

Здесь  $k_z$  — нормальная к границе раздела компонента волнового вектора падающего нейтрона  $k$  ( $k_z = k \sin \theta$ ). Теоретич. интерпретация ф-ции  $R(k_z)$  основывается на решении стационарной квантовой механич. задачи об отражении скалярной плоской нейтронной волны  $\exp(ik_z z)$  от границы одномерного потенциала

$$U(z) = 4\pi(\hbar^2/2m)N(z)b(z)$$

[ $U(\infty) \sim 10^{-7}$  эВ — типичное значение;  $N(z)$ ,  $b(z)$  — локальные (средние по плоскости  $xy$ ) плотности рассеивающих ядер и их нейтронных длин рассеяния]. Т. о., форма потенциала  $U(z)$  определяется пространственными (вдоль  $z$ ) особенностями плотности и состава среды на микроскопич. уровне.

Причины, приводящие к размытию потенциала  $U(z)$  в приграничных областях ( $\sim 100 \text{ \AA}$ ), в основном следующие: на поверхности — шероховатость, отличие поверхностной плотности от объёмной, примеси; на внутр. межслойных границах, кроме перечисленных, — взаимная диффузия.

Теоретич. значение  $R(k_z)$  получают методами численного решения стационарного Шрёдингера уравнения с модельным потенциалом  $U(z)$ . Для модели полубесконечной среды (массивная пластина) в области  $R(k_z) \ll 1$  [ $k_z \gg k_b = (U(\infty)/(\hbar^2/2m))^{1/2}$ ], где применимо борновское приближение, задача имеет аналитическое решение:

$$R(k_z) = R_0(k_z) \left| \int_0^\infty \frac{1}{U(\infty)} \frac{dU(z)}{dz} \exp(ik_z z) dz \right|^2,$$

где  $R_0(k_z)$  — коэф. отражения от потенциала с абсолютно резкой границей:

$$R_0(k_z) = \frac{|k_z - k_z'|^2}{|k_z + k_z'|^2},$$

а  $k_z' = k_z [1 - U(\infty) \cdot 2m / (\hbar^2 k_z^2)]^{1/2}$  — компонента волнового вектора нейтрона в среде;  $m$  — масса нейтрона.

Если распределение градиента потенциала является гауссовым (см. Гаусса распределение):

$$\frac{1}{U(\infty)} \frac{dU(z)}{dz} = (1/2\pi\sigma^2) \exp(-z^2/2\sigma^2) \quad (*)$$

(случай шероховатой границы), то при всех  $k_z \geq k_b$  коэф.  $R(k_z)$  с хорошим приближением описывается ф-лой

$$R(k_z) = R_0(k_z) \exp(-4k_z k_z' \sigma^2).$$

Нижние значения параметра шероховатости  $\sigma$ , извлекаемые из эксперим. значений  $R(k_z)$ , лежат в области неск. ангстрем. При отражении нейтронов от тонких ( $\sim 1000 \div 3000 \text{ \AA}$ ) плёнок, имеющих потенциал, отличный от потенциала подложки, зависимость  $R$  от  $k_z$  приобретает осциллирующий характер (рис. 4)



Рис. 4. Экспериментально полученная зависимость коэф. отражения  $R(\lambda z)$  от поверхности тонкой золотой плёнки, полученной термическим напылением на поверхность стекла. На вставке: форма потенциала  $U(z)$ , обеспечивающего подгонку кривой  $R(\lambda z)$ .

Ферромагн. среды обладают способностью поляризовать тепловые нейтроны, зеркально отражённые от их поверхности. Это объясняется тем, что потенциал  $U_m = -4\pi\mu_n M$  взаимодействия магн. момента нейтрона  $\mu_n$  с вектором локальной намагниченности образца  $M$  имеет, как правило, значения, сравнимые с нейтронно-оптическим ядерным потенциалом  $U$ . Количественной мерой процесса поляризации пучка при зеркальном отражении служит вектор поляризующей способности среды  $Q(k_z)$ , к-рый задаёт величину и направление поляризации, возникающей в отражённом пучке. Между вектором  $Q(k_z)$  и вектором  $M_s(z)$  [проекция вектора  $M(z)$  на плоскость  $xy$ ] имеется взаимно однозначное соответствие, на основе к-рого из  $Q(k_z)$  устанавливается распределение  $M_s(z)$ . Это позволяет применять поляризац. Р. в качестве метода изучения структуры намагниченности тонких ферромагн. плёнок с неколлинеарным по глубине осн. состоянием либо возникающим из коллинеарного под действием внеш. магн. поля. Эта возможность — уникальное свойство нейтронной поляризац. Р., поскольку др. методы исследования (электронная микроскопия и методы на основе Керра эффекта) не позволяют для таких структур получать полной информации.

В поляризац. Р. последовательно измеряют интенсивности отражённых пучков: положительно поляризованного  $I_+(k_z)$  (спин-флиппер выключен) и отрицательно поляризованного  $I_-(k_z)$  (спин-флиппер включён). Знак поляризации пучка задаётся относительно вектора  $H$  ведущего магн. поля установки. Направление  $H$  в месте расположения образца определяет пространственное направление вектора  $P$  поляризации падающего пучка. Величины  $I_+(k_z)$  и  $I_-(k_z)$  связаны со скалярным произведением векторов  $P$  и  $Q(k_z)$  соотношением

$$P \cdot Q(k_z) = \frac{I_+(k_z) - I_-(k_z)}{I_+(k_z) + I_-(k_z)}$$

Т. о., для определения  $Q_{xyz}$  компонент вектора  $Q(k_z)$  конкретного образца достаточно измерить  $I_\pm(k_z)$  для направлений  $P$  вдоль  $x, y, z$  осей соответственно.

Поляризац. Р. используют как прямой метод изучения распределения по глубине диамагн. момента сверхпроводящего образца в приповерхностной области с целью определения лондоновской глубины проникновения магн. поля в сверхпроводник, находящийся в мейснеровской фазе. Формализм описания процесса отражения, служащий для ферромагнетиков, легко переносится на сверхпроводники — идеальные диамагнетики. Для изучения обычных диамагнетиков Р. не применяется.

Лит.: 1) Felcher G. P. и др., Polarized neutron reflectometer. A new instrument to measure magnetic depth profiles, «Rev. Sci. Instrum.», 1987, v. 58, № 4, p. 609; 2) Felcher G. P. и др., Investigation of magnetism at surfaces by polarized neutron reflection (invited), «J. Appl. Phys.», 1985, v. 57, № 8, p. 3789; 3) Penfold J., Thomas R. K., The application of the specular reflection of neutrons to the study of surface and interfaces, «J. Phys. Condens. Matter», 1990, v. 2, p. 1369; 4) Корнеев Д. А., Изучение неоднородно намагниченных магнитных плёнок с помощью поляризованных нейтронов, «Поверхность. Физика, химия, механика», 1989, № 2, с. 13; 5) Корнеев Д. А., Черненко Л. П., Нейтронная дифракционная оптика ограниченных сред со сложной магнитной структурой, препринт ОИЯИ Р 4-89-709; 6) Рапонов С. В. и др., Определение глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводящую тонкую монокристаллическую плёнку  $YBa_2Cu_3O_x$  методом отражения поляризованных нейтронов, «Письма в ЖЭТФ», 1989, т. 49, в. 5, с. 277. Д. А. Корнеев.

**РЕФЛЕКТОР** — телескоп, у к-рого объективом является одно вогнутое зеркало (параболическое, гиперболическое или эллиптическое) или система зеркал, включая и плоское. Существует неск. оптич. схем Р., к-рые можно взаимно заменять и работать с разными зеркалами.

Р. свободны от хроматич. и сферич. aberrаций (см. Аберрации оптических систем), что является одним из преимуществ перед рефракторами: повышается светосила и, как следствие, уменьшается длина трубы. В Р.