

# ДИАМАГНЕТИЗМ И ПАРАМАГНЕТИЗМ

Балдин Виктор Б01-303

Вопрос по выбору  
Устный экзамен по общей физике



Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий  
Московский физико-технический институт  
Долгопрудный, 2024

# Содержание

1 Введение	1
2 Диамагнетизм	2
3 Парамагнетизм	2
4 Заключение	2

## 1 Введение

Переходя к объяснению магнитных свойств материальных сред с атомистической точки зрения, заметим прежде всего, что в последовательно классической теории магнетизм должен отсутствовать. Бор в 1911 г. и независимо от него Ван-Лёвен в 1920 г., пользуясь методами классической статистики, строго доказали следующую теорему. В состоянии термодинамического равновесия система электрически заряженных частиц (электронов, атомных ядер и пр.), помещенная в постоянное магнитное поле, не могла бы обладать магнитным моментом, если бы она строго подчинялась законам классической физики. Такая система может быть намагничена только в неравновесном состоянии. Если она перейдет в равновесное состояние, то намагничивание исчезнет. Причина этого, грубо говоря, заключается в том, что постоянное магнитное поле, действуя на заряженную частицу с силой, перпендикулярной к скорости, не может изменить кинетическую энергию частицы. Для объяснения магнетизма вещества требуется привлечение квантовых представлений.

Между тем парамагнетизм и диамагнетизм были объяснены, и притом довольно успешно, Ланжевеном (1872-1946) в 1905 г. без использования квантовых представлений. Причина этого заключается в том, что в классических теориях намагничивания молчаливо вводились представления сугубо квантового характера. Именно, предполагалось, что из электрически заряженных частиц можно построить устойчивые образования - атомы и молекулы. От последовательно классической теории надо требовать объяснения не только намагничивания, но и существования самих атомов, что удалось сделать только квантовой механике. Поскольку последняя в нашем курсе еще не излагалась, при объяснении намагничивания мы будем пользоваться полуклассическими представлениями. Несмотря на свою непоследовательность и недостаточность, полуклассическая теория позволяет в основном уяснить природу намагничивания.

Начнем с краткого рассмотрения магнитных свойств атомов. Более подробно этот вопрос будет разобран в т. V нашего курса - в атомной физике. В простейшей боровской модели атома водорода электрон вращается вокруг ядра по окружности. Заряд электрона будем обозначать через  $-e$ . Вращающийся по окружности электрон в среднем возбуждает магнитное поле как ток  $I = -e/T$ , где  $T = 2\pi r/v$  - период обращения электрона. Поэтому вращающемуся электрону присущ не только орбитальный момент импульса (или механический момент)  $L = mrv$ , но и магнитный момент  $\mathfrak{M} = IS/c = -erv/(2c)$ . Отношение этих величин называется гиромагнитным отношением и для нашей модели атома равно

$$\Gamma = \frac{\mathfrak{M}}{L} = -\frac{e}{2mc}$$

Тот же результат справедлив для движений электрона по эллиптическим орбитам. Он

верен и для многоэлектронных атомов, поскольку для всех электронов отношение  $e/m$  одно и то же.

Согласно теории Бора момент импульса атома квантуется, т.е. может принимать не непрерывный, а только дискретный ряд значений. Допустимыми являются значения  $L = n\hbar$ , где  $n$  - целое число, которое может принимать значения  $1, 2, 3, \dots$ , а  $\hbar = h/(2\pi) = 1,05 \cdot 10^{-27}$  эрг +с— постоянная Планка (1858-1947), деленная на  $2\pi$ . (Эта величина также называется постоянной Планка и более удобна в теоретических вопросах.) Вместе с механическим моментом магнитный момент также квантуется в соответствии с формулой

$$\mathfrak{m} = -\frac{e\hbar}{2mc}n$$

Таким образом, наименьшее значение магнитного момента атома равно

$$\mathfrak{m}_B = \frac{e\hbar}{2mc} = 9,28 \cdot 10^{-21} \text{pr/Fc}$$

Эта величина играет роль атома магнитного момента и называется магнетоном Бора. Квантовая механика оставила представление о движении электронов по классическим орбитам и уточнила правила квантования теории Бора. Вместо движения самих электронов квантовая механика ввела представление о движении некоторой величины, имеющей смысл плотности вероятности нахождения электрона в пространстве. Классическим, однако отнюдь не адекватным аналогом такого представления, может служить облако, в котором масса и соответствующий ей электрический заряд распределены в пространстве непрерывно с определенной плотностью. Существует дискретный ряд так называемых стационарных состояний, в которых эти величины не меняются во

## 2 Диамagnetизм

## 3 Парамагнетизм

## 4 Заключение