другие абerrации (см. *Анастигмат*, *Апохромат*, *Ахромат*).

АБЕРРАЦИЯ СВЕТА (англ. *aberration of light*) — изменение направления распространения излучения при переходе от одной системы отсчёта к другой. В астрономии этот эффект проявляется как смещение направления на светило, вызванное движением наблюдателя — например, вместе с движущейся Землёй. Нередко вместо термина «абerrация света» астрономы используют термин «звёздная абerrация» (англ. *stellar aberration*).

Хотя абerrация света — явление релятивистское, для его наглядного представления вполне годится модель классического сложения скоростей. Современное физическое объяснение опирается на постулат о неизменности скорости света. Если v — скорость наблюдателя, а c — скорость света, причём $v \ll c$, то направление прихода света для этого наблюдателя изменяется на угол в радианах $\alpha \approx (v/c) \sin \theta$, где θ — исходный угол, образуемый направлением распространения света с направлением движения. Из-за абerrации наблюдатель видит источник света смещённым к апексу своего движения на угол α . Иными словами, изображение светила всегда смещается в направлении движения.

В астрономии абerrация света приводит к тому, что положение звёзд на небе меняется из-за движения наблюдателя вместе с Землёй. Например, обращение Земли вокруг Солнца вызывает годовую абerrацию (англ. *annual aberration*), вследствие которой в течение года все объекты описывают на небесной сфере небольшие эллипсы с большой полуосью $20,5''$. Форма эллипса зависит от эклиптической широты звезды. Если звезда находится точно в полюсе эклиптики, а значит, её лучи постоянно перпендикулярны к плоскости земной орбиты, она будет в течение всего года казаться отстоящей от своего истинного положения на $20,5''$. То есть наблюдатель на Земле будет видеть, что за год она описывает маленький круг диаметром $41''$. Для прочих звёзд этот кажущийся путь будет не окружностью, а эллипсом, большая ось которого параллельна большой оси эклиптики, наблюдаемой от этих звёзд, а малая ось тем меньше, чем ближе звезда к эклипике. Если звезда ле-



С точки зрения движущегося наблюдателя направление потока меняется.

жит на самой эклиптике, её годовое движение вследствие aberrации представится в виде прямой линии, параллельной эклиптике, и по этой прямой звезда идёт то в одну сторону, то в другую.

Кроме годичной aberrации, в астрономии принимаются в учёт и другие явления, связанные с aberrацией света.

В результате вращения Земли наблюдается «суточная aberrация» (англ. *diurnal aberration*). С периодом в звёздные сутки скорость наблюдателя меняется не более чем на 463 м/с (если наблюдатель находится на экваторе), что приводит к суточной aberrации с амплитудой не более 0,32".

В понятие «планетная aberrация» входит видимое смещение источника света, вызванное не только его движением относительно наблюдателя, но также изменением его положения в пространстве за время распространения света от него до наблюдателя. Это связано с тем, что расстояние между Землёй и объектами Солнечной системы изменяется быстро и относительно сильно, тогда как для далёких объектов относительное изменение расстояний мало, отчего и изменение направлений на них, связанное с временем распространения света, практически незаметно.

Отдельным понятием считается годичная aberrация Солнца, направление которой в некотором смысле не меняется: смещение на угол 20,5" (если считать земную орбиту круговой) всегда направлено на запад. В зависимости от выбранной системы отсчёта это явление можно интерпретировать и по-другому: смещение (отставание изображения Солнца от его реального положения) возникает из-за времени распространения света от Солнца до Земли (8,32 минуты). Действительно, за это время, учитывая орбитальную скорость Земли (30 км/с), её положение относительно Солнца изменится на $8,32 \text{ мин} \times 30 \text{ км/с} = 15 \text{ тыс. км}$. Это приводит к угловому смещению изображения Солнца на $15 \text{ тыс.}/150 \text{ млн} = 10^{-4} \text{ рад} = 20,5''$, т. е. как раз на угол годичной aberrации. Похожая ситуация возникает и с годичным параллаксом Солнца: формально он равен 360°, что иначе называется движением Солнца по эклиптике.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — мера истинной мощности излучения небесного объекта. Определяется как видимая звёздная величина светила (обычно звезды или галактики), которую оно имело бы при его наблюдении с расстояния в 10 пк при отсутствии межзвёздного поглощения (см. *Звёздная величина*). В формулах обычно обозначается латинской буквой M , часто с указанием спектрального диапазона в виде индекса. Например, M_V , M_B и т. п. (см. *Фотометрическая система*).

Абсолютная звёздная величина некоторых типичных объектов

Объект	M_V
Сверхновая типа Ia	-19,4
Бетельгейзе (α Ori)	-5,0
Сириус A	+1,42
Солнце	+4,82
Тусклые белые карлики	+16
Юпитер в полной фазе	+26

Если m — видимая звёздная величина, M — абсолютная звёздная величина, r — расстояние в парсеках, $A(r)$ — межзвёздное поглощение света, выраженное в звёздных величинах и в среднем зависящее от расстояния до объекта, но также и от направления на него (поскольку распределение пыли в межзвёздном пространстве весьма неоднородно), то

$$M = m + 5 - 5 \lg r - A(r).$$

Отношение светимостей L_1 и L_2 двух объектов, имеющих абсолютные звёздные величины M_1 и M_2 , можно вычислить по формуле

$$\lg(L_1/L_2) = 0,4(M_2 - M_1),$$

не забывая, что эти величины должны относиться к одному и тому же спектральному диапазону. Например, светимость звезды в фильтре V по отношению к Солнцу вычисляется по её абсолютной величине в этом фильтре:

$$\lg(L_V/L_{V\odot}) = 0,4(4,82 - M_V) = 1,93 - 0,4M_V,$$

где светимость Солнца в фильтре V составляет $L_{V\odot} = 3,58 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА АСТЕРОИДА (M) — звёздная величина астероида, какой она была бы при его расстоянии от Земли и от Солнца в 1 а. е. Освещённость

от астероида на Земле можно представить как

$$F = F_0 / (r^2 \Delta^2),$$

где r – расстояние от Солнца, Δ – расстояние от Земли, F_0 – значение F при $r = \Delta = 1$ а. е. При этом его видимая звёздная величина составит

$$m = M + 5 \lg r + 5 \lg \Delta.$$

Для известных астероидов $M \geq 3^m$.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА КОМЕТЫ (H_0) – звёздная величина головы кометы, которую она имела бы, находясь от Земли и от Солнца на расстояниях в 1 а. е. Для вычисления абсолютной величины кометы недостаточно, как, например, в случае астероида, знать видимый блеск (m) и расстояния от Земли (Δ) и от Солнца (r): требуется ещё сделать предположение о том, как зависит «светимость» кометы от её расстояния до Солнца. Для твёрдого тела с неизменными свойствами поверхности (астероид) эта зависимость чисто геометрическая: мощность рассеянного им солнечного света пропорциональна r^{-2} . Но свойства кометы – размер и плотность её головы – меняются сложным образом. В общем случае «светимость» кометы можно представить как $\sim r^{-n}$, причём из наблюдения за различными кометами получают $2 < n < 6$. Среднее по многим наблюдениям значение $n = 4$; его и принимают для вычисления абсолютных звёздных величин комет по формуле

$$H_0 = m - 2,5 n \lg r - 5 \lg \Delta = m - 10 \lg r - 5 \lg \Delta.$$

Для разных комет она варьирует от -3^m (комета 1729 г.) через $4,6^m$ (комета Галлея 1910 II) до $+15^m$ (самые слабые из открываемых комет).

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА МЕТЕОРА (M) – блеск метеора, каким он был бы виден с расстояния 100 км, будучи расположен в зените:

$$M = m - 5 \lg (R/100 \text{ км}) - K,$$

где R – истинное расстояние до метеора, K – поправка за экстинкцию (редукция к зениту).

АДАПТАЦИЯ ЗРЕНИЯ К ТЕМНОТЕ – физиологическое явление (известное также как ночное зрение), благодаря которому чувствительность зрения увеличивается в десятки раз после пребывания в темноте в те-

чение нескольких минут. Наиболее известным механизмом адаптации к темноте является увеличение размера зрачка глаза. Средний диаметр зрачка при ярком освещении составляет 2–3 мм; в темноте зрачок за несколько секунд расширяется, и его диаметр возрастает у людей среднего возраста до 6–7 мм (у молодых людей немного больше, у пожилых – меньше), что увеличивает количество пропускаемого света в 7–8 раз. Однако основной механизм адаптации более сложен и связан с физиологическими процессами в сетчатке глаза.

Сетчатка устлана мельчайшими светочувствительными клетками – палочками и колбочками; палочек приблизительно в 20 раз больше. Палочки распределены по всей сетчатке (кроме центральной ямки), колбочки сконцентрированы в области жёлтого пятна сетчатки. Палочки и колбочки по-разному реагируют на свет: палочки чувствительнее колбочек и обеспечивают чёрно-белое зрение, а колбочки имеют невысокую чувствительность, но позволяют различать цвета. Есть три типа колбочек, отвечающих за восприятие синего, зелёного и жёлто-красного участков спектра. При поглощении света в палочках происходит расщепление молекул родопсина, которым богаты палочки. При ярком освещении родопсин быстро расходуется, поэтому в основном работает колбочковое (цветное) зрение. В полной темноте родопсин восстанавливается в течение примерно 20 минут. После полного восстановления родопсина чувствительность палочек приблизительно в 100 раз превышает чувствительность колбочек. Таким образом, после адаптации к темноте глаз способен воспринимать сравнительно малые световые потоки, но теряет возможность различать цвета.

Если зрение адаптировалось к темноте, то даже кратковременное яркое освещение приводит к быстрому израсходованию родопсина. Поэтому для сохранения адаптации к темноте наблюдатели предпочитают работать при очень слабой подсветке или даже совсем без неё. Известно, что граничная длина волны, до которой палочки ещё воспринимают свет, составляет приблизительно 600 нм, в то время как колбоч-

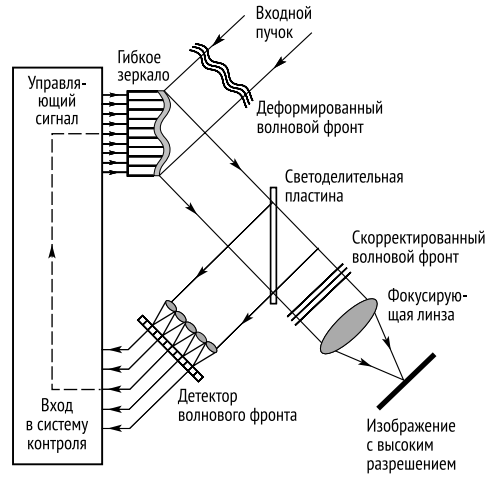
ки, воспринимающие жёлто-красные лучи, реагируют на излучение с длиной волны до 700 нм. Поэтому при наблюдениях можно использовать тёмно-красную подсветку без нарушения адаптации к темноте.

АДАПТИВНАЯ ОПТИКА — метод исправления атмосферных искажений изображения при астрономических наблюдениях, позволяющий повысить угловое разрешение крупного наземного телескопа вплоть до теоретически возможного предела.

Проходя сквозь неоднородную турбулентную атмосферу, плоский волновой фронт света теряет свою форму, при этом изображение даже в идеальном телескопе утрачивает резкость и дрожит. Для восстановления плоской формы волнового фронта обычно используется небольшое вторичное «мягкое» зеркало, управляемое компьютером и с высокой частотой (до 1 кГц) изменяющее свою форму. Необходимым условием для работы системы адаптивной оптики является наличие по соседству с изучаемым объектом достаточно яркого точечного источника — опорной звезды. Управляющая программа с помощью детектора волнового фронта анализирует изображение одиночной звезды и, регулируя форму мягкого зеркала, добивается того, чтобы её изображение приняло идеальный, точечный вид. Если это удаётся, то становятся более чёткими изображения и всех других объектов, наблюдаемых вблизи этой опорной звезды в пределах области изопланатизма (см. *Область изопланатизма*). Эффективность системы адаптивной оптики определяется числом Штреля (см. *Число Штреля*).

В качестве детектора искажений, вносимых атмосферой в волновой фронт излучения опорной звезды, обычно используют датчик Гартмана, содержащий матрицу из микролинз, расположенную в выходном зрачке телескопа. Например, у 8,2-м телескопов VLT это матрица 30×30 . Каждая микролинза строит отдельное изображение звезды на ПЗС-приёмнике. Смещения мгновенного фотоцентра каждого изображения указывают наклон волнового фронта в данном месте входной апертуры.

Для быстрого анализа изображения опорной звезды она должна быть весьма яр-



Принципиальная схема адаптивной оптической системы телескопа

кой, ведь свет от неё делится датчиком Гартмана на много частей и положение каждого созданного им изображения определяются сотни и даже тысячи раз в секунду. Поскольку в поле зрения телескопа редко встречаются яркие звезды, во многих системах адаптивной оптики имеется возможность зажигать «искусственную звезду». При этом используется тот факт, что слои земной атмосферы на высоте около 90 км обогащены атомами натрия. С помощью мощного лазера в поле зрения телескопа на этой высоте возбуждается свечение натрия, т. е. создаётся маленькое яркое пятно, играющее роль искусственной опорной звезды.

Система активной оптики жизненно необходима для работы наземного оптического интерферометра, поскольку длина когерентности света после его прохождения через атмосферу составляет всего около 10 см.

АДАБАТИЧЕСКИЕ ФЛУКТУАЦИИ (в космологии) — один из возможных типов малых нарушений однородности Вселенной, привлекаемых для объяснения происхождения её наблюдаемой структуры: галактик, их скоплений и сверхскоплений. Адиабатические флуктуации присутствуют, вероятно, уже на самых ранних стадиях эволюции Вселенной — вблизи космологической сингулярности. Они представляют собой неоднородности плотности и потенциальные возмущения скорости вещества, которые нарушают однородное и изотропное

расширение Вселенной и, нарастая под действием сил тяготения, приводят к образованию гравитационно обособленных космических тел.

АДРОНЫ (от греч. *hadros* – большой, сильный) – семейство элементарных частиц, участвующих в сильном ядерном взаимодействии. К адронам относятся все барионы (в том числе нуклоны – протон и нейтрон), мезоны (включая мезонные резонансы) и соответствующие античастицы. Термин «адрон» предложил Л. Б. Окунь в 1967 г.

Адроны обладают сохраняющимися в процессах сильного взаимодействия квантовыми числами: странностью, очарованием, красотой и др. В свободном состоянии все адроны (за исключением, возможно, протона) нестабильны.

Все адроны – составные частицы. Большинство известных барионов состоит из трёх кварков, антибарионы – из трёх антикварков, а мезоны – из кварка и антикварка. Связь между кварками в адронах осуществляется глюонами. Составляющие адрона – кварки и глюоны – обладают цветовым зарядом, который полностью компенсируется внутри адрона, так что сами адроны цветовым зарядом не обладают и являются «бесцветными». Теория сильного взаимодействия – квантовая хромодинамика – предсказывает, что при высоких температурах и/или плотностях адронная материя должна превращаться в цветовую плазму кварков и глюонов. Поэтому, по современным представлениям, в так называемую адронную эру на ранних (до 10^{-5} с) стадиях эволюции Вселенной в равновесии с излучением находились не адроны, а плазма кварков, антикварков и глюонов.

АЗИМУТ (араб. *ас-сумут* направление) – одна из двух координат в горизонтальной системе небесных координат, измеряемая углом между небесным меридианом наблюдателя и вертикальным кругом, проходящим через небесный объект. Проще говоря, это угол, отсчитываемый вдоль линии горизонта, между некоторым фиксированным направлением (стороной света) и вертикальной проекцией небесного объекта на горизонт. В записях и формулах азимут обозначается буквой *A*.

Астрономы традиционно отсчитывают азимут от точки юга к западу, от 0° до 360° . Например, азимуты точек юга, запада, севера и востока составляют соответственно 0° , 90° , 180° и 270° . Иногда азимут отсчитывают от 0° до 180° к западу со знаком «+» (западные азимуты) и от 0° до 180° к востоку со знаком «-» (восточные азимуты). В отличие от астрономов, геодезисты и географы отсчитывают азимут от точки севера к востоку, поэтому астрономический и геодезический азимуты могут различаться на 180° . Иногда геодезисты используют магнитный азимут, опорное направление для которого задаёт северный конец стрелки магнитного компаса. В последние годы астрономы тоже начинают (особенно в компьютерных программах) отсчитывать азимут от точки севера. Поэтому во избежание недоразумений необходимо, указывая значение азимута, уточнять, от какой точки и в каком направлении он измерен.

АКВАРИДЫ – метеорный поток. Точнее, под этим названием фигурируют три различных метеорных потока: η -Аквариды, δ -Аквариды N и δ -Аквариды S. Поток Эта-Аквариды (η -Аквариды) наблюдается между 24 апреля и 20 мая с максимумом 4–5 мая. Это метеорный поток средней мощности, связанный с кометой 1P/Галлея. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^{\text{h}} 20^{\text{m}}$ и $\delta = 0^\circ$. Средняя частота появления метеоров в максимуме (*N*) около 20 в час. Метеоры очень быстрые: геоцентрическая скорость частиц 65 км/с. Дельта-Аквариды Северные (δ -Аквариды N) наблюдаются между 14 июля и 25 августа с пиком в районе 12 августа. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^{\text{h}} 22^{\text{m}}$ и $\delta = -5^\circ$. *N* = 10/час. Дельта-Аквариды Южные (δ -Аквариды S) наблюдаются между 14 июля и 20 августа со слабо выраженным пиком в районе 28 июля. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^{\text{h}} 36^{\text{m}}$ и $\delta = -17^\circ$. *N* = 20/час.

АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ – вращающиеся диски, образуемые диффузным веществом в процессе его аккреции на массивные космические объекты. Причина образования диска – сохранение момента импульса падающего вещества, приводящее к росту угловой и линейной (трансверсальной) ско-

рости вещества по мере его приближения к центру тяготения. Это, в свою очередь, приводит к росту центробежной силы, которая на некотором расстоянии от объекта практически уравнивает его силу тяготения и превращает свободное падение вещества в медленное приближение по спирали.

АККРЕЦИЯ (англ. *accretion* прирост, присоединение) – выпадение рассеянного вещества из окружающего пространства на космическое тело – планету, звезду, галактику. В процессе аккреции происходит выделение гравитационной энергии, которая превращается в тепло и в итоге уходит в виде излучения. При наличии межзвёздного газа естественно ожидать, что его притяжение звёздами будет вызывать аккрецию этого газа на их поверхность. Однако для обычных звёзд характерна не аккреция, а, наоборот, истечение вещества с поверхности (звёздный ветер). Истекающее вещество и давление излучения звезды выталкивают разреженный межзвёздный газ из окрестностей звезды и препятствуют аккреции. Но если рядом со звездой окажется обильный источник газа, то ситуация может измениться. Например, притяжение звезды может вызвать аккрецию газа из верхних слоёв атмосферы соседней звезды – близкого компаньона по двойной системе. Особенно активно это происходит в тесных двойных системах, где один из компонентов – ком-

пактный остаток звёздной эволюции: белый карлик, нейтронная звезда или чёрная дыра. На сверхмассивные чёрные дыры в ядрах галактик также происходит аккреция межзвёздного газа, вещества разрушенных и, вероятно, даже целых звёзд, если плотность их вещества достаточно высока. Как правило, при аккреции значительная доля гравитационной энергии падающего вещества выделяется в виде излучения: вещество нагревается при ударе о поверхность звезды или в результате взаимного трения слоёв в аккреционном диске. Процесс аккреции отвечает за свечение рентгеновских источников в тесных двойных системах, активных ядер галактик и квазаров.

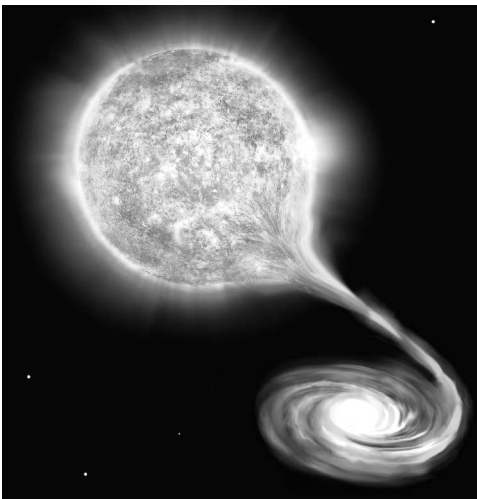
АКРОНИЧЕСКИЙ ВОСХОД (лат. *acronychus*, от греч. *acros* – верх, край и *nix* – ночь) – появление звезды над горизонтом на востоке при заходе Солнца (восход в лучах вечерней зари).

АКСИОН – гипотетическая сверхлёгкая нейтральная частица. До сих пор не зарегистрирована экспериментально. Одна из возможных составляющих скрытой массы Вселенной, т. е. тёмной материи.

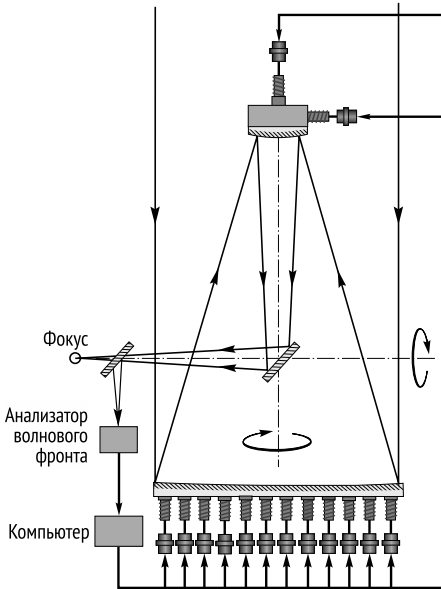
АКТИВНАЯ ОПТИКА – методика поддержания идеальной формы главного зеркала и правильного расположения основных оптических элементов телескопа-рефлектора.

Главная особенность современных астрономических систем активной оптики – линия обратной связи, позволяющая контролировать качество изображения и при необходимости исправлять его, меняя форму главного зеркала при помощи управляемых компьютером упоров-актюаторов и перемещая вторичное зеркало.

При наличии системы активной оптики требования к главному зеркалу телескопа меняются принципиально: оно должно быть не предельно жёстким, как раньше, а достаточно мягким, чтобы поддаваться управлению. Поэтому у современных крупных телескопов главное зеркало либо является относительно тонким (например, при диаметре 8–9 м имеет толщину всего 20 см), либо состоит из множества независимых элементов (например, 36 гексагональных двухметровых пластин составляют главные зеркала у 10-метровых телескопов «Кек»). Тонкое



Аккреция с поверхности красного гиганта на белый карлик. Рисунок



Принципиальная схема системы активной оптики, применяемой на Европейской южной обсерватории в Чили

и лёгкое зеркало объектива позволяет заметно облегчить конструкцию телескопа. К тому же такое зеркало быстро принимает температуру окружающего воздуха, а это снимает проблему тепловых деформаций.

Сейчас все современные телескопы диаметром 8–10 м имеют систему активной оптики. При этом их собственное оптическое качество становится практически идеальным, а качество получаемого изображения ограничивается лишь нестабильностью атмосферы, для подавления которой создаются системы адаптивной оптики.

АКТИВНОЕ ЯДРО ГАЛАКТИКИ — такое ядро галактики, которое выделяет энергии больше, чем всё звёздное население этой галактики. Активные ядра находятся в центрах активных галактик, включая квазары, сейфертовские галактики, блазары и радиогалактики. Являясь источником энергии огромной мощности, активное ядро галактики может демонстрировать к тому же и сильную переменность. Некоторые квазары меняют свой блеск в течение нескольких недель или месяцев, а некоторые блазары демонстрируют переменность рентгеновского излучения на интервале в три часа. Эти изменения накладывают предел на макси-

мально возможный размер источника энергии, так как объект не может изменять свой блеск быстрее, чем свет от одного края излучающей области дойдёт до другого края. Быстрые колебания блеска активных ядер галактик означают, что их излучение выходит из небольшого объёма, диаметр которого порой меньше одного светового дня. Более того, наблюдения орбитального движения звёзд и другого вещества вокруг активных ядер галактик показывают, что внутри источника активности сконцентрирована огромная масса вещества — до нескольких миллиардов M_{\odot} . Это приводит к заключению, что центральным источником служит сверхмассивная чёрная дыра. Поскольку сама чёрная дыра, по определению, ничего не излучает, излучение исходит от вещества аккреционного диска, нагретого за счёт взаимного трения его слоёв до температуры несколько миллионов градусов. Это излучение частично поглощается чёрной дырой, частично уходит наружу, а в некоторых случаях за счёт его энергии с огромной скоростью вдоль оси вращения диска выбрасываются наружу две плазменные струи (джета).

Большинство активных ядер можно объяснить в рамках «стандартной модели», в которой источником энергии служит аккреционный диск вокруг чёрной дыры, по-разному ориентированный относительно наблюдателя. Например, если плотное газово-пылевое облако лежит между нами и центром активной галактики, то оно может поглотить излучение видимого и мягкого рентгеновского диапазонов, и мы кроме эмиссионных линий от окружающих облаков увидим только радио-, инфракрасное и высокоэнергетическое излучение, способные преодолеть плотную газово-пылевую среду.

В некоторых случаях пыль в ядрах формирует вокруг центра плотное кольцо. Тогда вид активного ядра галактики зависит от того, видим мы его с ребра (в этом случае центр от нас скрыт) или плашмя (тогда центр виден). Если мы смотрим сквозь пылевое кольцо, то центральный источник нам не виден и активное ядро галактики выглядит как радиогалактика. Если пылевое кольцо наклонено к лучу зрения, то мы увидим центральный источник в виде квазара. Ес-

ли же мы смотрим вдоль джета или близко к этому направлению, то видим блазар.

Активные ядра галактик могут быть как «радиогромкими», так и «радиотихими», или «радиоспокойными». В каждой из этих групп диапазон светимостей очень широк: от таких слабых ядер, что они с трудом выделяются на фоне центральных звёзд галактики, до квазаров, которые в 100 раз ярче, чем суммарная светимость всех звёзд галактики. Радиогромкие активные ядра галактик всегда обладают джетами, в которых вещество мчится почти со скоростью света. Мощность джетов (т. е. кинетическая энергия вещества, уносимая джетом из ядра за одну секунду) примерно равна или даже превышает светимость активного ядра галактики. Радиогромкие активные ядра обычно обнаруживаются в эллиптических галактиках, а в спиральных их вообще нет. Радиотихие активные ядра также могут иметь джеты, но их мощность в тысячи раз слабее мощности излучения активного ядра галактики. Такие ядра обычно наблюдаются в спиральных галактиках, но несколько ярких радиотихих активных ядер найдено и в эллиптических галактиках. Чёткое морфологическое различие (по строению и внешнему виду) между эллиптическими и спиральными галактиками возникает на масштабах, во много раз превышающих размер активного ядра, поэтому непонятно, как глобальные свойства галактики определяют свойства её ядра.

По мере изучения активных ядер галактик становится ясно, что подобная активность может проявляться в форме не только чрезвычайно мощных явлений, но и весьма «скромных», которые тем не менее не удаётся объяснить одним лишь энерговыделением обычных звёзд. Например, в спектрах ядер многих галактик наблюдаются эмиссионные линии, которые невозможно истолковать как излучение молодых звёзд. Такие ядра называют «лайнерами» (LINER – low-ionization nuclear emission-line regions). Точного определения этого типа пока нет, но по свойствам рентгеновского и ультрафиолетового излучения их можно отнести к ядрам сейфертовских галактик крайне низкой мощности. Таким образом, феноме-

ны активности ядер галактик по мощности энерговыделения простираются более чем на шесть порядков величины и в той или иной форме проявляются в ядрах большинства крупных галактик, включая нашу.

АКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В АТМОСФЕРАХ ЗВЁЗД – фотосферные пятна, вспышки, протуберанцы, флоккулы, факелы, корональные выбросы массы и т. п.

АЛГОЛЬ – собственное имя затменной переменной звезды β Персея. Это имя происходит от арабского «ал-голь»; «гуль» – чудовище из арабского и персидского фольклора. В изображении созвездия Персей звезда Алголь представлялась как глаз отрубленной головы горгоны Медузы. Переменность звезды была замечена ещё в древности. В новое время переменность Алголя открыл итальянский учёный Джеминиано Монтанари (1669), а позже это же открытие независимо совершил англичанин Джон Гудрайк (1782). Гудрайк первым догадался, что Алголь – затменная переменная звезда. Ныне Алголь считают прототипом этого класса переменных звёзд.

Алголь – система как минимум из трёх звёзд (наличие ещё двух компонентов подзревается), удалённая от Солнца на 29 пк. Из трёх надёжно обнаруженных звёзд две – Алголь А и Алголь В – образуют тесную двойную систему; расстояние между ними 0,062 а. е., период обращения 2,86731 суток. В результате орбитального движения компоненты поочередно частично затмевают друг друга, что для стороннего наблюдателя вызывает эффект переменности блеска. Для земного наблюдателя видимый блеск меняется от 2,1 до 3,4 визуальной звёздной величины; затмение длится около 10 час. Третья звезда – Алголь С – обращается на расстоянии 2,69 а. е. от центра масс первых двух звёзд с периодом 681 день (1,86 года). Общая масса системы – около $6,1 M_{\odot}$. Массы компонентов А:В:С составляют 3,6:0,79:1,7 M_{\odot} , их радиусы – 2,3:3,0:0,9 радиуса Солнца. Возраст системы – не более 300 млн лет. Менее массивный Алголь В имеет больший размер и является сильно проэволюционировавшим субгигантом, тогда как Алголь А – звезда главной последовательности. А ведь более массивные