

светимости SMC X-1 и LMC X-4 $\sim 10^{39}$ эрг/с, т. е. намного превышают критическую. Эти объекты имеют, по-видимому, и значит, нейтринную светимость. Излучаемые нейтрино прогревают недра нейтронной звезды и, поглощаясь в недрах нормального компонента двойной системы, дают малый вклад в его оптич. светимость. Поток аккрецирующего вещества в таких объектах может достигать $(10^{-6} - 10^{-5}) M_{\odot}$ в год. В этом случае возможна ситуация, когда за $10^6 - 10^5$ лет «работы» Р. п. на нейтронную звезду выпадает ок. $1 M_{\odot}$ вещества, будет превышен предел устойчивости для нейтронных звёзд, произойдёт *гравитационный коллапс*, сопровождаемый взрывом *сверхновой звезды* редко встречающегося типа и образованием *чёрной дыры*. Это может произойти лишь при дисковой аккреции, когда давление излучения не препятствует аккреции на больших расстояниях от тяготеющего центра.

Формирование профилей импульсов и спектры излучения рентгеновских пульсаров. Выделение энергии в огранич. зоне вблизи полюсов нейтронной звезды в совокупности с её вращением приводит к феномену пульсара: наблюдатель видит излучающую зону под разными углами и принимает переменный во времени поток рентг. излучения. Период P равен периоду вращения нейтронной звезды. Наличие сильного магн. поля может приводить к направленности излучения. В зависимости от соотношения между энергией фотонов $h\nu$, напряжённостью магн. поля H и темп-рой плазмы T_e могут формироваться как «карандашная», так и «ножевая» диаграммы направленности. Важнейший параметр — гирочастота (циклотронная частота) электрона $\nu_H = eH/2\pi m_e c$. Степень направленности является ф-цией отношений ν/ν_H и kT/ν_H . Диаграмма направленности определяет форму профиля импульсов Р. п. Профили импульсов ряда Р. п. приведены на рис. 4. Вид профилей у многих Р. п. изменяется с увеличением энергии фотонов (рис. 5).

Спектр излучения нейтронной звезды должен быть многокомпонентным. Излучают ударная волна, аккреционная колонка, поверхность нейтронной звезды вблизи основания колонки, плазма, текущая по магнитосфере к полюсам нейтронной звезды. Эта плазма поглощает жёсткое излучение колонки и переизлучает его в «мягком» рентг. диапазоне как в континууме (непрерывном спектре), так и в рентг. линиях (характеристических и резонансных) ионов тяжёлых элементов. Спектры (рис. 6) решающим образом зависят от светимости Р. п. и напряжённости магн. поля, поэтому они сильно отличаются друг от друга.

Если потоки плазмы на магнитосфере Р. п. высокой светимости не покрывают всю её поверхность, то образуются «окна», в к-рые свободно выходит «жёсткое» излучение, в то время как др. направления для него закрыты из-за большой оптич. толщи потоков плазмы. Вращение нейтронной звезды должно приводить к пульсациям излучения. Это ещё один механизм формирования профиля рентг. импульсов.

Важнейшим этапом в изучении Р. п. явилось открытие гиролинии [спектральной линии, обусловленной циклотронным излучением (либо поглощением) электронов] в спектре Р. п. Геркулес X-1. Открытие гиролинии дало метод прямого эксперим. определения магн. полей нейтронных звёзд. Гиролиния в спектре Р. п. Геркулес X-1 соответствует $h\nu_H = 56$ кэВ. Согласно соотношению $h\nu_H = 1,1 (H/10^{11} \text{ Гс})$ кэВ, напряжённость магн. поля на поверхности этой нейтронной звезды $\approx 5 \cdot 10^{12}$ Гс.

Ускорение и замедление вращения нейтронных звёзд. В отличие от радиопулсаров (нек-рые из них, в частности *пульсары* в Крабе и Парусах, излучают в рентг. диапазоне), излучающих за счёт энергии вращения замагниченной нейтронной звезды и увеличивающих свой период со временем, Р. п., излучающие за счёт аккреции, ускоряют своё вращение. Действительно при дисковой аккреции вещество, выпадающее на магнито-

сферу, имеет заметный уд. момент кол-ва движения. Вмораживаясь в магн. поле, аккрецирующая плазма движется к поверхности звезды и передаёт ей свой момент кол-ва движения. В результате вращение звезды ускоряется и период следования импульсов уменьшается. Этот эффект характерен для всех Р. п. (рис. 7). Однако иногда наблюдается и замедление вращения. Это возможно в случае, если изменяется темп аккреции либо направление момента кол-ва движения аккрецирующего вещества. Среди механизмов, приводящих к увеличению периода, обсуждается т. н. пропеллерный механизм. Предполагается, что асимметричная атмосфера нейтронной звезды вращается в атмосфере, созданной аккрецирующим со звуковой скоростью газом, при этом генерируются звуковые или ударные волны, возбуждаются конвективные течения, отводящие момент количества движения от магнитосферы к звёздному ветру, обтекающему нейтронную звезду.

Р. А. Сюняев.

РЕНТГЕНОВСКИЕ СПЕКТРЫ — спектры испускания (эмиссионные Р. с.) и поглощения (абсорбционные Р. с.) *рентгеновского излучения*. В зависимости от механизма возбуждения рентг. излучения, от излучающей системы Р. с. могут быть непрерывными или линейчатыми. Линеичатый Р. с. испускают атомы и ионы после ионизации их внутр. оболочек при последующем заполнении образовавшихся вакансий; такой Р. с. наз. *характеристическим*, т. к. однозначно характеризует излучаемый атом. Непрерывным является *тормозной Р. с.* (см. *Тормозное излучение*), спектр *синхротронного излучения* или *ондуляторного излучения* в рентг. диапазоне. Чаще всего исследуют Р. с. твёрдых тел, возбуждаемые *рентгеновской трубкой*. Большой интерес представляет изучение Р. с. *многозарядных ионов и плазмы*. Для получения и исследования Р. с. применяют спектрометры 2 типов: спектрометры с диспергирующим элементом — кристаллом-анализатором или дифракц. решёткой (т. н. волновая дисперсия) и спектрометры на основе пропорц. детектора и амплитудного анализатора импульсов (т. н. энергетич. дисперсия; см. *Рентгеновская спектральная аппаратура*).

Спектр излучения рентг. трубки — первичного рентг. излучения — является наложением характеристического Р. с. на тормозной. Исследуемое вещество в этом случае служит анодом трубки. Характеристич. излучение атома анода возбуждается при ионизации их внутр. оболочек электронным пучком, тормозное излучение — при торможении электронов в веществе анода. Характеристич. Р. с. получают также при возбуждении флуоресценции в рентг. диапазоне вещества первичным рентг. излучением.

Характеристические рентгеновские спектры состоят из спектральных серий (K, L, M, N, O), все линии каждой из к-рых объединены общим начальным уровнем ионизации; уровни энергии, с к-рых происходит квантовый переход при заполнении образовавшейся вакансии для линий одной серии различны. Вероятность излучат. переходов разл. мультипольности, а следовательно, и интенсивность соответствующих спектральных линий определяются различными *отбора правилами*. Переходы для наиб. ярких линий K - и L -серий, а также обозначения этих линий приведены на рис. 1. Линии одной серии элементов образуют одинаковые группы дублетов, что позволило дать им одинаковые для всех ат. номеров Z обозначения греческими или латинскими буквами. Зависимость спектрального положения одноимённых линий от Z определяется *Мозли законом*.

С возрастанием напряжения V на рентг. трубке в Р. с. появляются одновременно все линии q -серии, когда V превысит потенциал V_q возбуждения нижнего общего для них уровня энергии (q -серия — одна из K -, L -, M -, ...серий). С дальнейшим повышением V электроны проникают глубже в анод, всё большее число