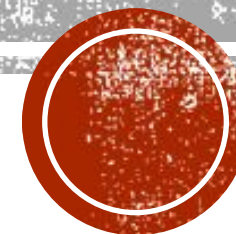


**ДОКЛАД  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВИППУ».**

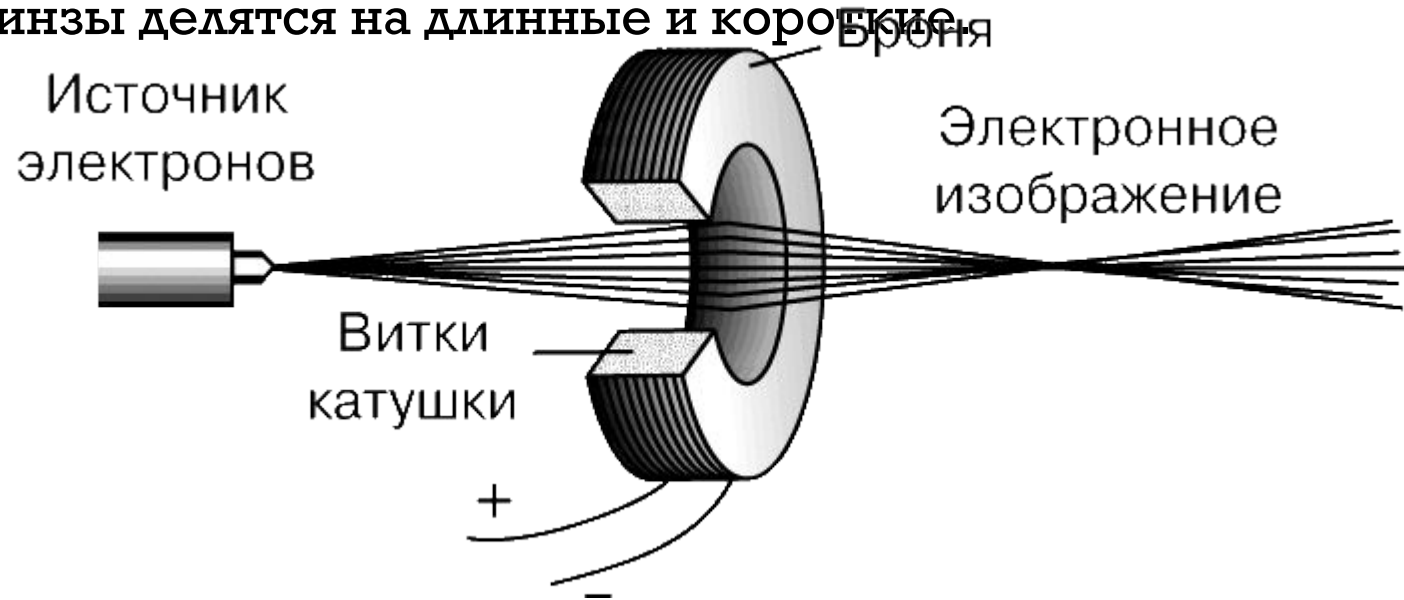
**ТЕМА: «МАГНИТНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ  
ЛИНЗЫ»**



**Выполнил студент группы 4202 Орлов М.В.**

# ВВЕДЕНИЕ

- Магнитная линза - устройство электронной оптики, предназначенное для фокусировки электронных пучков. Представляет собой аксиально симметричный электромагнит, либо постоянный магнит.
- Пропускании через его витки тока возникает сильное неоднородное магнитное поле, отклоняющее летящие через эту область электроны. Сила пропускаемого тока влияет на величину магнитной индукции линзы, а осевое распределение зависит от конструкции электромагнита.
- В зависимости от соотношения продольных и поперечных размеров магнитных катушек состоящие из них линзы делятся на длинные и короткие.

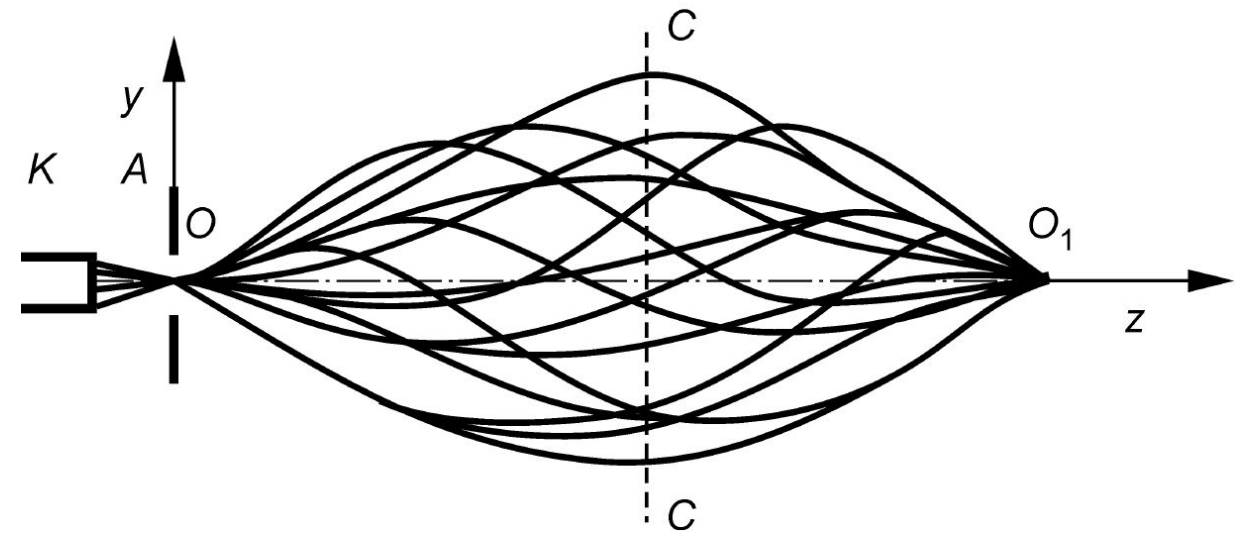


# УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ В НЕОДНОРОДНОМ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

$$m \ddot{z} = -e r \dot{\theta} \frac{\partial A_{\theta}}{\partial z},$$

$$m(\ddot{r} - r \dot{\theta}^2) = -e \dot{\theta} \frac{\partial (r A_{\theta})}{\partial r},$$

$$m \frac{1}{r} \frac{d}{dt} (r^2 \dot{\theta}) = e z \frac{\partial A_{\theta}}{\partial z} + e \frac{\dot{r}}{r} \frac{\partial (r A_{\theta})}{\partial r} = \frac{e}{r} \frac{d}{dt} (r A_{\theta}).$$



- Траектории электронов имеют вид пространственных спиралей с изменяющимся радиусом
- Частицы с разными значениями заряда и массы описывают различные траектории
- Уравнения неоднородны относительно  $U_0$  и  $B_0$  (при изменении  $B$  в  $n$  раз необходимо изменять  $U$  в  $n^2$ )

- Азимутальная скорость вращения  $\dot{\theta} = \frac{1}{2} \frac{e}{m} B_0(z)$

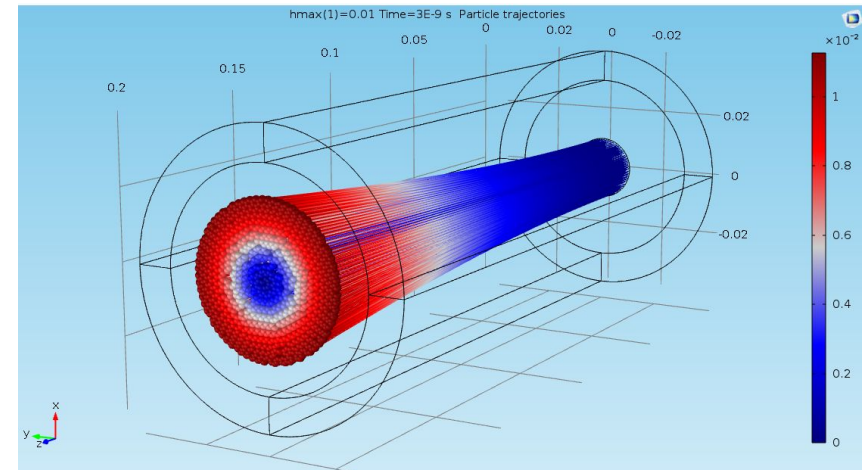
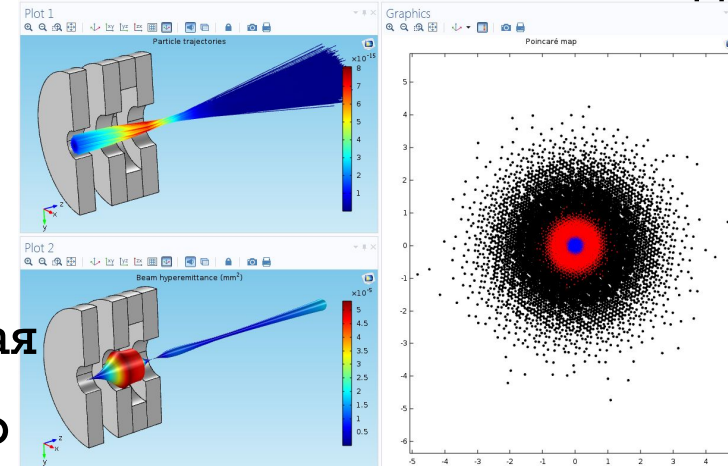
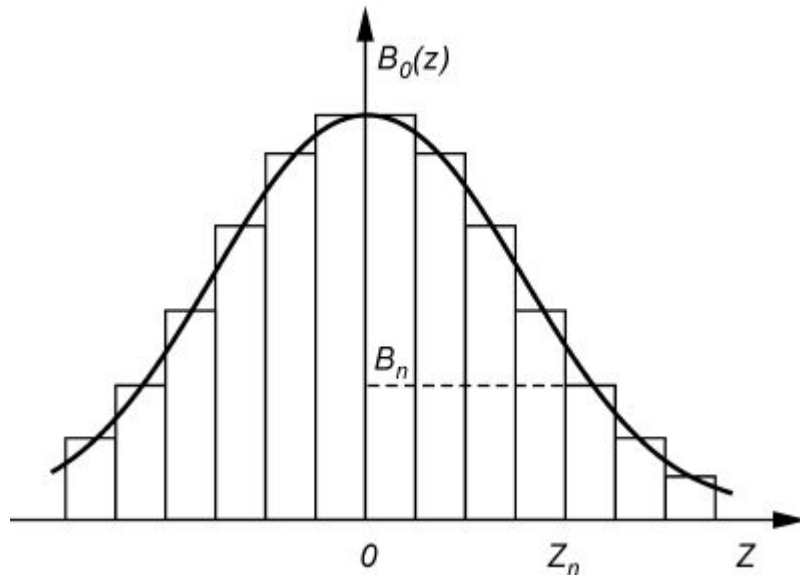
- Угол поворота траектории  $\theta = \sqrt{\frac{e}{8mU_0}} \int_{z_0}^{z_1} B_0(z) dz$

- Уравнение движения в проекции на меридиональную плоскость  $\frac{d^2 r}{dz^2} = -\frac{e}{8mU_0} B_0^2(z) \cdot r.$

# МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИЙ

- Точное аналитическое решение системы данных дифференциальных уравнений возможно лишь в ограниченном кругу задач при введении ряда допущений
- Наиболее часто данная задача решается применением различных численных методов:
  - Метод Рунге-Кутты
  - Разложение функций в ряды Тейлора
  - Другие специализированные численные методы
- Для нахождения приближенного решения плавная кривая магнитной индукции может быть разбита на ступенчатую

ломаную



# ТОНКАЯ МАГНИТНАЯ ЛИНЗА

- Простейшей системой, образующей тонкую магнитную линзу является одиночный виток, индукция которого определяется законом Био-Сав

$$B_0(z) = \frac{1}{2} \mu_0 I \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

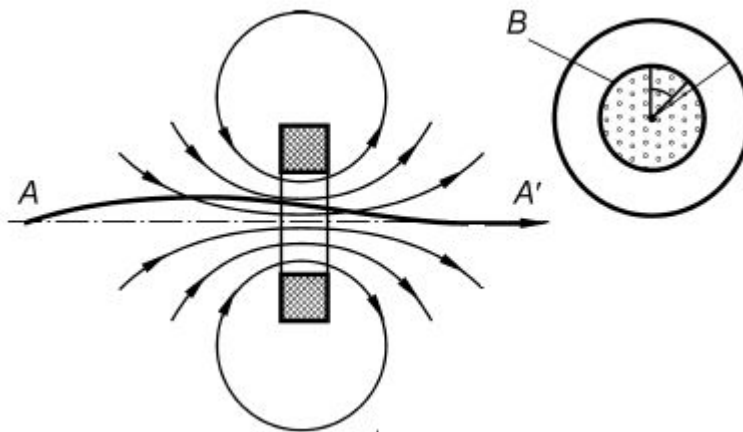
- Для создания необходимого для фокусировки поля необходимы большие токи. Для снижения токов применяют многовитковые катушки

$$B_0(z) = \frac{\mu_0}{2} wI \frac{R_{\text{ср}}^2}{(R_{\text{ср}}^2 + z^2)^{3/2}}$$

- Фокусные расстояния такой линзы с обеих сторон равны  $f = 98 \frac{U_0 R_{\text{ср}}}{(wI)^2}$

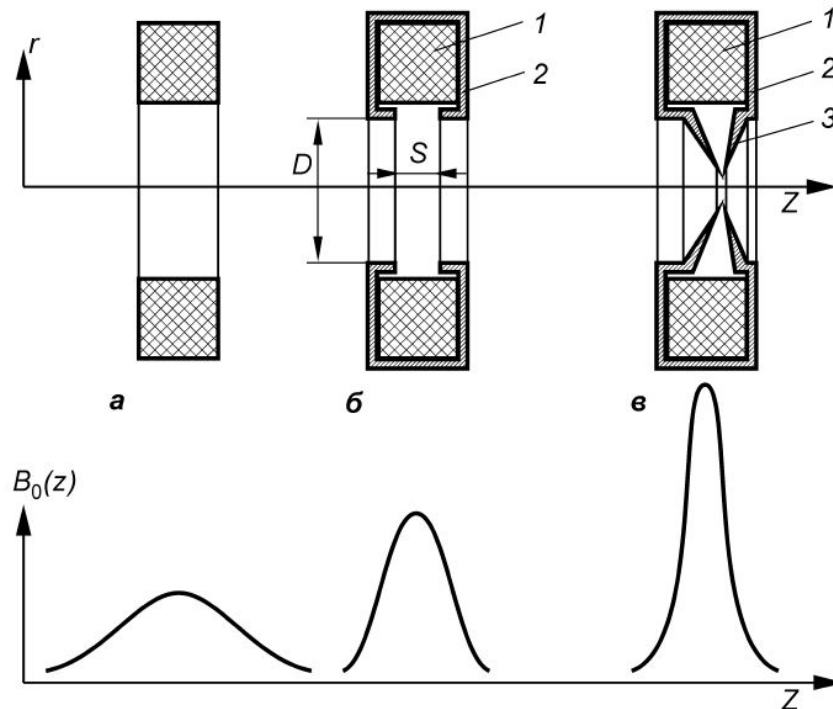
- Угол поворота изображения  $\theta = 10,7 \frac{wI}{\sqrt{U_0}}$ .

- Для уменьшения фокусного расстояния необходимо увеличивать магнитодвижущую силу при сохранении ее среднего радиуса, а также длины катушки



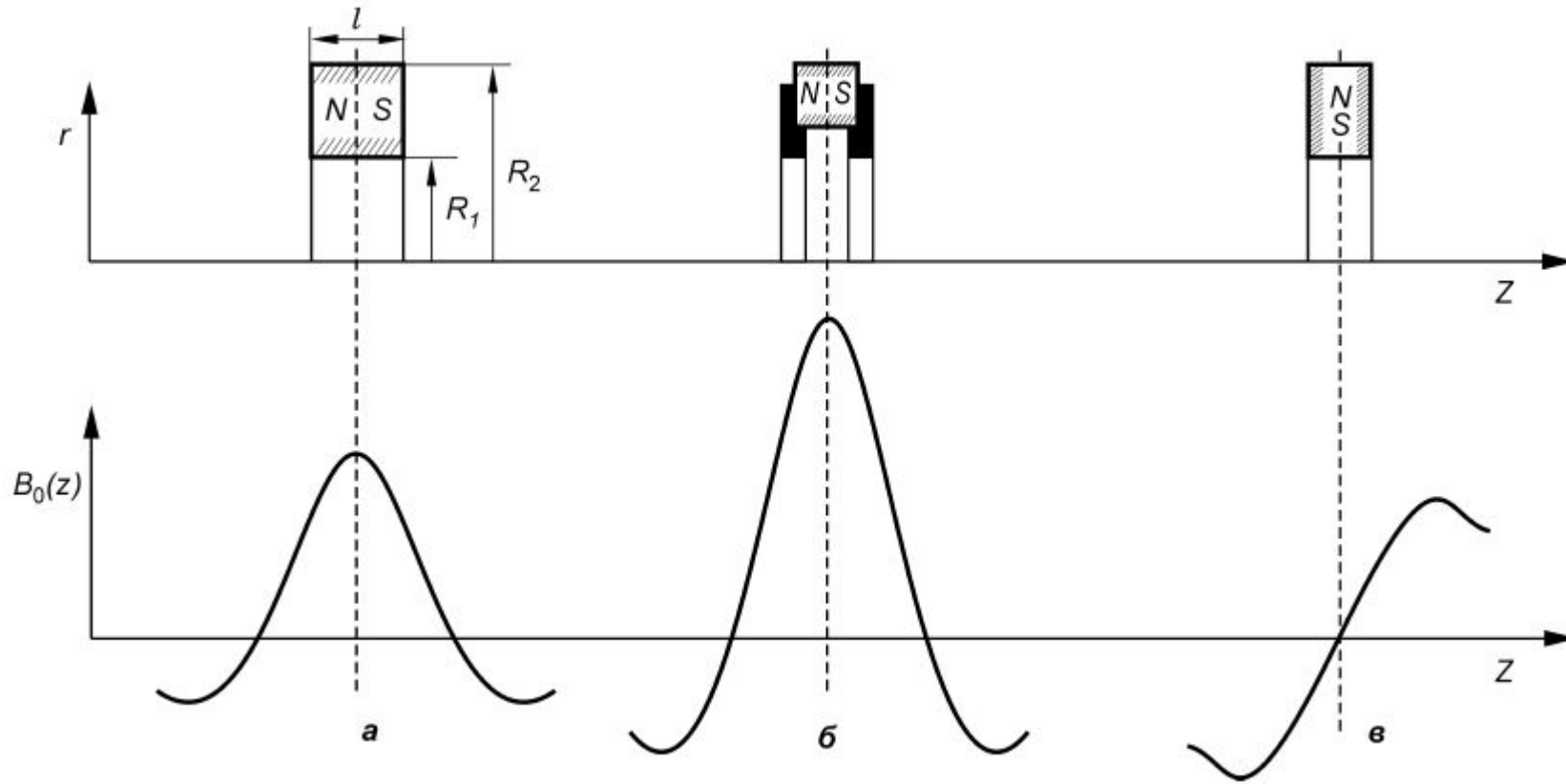
# ТОНКАЯ МАГНИТНАЯ ЛИНЗА

- Увеличение длины катушки нежелательно, т. к. это может привести к пересечению пучка в области сильного поля и его расхождению с последующей повторной фокусировкой. Данный режим многократной фокусировки обеспечивает сильное искажение изображения.
- Наиболее целесообразным методом уменьшения фокусного расстояния является метод сжатия области поля вдоль оси линзы при фиксированном значении ампер-витков. Суть такого метода заключается в концентрировании поля в небольшом объеме, что обеспечивается ферромагнитными экранами.
- Ниже представлены различные виды конструкции тонких магнитных линз (неэкранированная тонкая линза, панцирная тонкая магнитная линза и панцирная тонкая магнитная линза с полюсными наконечниками).



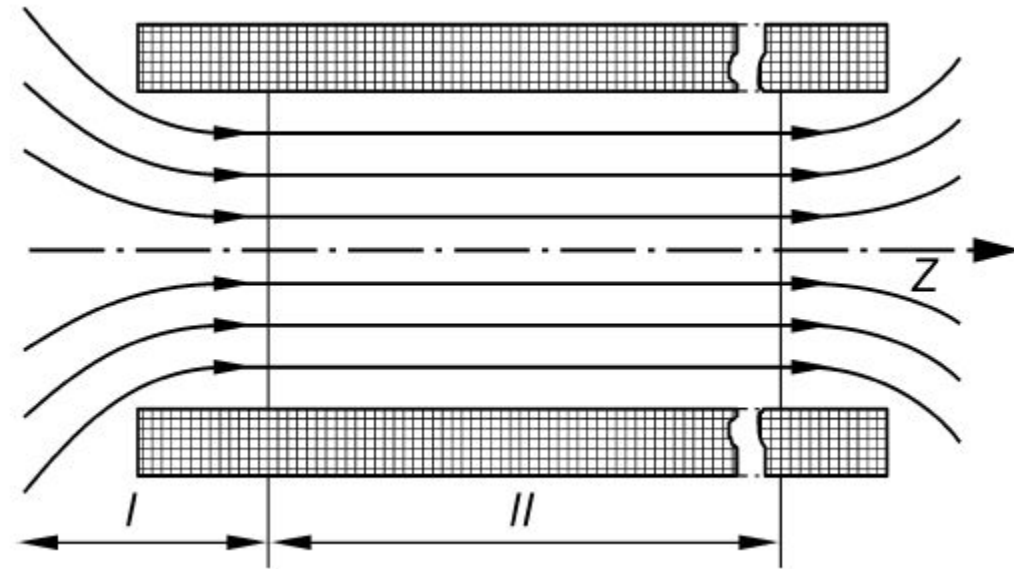
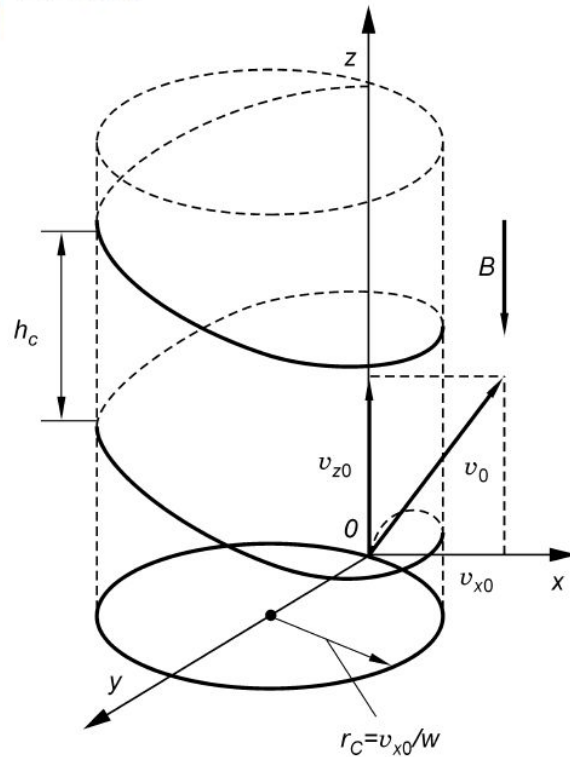
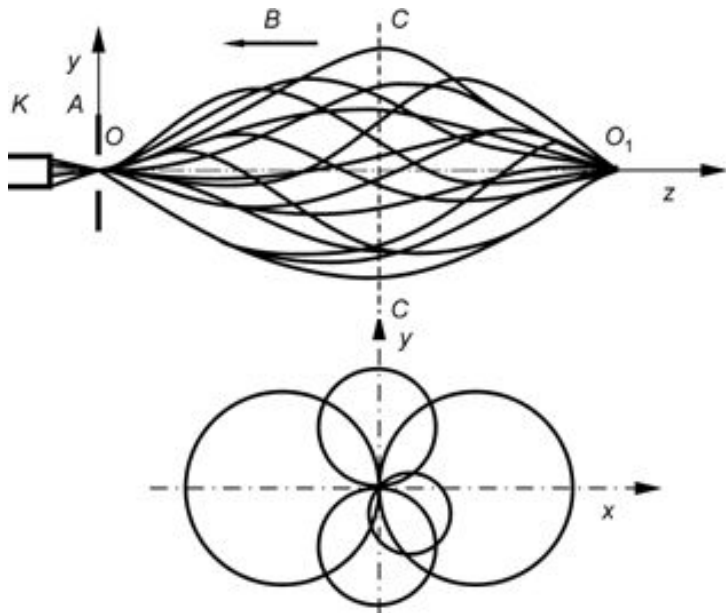
# ТОНКАЯ МАГНИТНАЯ ЛИНЗА

- Для создания тонких магнитных линз могут также использоваться постоянные магниты
- Возможны различные варианты конструктивного исполнения (магнит, намагниченный в осевом направлении, магнит, намагниченный в осевом направлении с полюсными наконечниками, магнит, намагниченный в радиальном направлении)



# ДЛИННАЯ МАГНИТНАЯ ЛИНЗА

- Длина катушки, создающей магнитное поле данной линзы, значительно больше ее диаметра
- При равномерной намотке магнитное поле в такой катушке почти однородно за исключением краевых эффектов
- Области краевого поля частично устраняются с помощью магнитного экрана
- Траектория электронов в однородной области имеет вид пространственной спирали
- Радиус спирали  $r_c = \frac{v_{x0}}{\omega_c} = \frac{mv_{x0}}{eB} = \frac{mv_0}{eB} \sin \alpha$ ,
- Шаг спирали  $h_c = z_{III} = 2\pi \frac{mv_0}{eB} \cos \alpha$



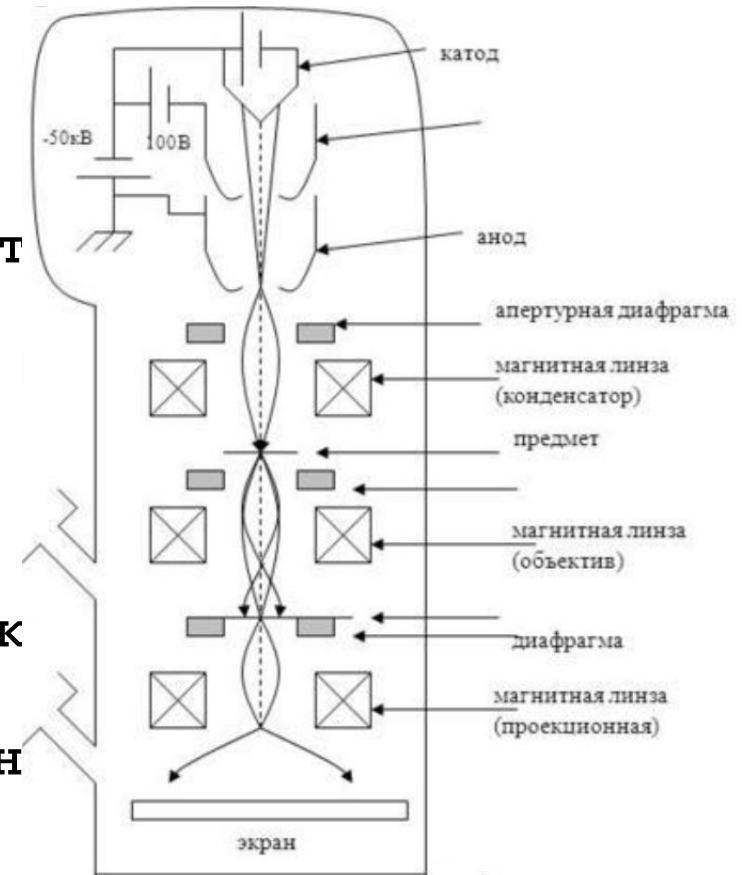


## ПРЕИМУЩЕСТВА МАГНИТНЫХ ЛИНЗ

- Магнитная фокусировка позволяет достичь большего тока пучка. Это связано с тем, что для формирования пучка используется весь ток катода, а не его часть, как в пушках с электростатической фокусировкой (0,1—0,5), электроды которых притягивают к себе значительную часть электронов.
- Магнитная линза позволяет получить лучшее качество фокусировки, т.е. меньший размер электронного пятна в фокальной плоскости. Это связано с большим диаметром фокусирующей катушки по сравнению с диаметром электродов электростатической линзы. Чем больше отношение диаметра электронной линзы (катушки или электрода) к диаметру пучка, проходящего через линзу, тем выше качество фокусировки (меньше сферические aberrации).

# ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ЛИНЗ

- Магнитные линзы применяются, например, в электронных микроскопах, а также в некоторых типах осциллографических электронно-лучевых трубок.
- Преимущество электронно-лучевой фокусировки перед оптической состоит в больших значениях разрешающей способности. Это объясняется тем, что оптическая фокусировка ограничена явлением дифракции: при малых размерах изображения точка превращается в размытое пятно. Снижения влияния данного эффекта достигается уменьшением длины волны и ограничено верхней границей видимого диапазона.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

