ным преимуществом, что СНЧ используются для радиосвязи с погружёнными объектами (подводные лодки, подземные установки) и для эл.-магн. зондирования недр Земли.

Лит. см. при ст. *Распространение радиоволн.*

П. В. Блиох, А. П. Николаенко.

СВЕРХНО́ВЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, *блеск* к-рых при вспышке увеличивается на десятки звёздных величин в течение неск. суток. Вспышка происходит в результате взрыва звезды на конечной стадии её эволюции.

Название «С. з.» предложено Ф. Цвикки (F. Zwicky) и В. Бааде (W. Baade) в 1934 для обозначения вспыхивающих звёзд, превосходящих по своим характеристикам обычные *новые звёзды*. К С. з. относят звёзды с энергией взрыва 10^{50}—10^{51} эрг и мощностью излучения св. 10^{41} эрг/с. В максимуме блеска С. з. сравнима по *светимости* со всей звёздной системой (галактикой), в к-рой она вспыхнула, и даже может превосходить её. Напр., светимость С. з., наблюдавшейся в 1972 в галактике NGC 5253, прибл. в 13 раз превышала светимость материнской галактики. С. з. принято обозначать буквами SN (supernova) с указанием года вспышки и очерёдности открытия в нём буквой латинского алфавита (в порядке алфавита). Напр., SN1987*A* — первая С. з., открытая в 1987.

Наблюдение вспышки С. з.— весьма редкое событие. Так, за последнее тысячелетие в Галактике наблюдались историч. вспышки в 1006, 1054, 1181, 1572 и 1604. Поэтому практически все сведения о С. з. получены в результате исследований вспышек в др. галактиках. Зафиксировано прибл. 600 вспышек внегалактических С. з. и примерно в 100 случаях получены кривые блеска (зависимости блеска от времени) и спектры.

Классификация С. з. Внегалактические С. з. не являются однородной группой объектов и по наблюдаемым кривым блеска и оптич. спектрам делятся на два осн. типа.

Гл. особенности С. з. I типа — отсутствие линий водорода в спектрах и заметное сходство кривых блеска отд. объектов (рис. 1). С. з. I типа принято разделять на два подтипа в зависимости от характера спектра. Вблизи максимума блеска в спектре С. з. I*a* типа наблюдается линия поглощения ионизов. кремния, тогда как у С. з. I*b* типа она отсутствует. На поздних стадиях (примерно после 250 сут после максимума) спектр С. з. I*a* типа образован в осн. запрещёнными линиями ионов железа, а в спектре С. з. I*b* типа доминирует запрещённая линия кислорода.

Рис. 1. Типичные кривые блеска сверхновых звёзд I*a* и I*b* типов. По оси абсцисс отложено время, по оси ординат — разность $\Delta B = B - B_{макс}$ звёздных величин в полосе B. Обе величины отсчитываются от максимума блеска.

С. з. II типа имеют в спектрах линии водорода, а их кривые блеска характеризуются значит. разнообразием формы. Из всех кривых блеска С. з. II типа, вспыхнувших в далёких галактиках, выделяют две наиб. характерные формы: с платообразным участком, типичным для С. з. II*P* типа, и почти линейным послемаксимальным падением кривой блеска, свойственным С. з. II*L* типа (рис. 2). С. з. II типа (SN1987*A*), обнаруженная в Большом Магеллановом Облаке (БМО), имеет кривую блеска (рис. 3), отличную от указанных выше форм, и является представителем нового подтипа.

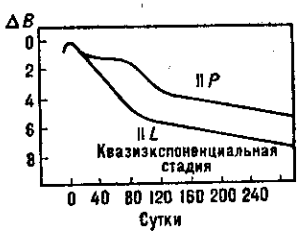

Рис. 2. Типичные кривые блеска сверхновых звёзд II*P* и II*L* типов. По осям координат отложены те же величины, что и на рис. 1.

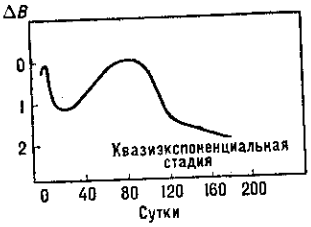

Рис. 3. Кривая блеска сверхновой звезды SN1987*A* в Большом Магеллановом Облаке. По оси абсцисс отложено время, отсчитанное от момента регистрации нейтринной вспышки от этой звезды. По оси ординат отложена та же величина, что и на рис. 1.

Данные наблюдений. Кривые блеска С. з. I*a* и I*b* типов имеют одинаковую форму, но отличаются в количеств. отношении. В максимуме блеска С. з. I*a* типа достигают в среднем абс. звёздной величины в полосе B (см. *Астрофотометрия*) $\approx -19{,}7^m$. На квазиэкспоненц. стадии блеск звезды уменьшается со ср. скоростью прибл. $0{,}015^m$ в сутки. За всё время вспышки С. з. I*a* типа излучает ок. $5 \cdot 10^{49}$ эрг. С. з. I*b* типа в максимуме блеска имеют несколько меньшую светимость. Кроме того, амплитуда падения блеска после максимума до начала квазиэкспоненц. стадии примерно на $0{,}5^m$ меньше и уменьшение светимости на квазиэкспоненц. стадии происходит несколько медленнее (рис. 1). С. з. I*a* типа наблюдаются в галактиках всех типов, причём в эллиптич. *галактиках* они вспыхивают преим. на периферии, а в спиральных галактиках не коррелируют со спиральными рукавами. На основе этих данных делают вывод, что звёзды, вспыхивающие как С. з. I*a* типа, являются старыми маломассивными (с массой 1—$2\,M_\odot$, $M_\odot$ — масса Солнца) звёздами; по-видимому, они входят в состав двойных звёздных систем. С. з. I*b* типа обнаружены только в спиральных галактиках, где они вспыхивают в спиральных рукавах и коррелируют с *зонами HII*. Отсюда следует, что звёзды, вспыхивающие как С. з. I*b* типа, являются молодыми массивными звёздами.

У С. з. II типа в максимуме блеска ср. значение абс. звёздной величины в полосе $B \approx -18{,}3^m$. На поздней стадии у всех С. з. II типа блеск уменьшается по квазиэкспоненц. закону с темпом ок. $0{,}008^m$ в сутки. За период вспышки С. з. II типа излучает ок. 10^{49} эрг. С. з. II типа наблюдаются только в галактиках с чётко выраженной спиральной структурой, и, более того, они вспыхивают преим. в спиральных рукавах. Следовательно, вспышками С. з. II типа завершают свою эволюцию быстроэволюционирующие массивные звёзды. С. з. II*P* типа возникают в результате взрыва звёзд с массой ок. $5M_\odot$ и радиусом накануне вспышки примерно $5 \cdot 10^2 R_\odot$ ($R_\odot$ — радиус Солнца). Масса выброшенного вещества С. з. II*L* типа, по-видимому, значительно меньше, чем у С. з. II*P* типа.

Наряду со вспышками внегалактич. С. з. интенсивно изучаются в нашей и близких к нам галактиках *остатки вспышек сверхновых*, к-рые образуются при взаимодействии выброшенного во время вспышки вещества, имеющего скорости вплоть до 20 тыс. км/с, с окружающей средой. По свойствам остатков С. з. определяют важную характеристику С. з.— кинетич. энергию выброшенного вещества. Она составляет 10^{50}—10^{51} эрг. В ряде случаев удалось обнаружить звёздные остатки вспышек — нейтронные звёзды. Наиб. ярким примером является *Крабовидная туманность*, содержащая нейтронную звезду типа *пульсар*. Нейтронные звёзды, по-видимому, возникают при вспышках С. з. II типа, поскольку в галактич. остатках вспышек С. з. I типа звёздные остатки не обнаружены.