

Групповое время задержки Бома-Вигнера в многослойной рентгеновской и нейтронной оптике и его связь с принципом причинности и с эффектом Гуса-Хенхен

Бушуев В.А.¹, Франк А.И.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, ГСП Москва, 119991, Россия

²Лаборатория Нейтронной физики имени И.М. Франка ОИЯИ,
ул. Жолио Кюри, д. 6, Дубна, 141980 Россия
e-mail: vabushuev@yandex.ru

Проблема времени взаимодействия в квантовой механике является предметом интенсивной дискуссии на протяжении многих десятилетий. В пятидесятых годах в классических работах Бома [1] и Вигнера [2] на основе квантово механического рассмотрения рассеяния падающих частиц было введено понятие группового времени задержки (ГВЗ, group delay time) как меры времени взаимодействия в квантовой механике:

$$\tau = \hbar(d\varphi/dE) = d\varphi/d\omega, \quad (1)$$

где φ - фаза волновой функции частицы после акта рассеяния (взаимодействия с потенциалом), $E = \hbar\omega$ - энергия, ω - частота.

В настоящем докладе обсуждаются следующие вопросы: 1. Применимо ли соотношение (1) при рассмотрении взаимодействия произвольного излучения (рентгеновские лучи, электроны, нейтроны) с макроскопическими объектами (кристаллы, многослойные структуры); 2. Может ли производная от фазы быть отрицательной и как в этом случае интерпретировать отрицательное ГВЗ (1), т.е. как это соотносится с принципом причинности; 3. Имеется ли связь ГВЗ с известным в оптике эффектом Гуса-Хенхен [3], т.е. с продольным смещением пучка при его отражении от границы раздела.

Характерное время задержки при полном отражении нейтронов $\tau \sim 10$ -20 нс, а для рентгеновских лучей $\tau \sim 10^{-18}$ с. Для существенного увеличения ГВЗ (на 1-2 порядка) в [4] предложено использовать отражение нейтронов от многослойных структур. Легко получить, что величина продольного смещения $l = -d\varphi/dk_x$. Отсюда следует простая связь между смещением l и ГВЗ τ : $l = \tau V_x$, где V_x - продольная компонента скорости падающего пучка.

Соотношение (1) является весьма приблизительным, что следует из спектрального подхода к решению задачи об отражении, так как учитывает лишь первую производную от фазы по энергии. Как показано в [5-7], гигантское отрицательное время задержки (1) практически всегда реализуется при отражении от многослойных структур типа резонатора Фабри-Перо. Однако это не противоречит принципу причинности, а приводит лишь к изменению формы и некоторому опережению максимума отраженного импульса или пучка по отношению к максимуму интенсивности падающего излучения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 15-02-02509, 16-02-00887.

Литература

1. Bohm D., *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New York, P. 257-261 (1951).
2. Wigner E.P., *Phys. Rev.* 98 №1, 145-147 (1955).
3. Goos F., Hänchen F., *Ann. Physik.*, 436 №7-8, 333-336 (1947).
4. Frank A.I., *J. Physics: Conf. Ser.*, 528 №1, 012029(9) (2014).
5. Бушуев В.А., Франк А.И., Доклады конференции “Рентгеновская оптика – 2016” (Черноголовка, 2016 г.), 31-33.
6. Франк А.И., Бушуев В.А., Труды XXI Международного симпозиума “Нанофизика и наноэлектроника” (Нижний Новгород, 13-16 марта 2017 г.), Т. 1. С. 438-441 (2017).
7. Бушуев В.А., Франк А.И., УФН (в печати).