

ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ И ПОТОКОВ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ДВИЖУЩИХСЯ КРИСТАЛЛОВ

В.А. Цукерман

Взаимное перемещение двух одинаковых и равно ориентированных в пространстве монокристаллов в направлении, перпендикулярном к атомным плоскостям, в отношении которых наблюдается аномальное прохождение монохроматических рентгеновских квантов по Борману, позволяет осуществить частотную модуляцию излучения. Рассматривается возможность использования такого метода для ВЧ и СВЧ модуляции потока рентгеновских квантов и моноэнергетических частиц.

В последнее десятилетие наблюдается стремление использовать некоторые приемы рентгеновской интерферометрии в метрологии для измерения очень малых линейных и угловых смещений [1 – 3]. В "ангстремной линейке", предложенной Гартном [2], оказалось возможным фиксировать смещения наложенных друг на друга монокристаллов кремния с точностью до 10^{-9} см. На порядок большую точность получили Дислейтс и Генинс [3], сочетая рентгеновскую дифракцию с оптическим интерферометром Фабри – Перо.

Покажем, что аналогичные методы могут быть использованы для высокочастотной модуляции характеристических рентгеновских лучей и потоков моноэнергетических частиц.

Пусть два одинаковых и равным образом ориентированных в пространстве монокристалла K_1 и K_2 расположены друг за другом вдоль общей оси $X - X$ (рисунок). Примем, что атомные плоскости, в отношении кото-

рых наблюдается аномальное бормановское прохождение монохроматических рентгеновских лучей, расположены параллельно плоскости $X-Z$ (условно показаны вертикальной штриховкой на поверхностях кристаллов). Поток монохроматических рентгеновских квантов падает на тыльную сторону кристалла K_2 в направлении R , образуя с плоскостью $X-Z$ брэгговский угол θ . Примем также, что расстояние a вдоль оси $X-X$ между кристаллами, равно как расстояние между кристаллом K_1 и детектором излучения D , достаточно малы.

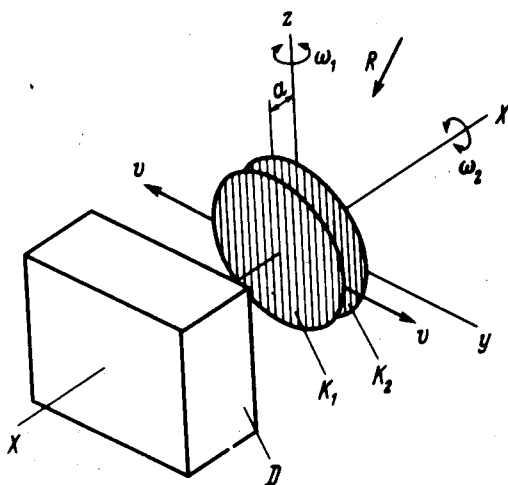


Схема метода частотной модуляции моноэнергетических излучений при помощи движущихся кристаллов

В предположении, что оба монокристалла тождественны по структуре, не имеют дислокаций и других дефектов решеток, а их пространственная ориентация одинакова, рассмотрим два случая:

1. Кристаллы расположены друг за другом так, что атомные плоскости одного из них являются продолжением атомных плоскостей второго. Тогда они представляют собой как бы единый монокристалл и ослабление излучения, падающего на детектор, будет минимальным.

2. Передвинем кристалл K_1 вдоль оси Y на половину расстояния между атомными плоскостями $d/2$ (в направлении стрелок V). В этом случае атомные плоскости кристалла K_1 перекроют промежутки между плоскостями кристалла K_2 , а интенсивность излучения, падающего на детектор, станет минимальной.

При непрерывном движении кристалла K_1 со скоростью V частота f колебаний интенсивности излучения будет определяться простым соотношением $f = V/d$. Нетрудно видеть, что из-за малости значения d ($\sim 10^{-8}$ см) даже при малых скоростях V , например, 1 м/сек, частота модулированных таким путем сигналов составит 10^{10} гц. Столь высокая частота колебаний находится на пределе разрешения современных средств регистрации (100 псек). Однако уменьшением V до 1 см/сек

или 1 мм/сек мы легко можем перейти в мегагерцевый частотный диапазон, вполне доступный метрике.

Главная трудность при практическом осуществлении предлагаемого метода заключается в необходимости строгого совпадения атомных плоскостей в кристаллах K_1 и K_2 . Простые оценки показывают, что при высоте кристалла 1 см ошибки в их взаимном положении на 10^{-3} угловой секунды исключают возможность частотной модуляции. Для устранения этого ограничения следует, наряду с движением кристалла K_1 в направлении оси Y , медленно колебать кристалл K_2 в двух взаимноперпендикулярных направлениях — вокруг осей Z и X (стрелки ω_1 и ω_2). В этом случае всегда будет существовать момент времени, удовлетворяющий совпадению направлений атомных плоскостей. Если для получения требуемой скорости V использовать колебания маятника, — вращение вокруг оси X может быть исключено. Для маятника длиной около 2 м автоматически возникнет ситуация, когда до 1000 атомных плоскостей кристалла K_1 окажутся параллельными аналогичным атомным плоскостям кристалла K_2 . Преимуществом рассмотренного метода частотной модуляции излучения является возможность использования техники "биений" для точного измерения частоты. Для этой цели электрические колебания, возникающие на выходе детектора D , сравнивают с колебаниями стандартной частоты, например, кварцевого генератора. Таким путем возможна прецизионная регистрация частоты колебаний и измерение угловых смещений кристалла K_2 по отношению к K_1 с ошибками в тысячные доли угловой секунды.

Рассмотренные выше принципы могут быть использованы не только для монохроматических рентгеновских квантов, но также и в экспериментах с моноэнергетическими пучками электронов, протонов и других частиц, для которых возможны брэгговские отражения от атомных плоскостей монокристаллов. Если окажется возможным производство крупных и достаточно совершенных кристаллов из легких элементов, заметно ослабляющих тепловые нейтроны, нельзя исключить использование такой техники и для частотной модуляции моноэнергетических пучков медленных нейтронов.

Поступила в редакцию
19 июня 1976 г.

Литература

- [1] U. Bonse, M. Hart. Appl. Phys. Lett., **6**, 155, 1965.
- [2] M. Hart. Brit. J. Appl. Phys. (J. Phys. D.), **1**, 1405, 1968.
- [3] R. D. Deslattes, A. Henins. Phys. Rev. Lett., **31**, 972, 1973