

30—45 км, мягкое — лишь с ракет и ИСЗ с высот св. 100—150 км.

Рентг. излучение Солнца исследуется с 1947 с помощью ракет, хотя его наличие предполагалось и ранее (на основе изучения ионосферы Земли во время солнечных затмений). Рентг. источники несолнечной природы были случайно обнаружены в 1962 группой амер. исследователей под руководством Б. Росси (В. Rossi) и Р. Джакони (R. Giacconi) при поисках флуоресцентного рентг. излучения Луны, вызванного бомбардировкой её поверхности космич. лучами. Наблюдавшиеся рентг. светимости источников (10^{37} — 10^{38} эрг/с) существенно (на 3—5 порядков) превышали интегральные светимости нормальных звёзд.

Механизмы генерации космич. рентг. излучения. К осн. механизмам эфф. генерации космич. рентг. излучения относятся следующие:

— тормозной механизм, связанный с пролётом свободных электронов вблизи атомных ядер (см. *Тормозное излучение*). Этот механизм эффективен для УФ- и рентг. излучения вплоть до энергии фотонов ~ 100 кэВ. Он же является ответственным и за потери энергии электронами в горячей плазме. Для большой оптич. толщины ($\tau > 1$) в равновесной плазме спектр излучения — планковский, его максимум достигает рентг. диапазона при $T \geq 10^6$ К. Для $\tau < 1$ интенсивность не зависит от длины волны (плоский спектр);

— синхротронный механизм, связанный с движением электронов высоких энергий в магн. поле (см. *Синхротронное излучение*). Для космич. объектов с магн. полем $\sim 10^{-4}$ эрг рентг. излучение начинает испускаться электронами с энергией $\geq 10^{13}$ эВ. Как правило, при этом генерируется степенной спектр излучения;

— комптоновский механизм, связанный с рассеянием фотонов низких энергий (видимого, ИК- и радиодиапазонов) на релятивистских электронах (см. *Комптона эффект*);

— механизм, обусловленный связанно-связанными переходами внутренних электронов тяжёлых ионов (линейчатое излучение);

— циклотронный механизм, связанный с движением свободных электронов в сильном магн. поле (см. *Циклотронное излучение*).

Методы регистрации космич. рентг. излучения. Для регистрации космич. рентг. излучения используются детекторы неск. типов, принцип действия к-рых основан на разл. механизмах поглощения рентг. фотонов веществом.

В области $\mathcal{E}_\gamma = 0,1$ —40 кэВ в Р. а. наиб. эффективно применяются газонаполненные пропорциональные счётчики, площадь к-рых может достигать 1 м². Окнами в таких детекторах являются бериллиевая или алюминиевая фольга толщиной 10—100 мкм либо органич. тонкие (0,5—20 мкм) плёнки (лавсан, полипропилен и др.). В счётчиках с окнами из тонких плёнок приходится непрерывно возобновлять вытекающий газ (газопроточные счётчики). В качестве наполнителя в детекторах этого типа служат тяжёлые инертные газы (Ar, Xe) с небольшими добавками (3—5%) электроотрицат. газов (CO₂, CH₄ и др.), обеспечивающих самогашение разряда после фотоионизации энергичным фотоном. При коэф. усиления $\sim 10^3$ — 10^4 такие счётчики обеспечивают пропорциональность амплитуды электрич. импульса (снимаемого с анода счётчика) энергии регистрируемого фотона. При 30—40 фотоэлектронах на регистрируемый фотон (с $\mathcal{E}_\gamma \approx 5$ кэВ) энергетич. разрешение $\Delta \mathcal{E}_\gamma / \mathcal{E}_\gamma \sim \mathcal{E}_\gamma^{-1/2}$ такого детектора не превышает 15—20%.

В области $\mathcal{E}_\gamma = 30$ —100 кэВ обычно используются сцинтилляц. детекторы с кристаллами NaI или CsI, активированные добавками Tl, либо сцинтиллирующие пластики площадью до 300 см² и более. Энергетич. разрешение этих детекторов также невелико ($\approx 20\%$ при $\mathcal{E}_\gamma \approx 50$ кэВ). Импульсы видимого излучения, возни-

жающие в кристаллах, регистрируются фотоэлектронными умножителями.

В области $\mathcal{E}_\gamma \leq 1$ кэВ применяются каналные фотоумножители, микроканальные пластинки или полупроводниковые детекторы. Детекторы этого типа имеют небольшие размеры (1—3 см) и для эфф. регистрации малых потоков рентг. излучения нуждаются в собирающих (концентрирующих) зеркалах. Зеркала косо падения (с углами падения, превышающими 88°), изготовленные из металлов с большими атомными номерами (Au, Pt), обладают достаточно высоким коэф. отражения (от 0,1 до 0,8). Комбинация двух зеркал (напр., параболоид и гиперболоид вращения) обеспечивает разрешение до 1—2" при входной апертуре телескопа 10—70 см (рис. 1). В рентг. телескопах такого типа ис-

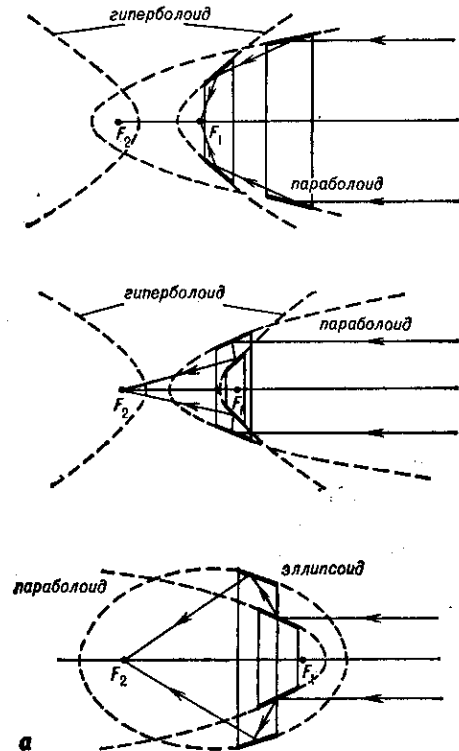


Рис. 1. Схема отражательного двухзеркального рентгеновского телескопа косо падения. Для увеличения рабочей площади несколько таких телескопов могут быть вложены один в другой.

пользуются координатные детекторы, позволяющие получать изображения рентг. источников с разрешением, близким к разрешению оптич. телескопов.

Разрешение не лучше 1° дают механич. сотовые коллиматоры с размерами ячеек до 1 мм. Существенно лучшее разрешение (до 20") достигается с помощью модуляц. коллиматоров, состоящих из двух и более рядов параллельных нитей диаметром d , расположенных на расстоянии $L \gg d$. Диаграмма направленности таких коллиматоров состоит из мн. треугольников с уменьшающимися по мере удаления от центр. максимума пропусканием (рис. 2).

В мягком рентг. диапазоне спектральное разрешение ($R = \lambda/\Delta\lambda$) $\sim 10^2$ — 10^3 достигается с помощью брэгговских кристаллич. отражат. спектрометров.

Первым ИСЗ, специально предназначенным для исследований космич. рентг. излучения, был спутник «Ухуру» (США, 1970). Наб. успешные эксперименты проведены на спутниках «САС-3», «ХЕАО-1», «ХЕАО-2» (США), «АНС» (Нидерланды), «УК-5» (Великобритания), «Хакутэ», «Тенма» и «Гинга» (Япония), «Астрон» (СССР), «Экзосат» и «Росат» (Европейское