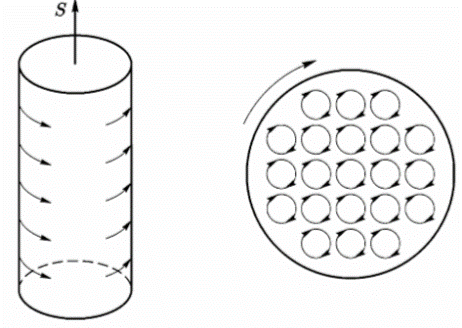
**Теорема о циркуляции в веществе**.

– алгебраическая сумма токов внутри контура.

- молекулярные токи

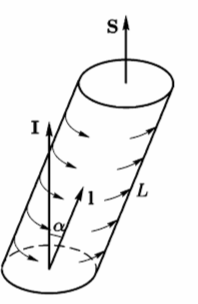
Вектор намагниченности – средний магнитный момент единицы объема магнетика

*–* магнитный момент молекулы или атома, – среднее число молекул в единице объема.

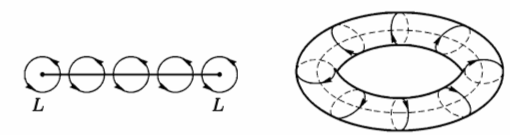
Найдем сначала выражение для молекулярных токов в случае намагниченного простого цилиндра. Не скомпенсированными остаются только токи по поверхности цилиндра (рис) – они создают поверхностный молекулярный ток.

Т.к. – магнитный момент единицы объема, полный магнитный момент равен .

Пусть – поверхностная плотность молекулярных токов. Полный ток – это и есть ток намагничивания. Его магнитный момент , но, с другой стороны, он же равен .

**Обобщим результат для косого цилиндра

Для неоднородных магнетиков следует рассматривать бесконечно малые цилиндры.

Найдем циркуляцию вектора по произвольному замкнутому контуру . На контур натягиваем поверхность . Видно, что только крайние молекулярные токи вносят вклад в намагничивание. Поэтому рассматриваем бесконечно тонкий цилиндр вдоль контура и начинаем с малой его части длиной , чтобы свести задачу к косому цилиндру.

Вводим новый вектор , который исторически получил название напряженности магнитного поля.

**Граничные условия**.

*–* реальные токи*.*

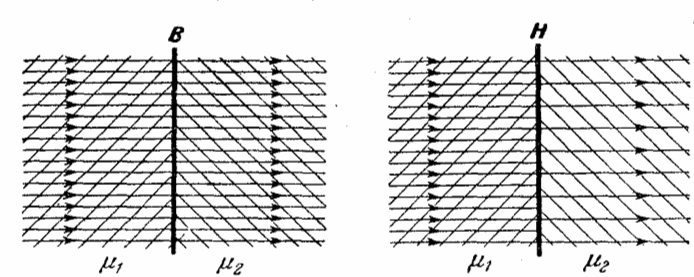
**Материальные уравнения**.

*-* магнитная восприимчивость

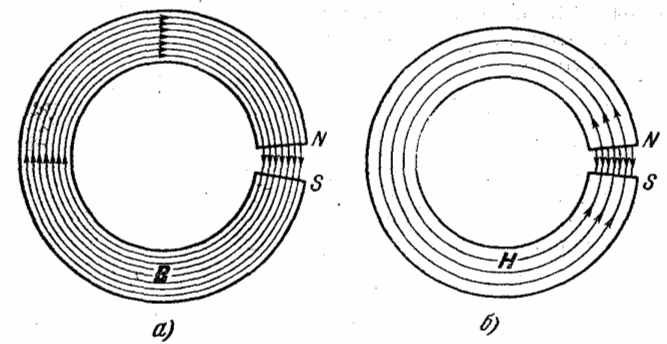
– магнитная проницаемость

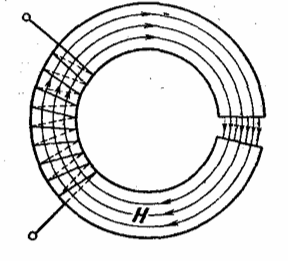
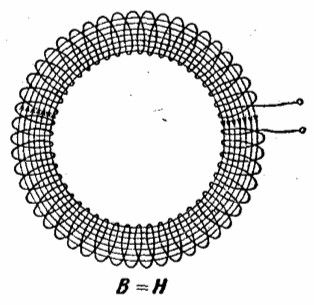
Если – это парамагнетики (кислород, алюминий)

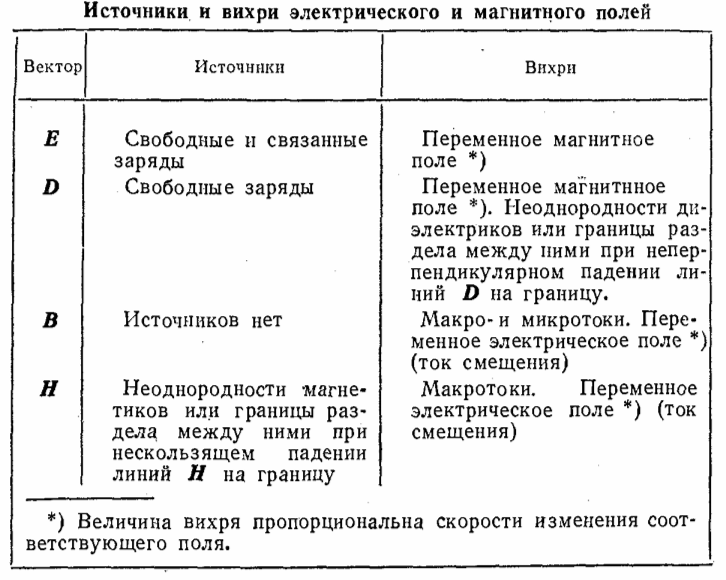
Если – это диамагнетики (азот, серебро, висмут)

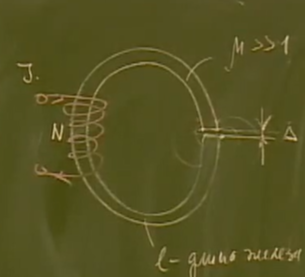
**Если – это ферромагнетики (кобальт, никель, железо)

<- Линии поля в неоднородном магнетике.

*<-* Линии поля в постоянном магните. Обращаем внимание, что в месте разреза линии также начинаются на северном полюсе магнита, как будто там находятся источники магнитного поля. В этом смысле и чем-то похожи, откуда и появилось схожее название. Но источников магнитного поля - нет.

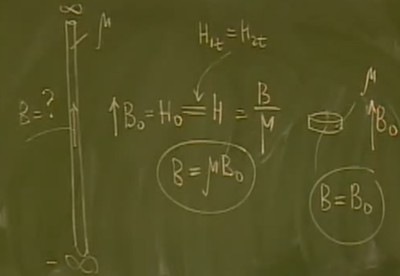
* *<- Линии поля в электромагните и соленоиде.

**

**Пример.** Рассмотрим электромагнит. Вычислим поле в зазоре.

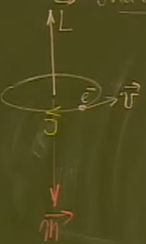
Поток магнитного поля , где – сечение витков, – их количество.

**Размагничивающий фактор**. При сжимании бесконечного цилиндра в тонкий диск .

**

**Магнитные свойства атомов**.

Рассмотрим круговое вращение электрона по орбите. Скорость электрона примерно в 300 раз меньше световой скорости, поэтому движение можно считать нерелятивистским.

 Сила тока - заряд, проходящий за единицу времени через сечение проводника. В данном случае заряд . За единицу времени электрон сделает оборотов, где – период вращения, так что сила тока

Механический момент электрона:

Магнитный момент электрона:

Гиромагнитное отношение:

В квантовой механике будет показано, что механический момент квантуется

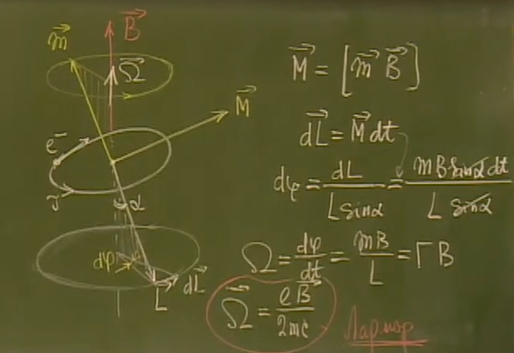
Так же квантуется и магнитный момент

*-* магнетон Бора.

Имеется также собственный момент количества движения электрона (спин). Он равен удвоенному гиромагнитному отношению:

**Диамагнетизм**.

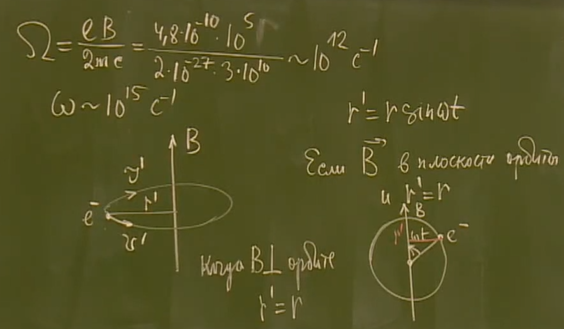
Свойства диамагнетика присущи веществам, атомы, которых в отсутствии магнитного поля не имеют магнитного момента, т.е. с завершенными электронными оболочками. Это - благородные газы, водород, азот, вода, стекло, парафин, золото, висмут и т.д.

Подсчитаем угловую скорость прецессионного вращения.

*При наличии внешнего постоянного магнитного поля внутреннее движение электронов атома не изменяется, но атом в целом получает дополнительное вращение с угловой скоростью (теорема Лармора):*

*–* ларморовская частота.

Иными словами, под действием поля начинает вращаться орбитальная плоскость. Угловая скорость прецессионного вращения имеет направление как у вектора – это означает, что электрон получает дополнительное вращение вокруг оси , что говорит о появлении дополнительного тока в обратную сторону. Т.е. появляется магнитный момент имеющий направление, противоположное внешнему полю. Он небольшой, поскольку прецессионная скорость на три порядка меньше угловой скорости. Вычислим его.



В диамагнетике .

**Парамагнетизм**.

Это вещества, имеющие собственный магнитный момент атома. Наиболее выражен – кислород.

**Ферромагнетизм**.

– основные ферромагнетики, а также редкоземельные.