

ЕЛЕКТРОННА ТА ІОННА ОПТИКА



Викладач

к.ф.-м.н. Пазуха І.М.

Тема 11

АБЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ЛІНЗ

Аберації електронних лінз

- ❖ Сферична абеерація;
- ❖ Аберація кома;
- ❖ Викривлення зображення;
- ❖ Позаосьовий астигматизм;
- ❖ Дисторсія;
- ❖ Хроматична аберація.

Сферична аберація – єдина аберація, що впливає на зображення точок, що лежать на оптичній осі.

Причина виникнення - порушення умови лінійного збільшення заломлюючої здатності лінзи по мірі віддалення променів від осі

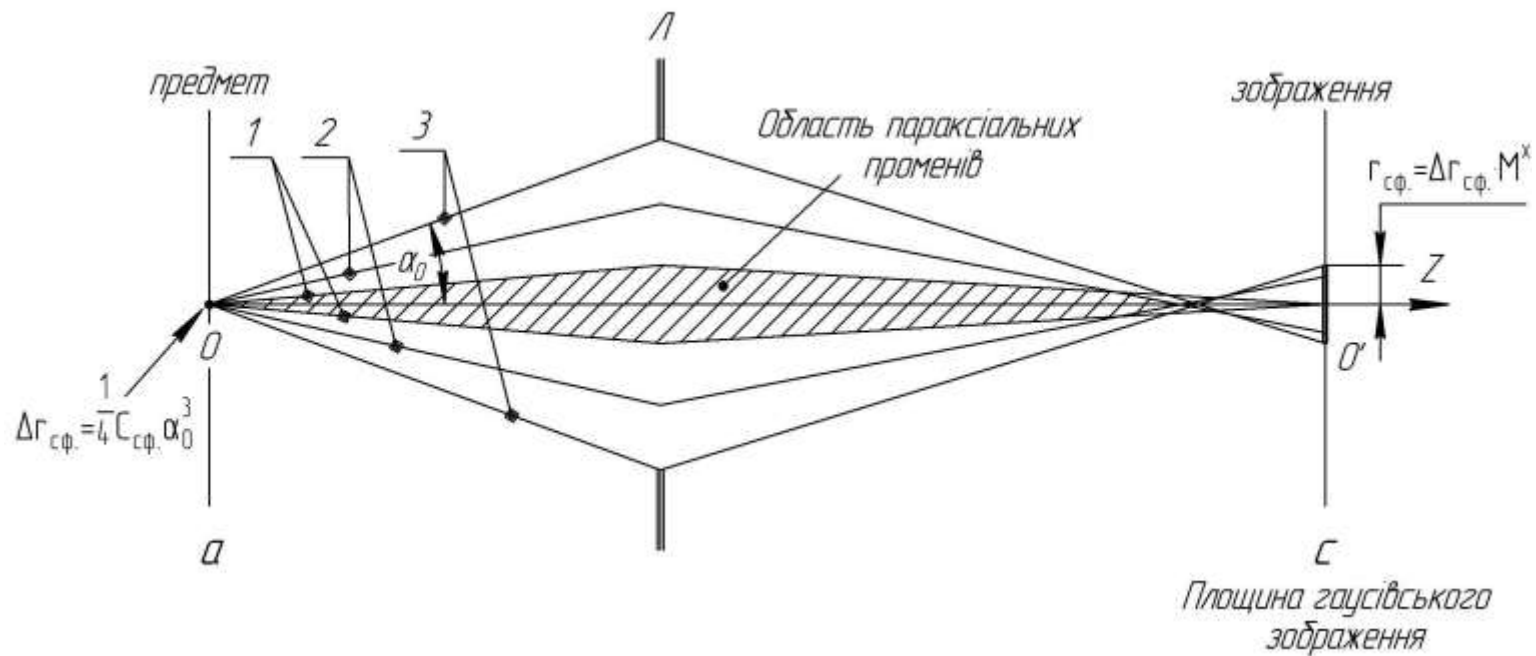


Рисунок 2 – Схема виникнення сферичної аберації

Сферична аберація

Проявляється в тому, що у гаусовій площині замість точки виникає коло розсіювання.

Радіус кола розсіювання, віднесений до площини об'єкта, дорівнює:

$$\Delta r_{cf} = \frac{1}{4} C_{cf} \alpha_0^3 \quad (11.1)$$

- Електростатичні лінзи мають сферичну аберацію майже на порядок більшу.
- Сферична аберація за своїм впливом на якість зображення найбільш шкідлива з геометричних аберацій.

Аберація кома проявляється в тому, що зображення точки виходить у вигляді несиметричної плями розсіювання.

Причина виникнення – при зображенні точки, яка не лежить на осі, косі пучки, що приймають участь у формуванні зображення, проходять через різні ділянки лінзи, отримуючи різне заломлення.

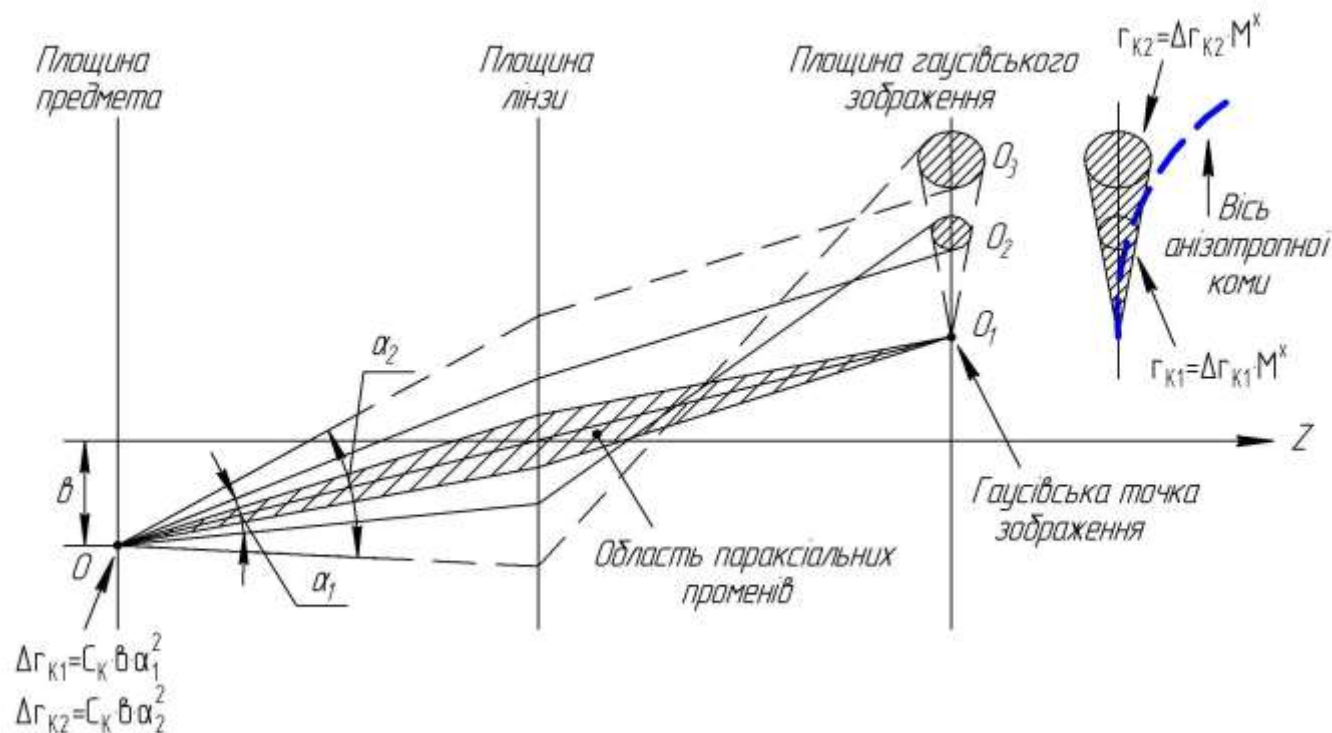


Рисунок 3 – Схема виникнення аберації кома

Викривлення зображення

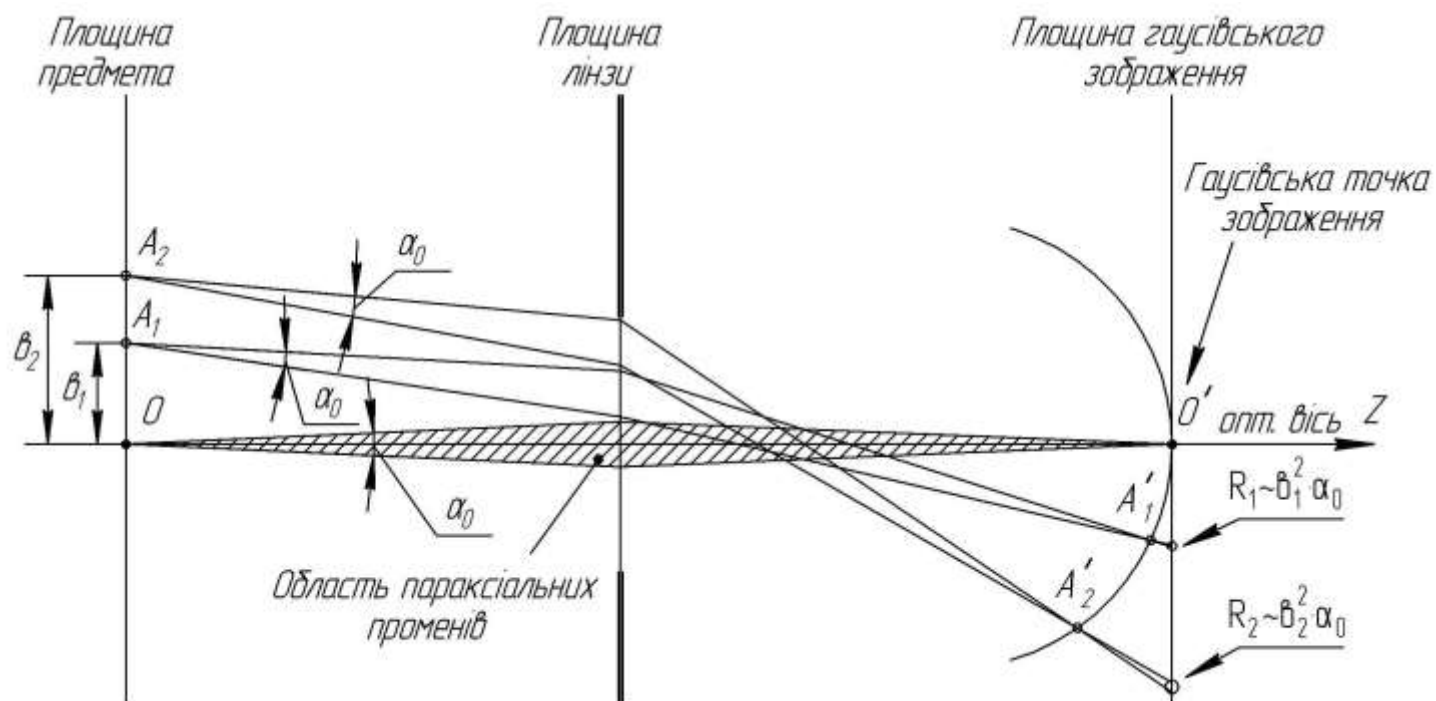


Рисунок 3 – Схема виникнення викривлення зображення

Позаосьовий астигматизм – астигматизм, що виникає при нахлонному падінні електронного пучка на лінзу

Причина виникнення - меридіональний і сагітальний пучки проходять через різні ділянки лінзи з різною заломлюючою здатністю, в наслідок чого фокусні відстані лінзи для розглянутих пучків виявляються також різними.

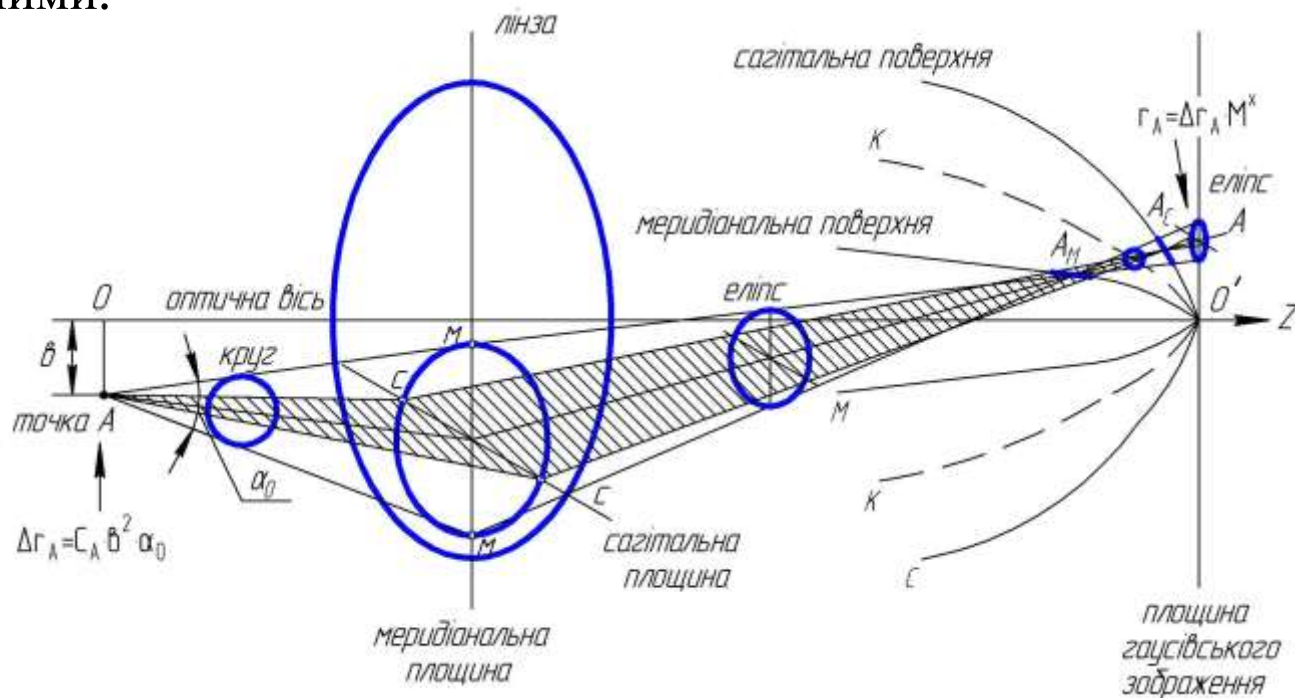


Рисунок 4 – Схема виникнення викривлення зображення

Осьовий астигматизм – астигматизм, що виникає в результаті порушення сферичної симетрії лінзи

Причина виникнення:

- ✓ неоднорідність матеріалу полюсного наконечника;
- ✓ неможливість отримати ідеально круглий отвір у каналах полюсних наконечників існуючими методами обробки металів.

Проявляється в тому, що

- ✓ магнітне поле лінзи деформується із круглого в еліптичне і діє в одному із напрямків сильніше.

Для того, щоб уникнути

- ✓ в лінзах використовують **стигматори**, які складаються з чотирьох перехрещених котушок, збудження яких регулюються за допомогою спеціальних схем.

Анізотропний астигматизм

➤ Анізотропний астигматизм призводить до виникнення еліптичності на зображенні, при цьому осі еліпса виявляються повернутими відносно осей ізотропного астигматизму.

➤ Виникає в магнітних лінзах одночасно з ізотропним астигматизмом.

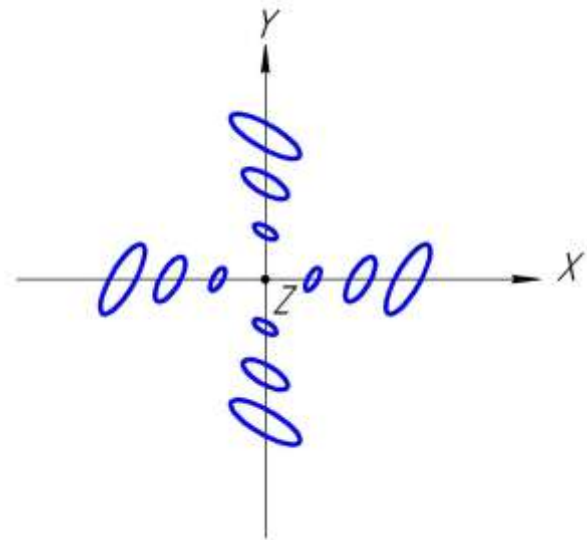


Рисунок 5 – Анізотропний астигматизм

Дисторсія не залежить від апертурного пучка і проявляється у спотворенні геометричної форми зображення без порушення його різкості

Причина виникнення: оскільки промені, що падають на лінзу під більшим кутом, заломлюються сильніше ніж ті, що падають під меншим кутом, тому фокусні відстані цих променів різні. Зміна фокусної відстані призводить до зміни збільшення лінзи, що і призводить до виникнення дисторсії.

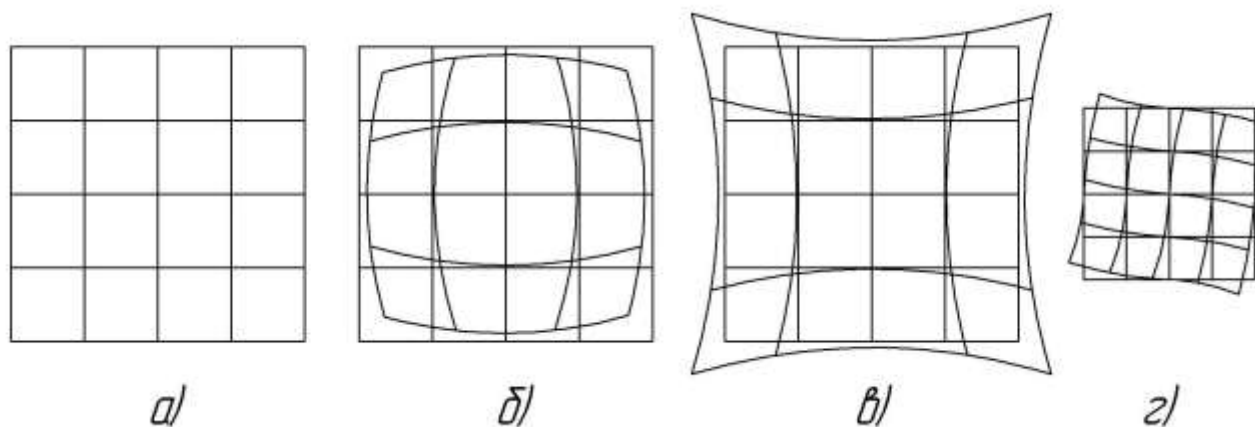


Рисунок 6 – Спотворення форми об'єкта дисторсією лінзи: а – тест-об'єкт (квадратна сітка); б – бочкоподібна дисторсія; в – подушкоподібна дисторсія; г – анізотропна дисторсія

Хроматична аберація виникає за рахунок того, що електрони, які попадають на лінзу мають різні енергії

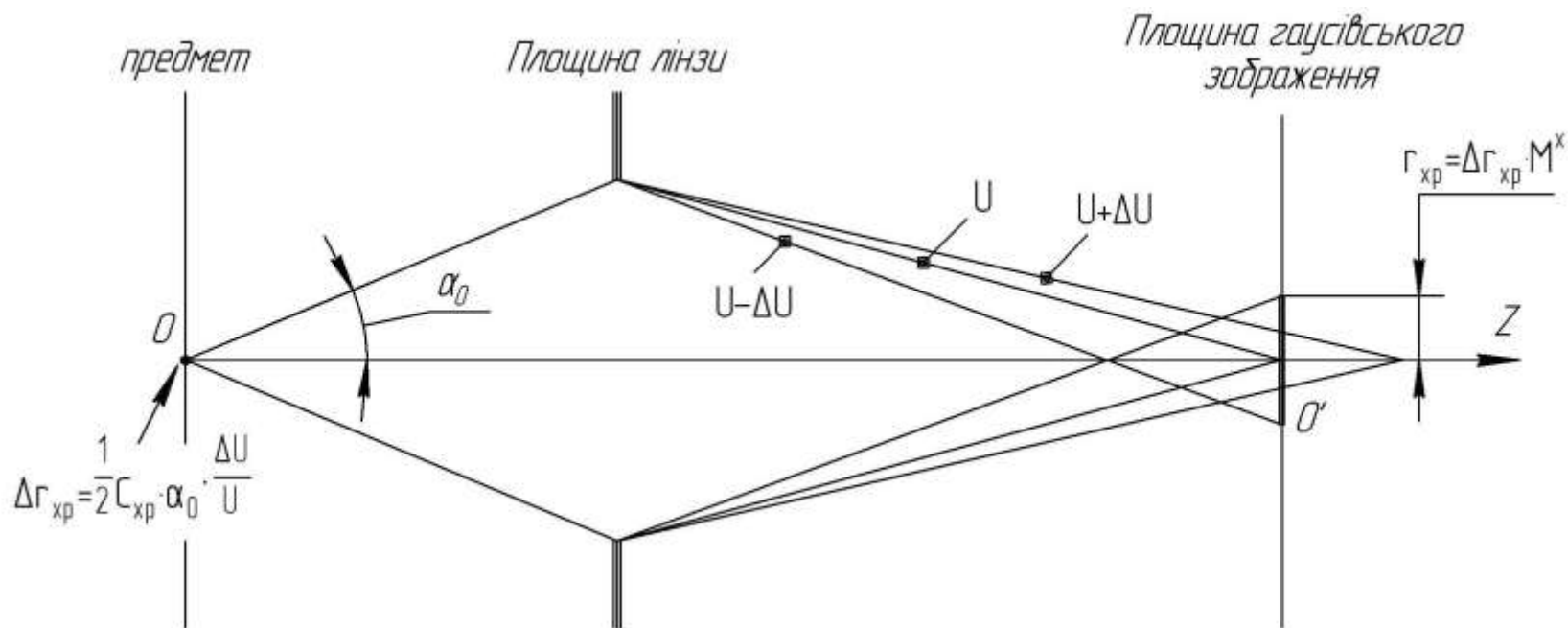


Рисунок 7 – Схема виникнення хроматичної аберації

Хроматична аберація

Причина виникнення:

- ❖ Розходження енергії електронів, що вилітають з катода.
- ❖ Нестабільність прискорюючої напруги.
- ❖ Втрати енергії електронів при проходженні їх через зразок.

Радіус кружка, віднесений до площини об'єкта, дорівнює:

$$\Delta r_{xp} = \frac{1}{2} C_{xp} \alpha_0 \frac{\Delta U}{U} \quad (11.2)$$

де C_{xp} – постійна хроматичної аберації лінзи, α_0 – апертурний кут, $\Delta U/U$ – відносне розходження швидкостей електронів, виражене через прискорюючу напругу.

Дякую за увагу!