

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗКА

21–23 април 2023 г.

Тема 11–12 клас (пета и шеста състезателна група)

Експериментален кръг

Задача 1: Шарки на moiré

Теоретична част

Поредица от успоредни линии, намиращи се на дадено разстояние една от друга ще наричаме *решетка*. Разстоянието между две съседни линии ще наричаме *стъпка* на решетката. Ако наложим две такива решетки една върху друга, може да наблюдаваме интересни светли и тъмни ивици, наречени *шарки на moiré*. В общия случай двете решетки може да са получени от множество параметрични криви, но за простота ще разгледаме само прави линии, които се описват съответно от $S(x, y) = k$ и $R(x, y) = l$, където k и l са цели числа. Нека стъпката на решетка S да е равна на p , а тази на R да е $p(1 + \lambda)$, където $|\lambda| \ll 1$. Ако линиите на двете решетки сключват малък ъгъл θ , а в началото на координатната система приемем, че $k = l = 0$, то може да изразим:

$$S(x, y) \equiv x/p = k, \quad (1.1)$$

$$R(x, y) \equiv [-y \sin(\theta) + x \cos(\theta)]/[p(1 + \lambda)] = l. \quad (1.2)$$

При пресичането на двете семейства прави се получават успоредници, през чиито диагонали може да се прекарат прави $M(x, y) = m$, където $m = k \pm l$. На практика, по направление на правите съвпадащи с късия диагонал на успоредниците се виждат ивици, които формират шарките на moiré (виж фигурата). В случая това ще са светли ивици, за които е изпълнено, че $m = k - l$ или:

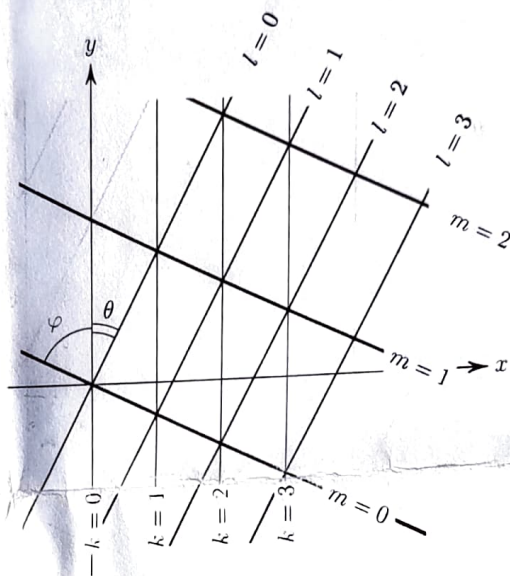
$$M(x, y) \equiv [-y \sin(\theta) + x \cos(\theta) + x(1 + \lambda)]/[p(1 + \lambda)] = m. \quad (1.3)$$

Както се вижда от фигурата, дори и в този случай разстоянието между две съседни ивици f (напр. $m = 0, 1$) е по-голямо от стъпката на всяка от решетките. Този ефект може да се използва, за да се определи стъпката на неизвестна решетка.

Уравнение (1.3) може да се презапише във вида на (1.2), като се използва ъгълът φ , който сключват правите m и k , и да се намерят зависимостите на f и φ от λ и θ :

$$f = p(1 + \lambda) [\lambda^2 \cos^2(\theta/2) + (2 + \lambda)^2 \sin^2(\theta/2)]^{-1/2}, \quad (1.4)$$

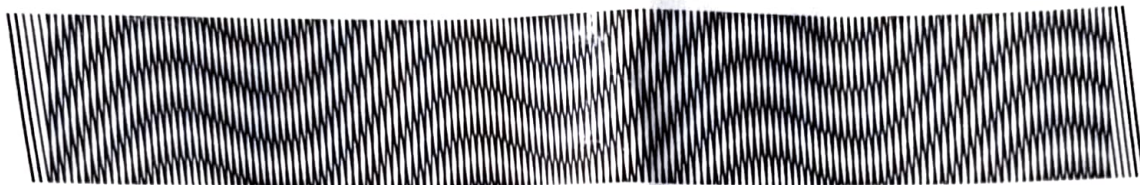
$$\sin(\varphi) = \sin(\theta) [\lambda^2 \cos^2(\theta/2) + (2 + \lambda)^2 \sin^2(\theta/2)]^{-1/2}. \quad (1.5)$$



По-интересен е случаят когато стъпката на решетката R се променя периодично, например по закона: $p(1 + \lambda)l + A \sin(\omega l)$. Тогава (1.2) може да се презапише във вида:

$$y = x \cot(\theta) - [p(1 + \lambda)l + A \sin(\omega l)] / \sin(\theta). \quad (1.6)$$

При наслагването на такава решетка с $S(x, y)$, $x = kp$ шарките на moiré са периодични криви (като показаните на фигурата по-долу) с честота ω и амплитудата пропорционална на A и зависеща от ъгъла θ .



Уреди и материали

Разполагате с общо четири решетки. Две от тях са с еднаква, постоянна стъпка p . В горния десен ъгъл на една решетка има транспортир, които може да използвате при измерванията. Центърът на транспортира е в левия край на първата линия от решетката. Линиите от решетките, както и тези от транспортира имат еднаква дебелина. Имате още една решетка с постоянна стъпка, но с големина $p(1 + \lambda)$, както и една решетка с периодично променяща се стъпка, като описаната в (1.6), но за която $\lambda = 0$. Бял лист, милиметрова хартия, лист за таблици както и парче лепяща лента, линия, прозрачно фолио върху което може да пишете с предоставения маркер.

Забележка: решетките са напечатани върху прозрачно фолио, не прегъвайте фолиото, не пишете върху него, не лепете нищо върху напечатаната му част (линиите на решетката). Може да лепите лентата само върху прозрачната част на фолиото.

Задачи

За всяка от задачите по-долу опишете как сте направили съответното измерване. Не е нужно да оценявате неопределеността на измерените/пресметнатите величини.

1. Използвайте двете еднакви решетки и определете стъпката им p , като намерите подходяща линейна зависимост между стъпката на шарките на moiré f и ъгъла между линиите на двете решетки θ . Начертайте зависимостта, която използвате, на милиметровата хартия, а данните използвани за графиката нанесете в листа за таблици. Използвайте означенията, съответно Фигура 1 и Таблица 1. (9.3 т.) $0,87 \text{ mm} \sim 0,9 \text{ mm}$
2. Определете λ за третата решетка с постоянна стъпка $p(1 + \lambda)$. Измерването може да е и еднократно. (2 т.) $49 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$
3. Определете честотата ω и амплитудата A за решетката с променлива стъпка. За определяне на амплитудата A намерете подходяща линейна зависимост между нея и ъгъла θ . Начертайте зависимостта, която използвате, на милиметровата хартия, а данните използвани за графиката нанесете в листа за таблици. Използвайте означенията, съответно Фигура 2. и Таблица 2. (8.7 т.) 22