

W. Elenbaas, The high pressure mercury vapour discharge, Selected topics in modern physics, II, North-Holland Publishing Company, 1951, Amsterdam, 173 стр., 80 рис., 15 табл. Библиография 138 названий.

В. Эленбаас, Ртутный разряд высокого давления.

В 1951 г. начала выходить голландская серия: «Избранные вопросы современной физики». Кроме рецензируемой книги вышли: Л. Розенфельд, Теория электрона и С. де Гроот, Термодинамика необратимых процессов.

*) Эта ошибка в части тиража исправлена.

Рецензируемая книга представляет собой монографию, в основном подводящую итог 20-летней работе автора по созданию теории ртутного разряда высокого давления.

Как известно, теория газового разряда при низких и средних давлениях (примерно до 1—10 мм ртутного столба) отличается сложностью и громоздкостью. В этих условиях ещё не наступает термодинамическое равновесие отдельных процессов, определяющих механизм разряда. Поэтому необходимо точно учитывать роль каждого из процессов в отдельности, что требует знания таких атомных характеристик, как функции возбуждения, функции ионизации и т. д. В разряде при высоком давлении условия в той или иной мере приближаются к термодинамическому равновесию, что позволяет сильно упростить методы теоретического анализа свойств такого разряда.

При термодинамическом равновесии достаточно знать температуру и давление газа, чтобы точно охарактеризовать условия возбуждения и ионизации атомов в разряде. Из атомных констант необходимы только критические потенциалы возбуждения и ионизации. Термическая точка зрения на механизм разряда высокого давления фигурирует в литературе давно, но главным образом в связи с теорией угольной дуги Петрова. Были также давние наивные и неверные попытки применить эту же точку зрения к ртутному разряду. Однако разработка современной термической теории ртутного разряда началась примерно лет 20 тому назад. Необходимость создания такой теории диктовалась быстрым развитием производства ртутных ламп. В частности, термическая теория сыграла решающую роль в создании ртутных ламп сверхвысокого давления, обладающих огромными яркостями.

Ценность книги Эленбааса состоит в систематическом изложении термической теории ртутного разряда высокого давления. Основной недостаток книги — отсутствие элементов критического отношения к термической теории. У этой теории, наряду с достижениями, есть слабые места, которые смазаны при изложении. Как мы увидим ниже, термическая теория изложена в несколько приукрашенном виде.

Переходим к разбору конкретного содержания книги.

Первая глава носит вводный характер и содержит в себе довольно разнородный материал. Начинается глава с беглого исторического очерка развития конструкций ртутных ламп высокого давления. Далее идёт определение понятия ртутный разряд высокого давления (выше 10 мм ртутного столба). Определение связано с началом резкого роста выхода излучения при повышении давления. В конце главы затронут вопрос о механизме разряда высокого давления. Однако изложен этот вопрос поверхностно. Автор кратко излагает термическую теорию разряда, но обходит вопрос об аргументах, делающих правомочной применимость этой теории. Вопрос об установлении термодинамического равновесия, с которым связан вопрос о применимости термической теории, отнесён на конец книги, да и там рассмотрен, как мы увидим, не с должной убедительностью.

Поэтому утверждение автора о применимости формул Больцмана и Шаха для определения концентраций возбуждённых атомов и ионов в разряде остаётся в этой главе бездоказательным. Излишним является введение полной статистической суммы состояний (форм. 1.33, стр. 9), ибо в книге эта сумма нигде не используется. В конце главы приведена грубая оценка температуры разряда, оказывающейся равной примерно 5000° К.

Последующие главы основаны на применении формул Больцмана и Шаха к теории ртутного разряда.

Вторая глава посвящена применениям теории в элементарном виде. Прежде всего разбирается эффект контрагирования разряда, что объясняется спадом температуры от оси разряда к стенкам.

Автор не указывает, что решение интегрального уравнения абелевского типа, к которому сводится пересчёт экспериментальных данных для интенсивностей, связано с большими ошибками, возникающими при дифференцировании экспериментальных кривых (стр. 14).

В табл. 1 явно нереальны вторые и даже первые знаки после запятой.

Вообще в книге чувствуется увлечение излишней «точностью» при записи чисел.

Интересен анализ зависимости общей интенсивности излучения от подводимой в разряд мощности. Особенно важно практически то, что общая интенсивность излучения не зависит от количества ртути, приходящегося на единицу столба разряда. Также важны данные о градиенте потенциала и полуэмпирическая теория, приводящая к формуле, связывающей градиент с мощностью, количеством ртути и диаметром ламп.

Третья глава посвящена основному параметру разряда — температуре. Здесь описаны различные методы определения температуры разряда.

Все основные методы носят косвенный характер, но приводят к результатам, неплохо согласующимся между собой. Наиболее интересные методы: по поглощению рентгеновских лучей (плотность); по уширению спектральных линий. Вычисление температуры по абсолютной интенсивности жёлтых линий не производит убедительного впечатления ввиду имеющего место в литературе разнобоя в значениях вероятностей перехода (см. стр. 37). В этом смысле более обоснованным является расчёт, сделанный при помощи формулы Вина и данных об интенсивностях линий видимого триплетта (см. Изв. АН СССР, 1938 г., стр. 305). Проверка правильности данных о температуре на основании формулы для подвижности электронов носит, конечно, очень приближённый характер (стр. 49), что не отмечено в книге.

В четвёртой главе выводится основное дифференциальное уравнение для распределения температур в разряде и анализируются решения этого уравнения.

В уравнении учтены только два вида потерь энергии: а) на излучение и б) путём теплопроводности. Пренебрежение другими видами потерь аргументировано довольно убедительно. Вызывает, однако, возражения формула (4. 2. 3, стр. 53) для радиационных потерь. В этой формуле никак не учтено явление реабсорбции излучения в разряде, хотя известно, что реабсорбируется большая часть энергии излучения, возникающего в объёме ртутного разряда (см., например, Изв. АН СССР, 1936 г., стр. 441).

Основное уравнение позволяет найти важные условия подобия разрядов (стр. 55). Эти условия подсказали конструкцию капиллярных ламп сверхвысокого давления. Как отмечается на стр. 56, условия подобия нарушаются на опыте, что связано с неточностью основного уравнения.

Полезным является введение эффективной температуры разряда.

Заканчивается глава изложением результатов численного интегрирования основного уравнения различными авторами. Следует указать, что эта трудоёмкая работа не дала каких-либо существенно новых результатов, да и вообще имела мало смысла ввиду приближённого характера основного уравнения.

Пятая глава специально посвящена конвекции в разряде, причём подчёркивается небольшая величина конвекционных потерь энергии. Для цилиндрических ламп это, вероятно, правильно. Интересен разбор вопроса о переходе ламинарного движения паров в турбулентное, что сопровождается «спирализацией» шнура разряда.

В шестой главе собраны вопросы, связанные с влиянием самых разнородных факторов на ртутный разряд. Здесь и магнитное поле, и вращение вокруг оси, и, наконец, добавление инертных газов и кадмия.

Последний вопрос действительно важен в связи с проблемой исправления цветности ртутных ламп. Несколько комичное впечатление производят «сверхточные» расчёты на стр. 103—104, где фигурирует теоретическая цифра 1,002 и после графической интеграции получается из косвенных экспериментальных данных та же цифра 1,002!

Маленькая седьмая глава (всего 4 страницы) как-то странно нарушает последовательность изложения, ибо в основном посвящена поверхностному описанию ламп сверхвысокого давления.

Автор практически почти не касается теории шаровых ламп, развитой немецкими исследователями. Нам представляется чрезмерным такое ограничение содержания книги. Ведь вся проблема ртутного разряда высокого давления не настолько широка, чтобы внутри неё был допустим отбор материала, диктуемый узко личными научными интересами автора.

Исключение вопросов теории шаровых ламп тем более неправильно, что эти лампы представляют большой практический интерес. Вместе с тем в шаровых лампах существенную роль играют электроды, что вносит значительные изменения в основы термической теории этих ламп.

Восьмая глава посвящена спектральным свойствам ртутного разряда высокого давления. Прежде всего в ней имеются достаточно подробные спектральные характеристики линейчатого спектра разряда. Затем теоретически обсуждён вопрос о влиянии параметров разряда на интенсивность линий. Это обсуждение отличается краткостью и всё сводит к изменениям температуры разряда. Довольно много внимания посвящено важному вопросу о непрерывных спектральных полосах как вблизи линии 2537 А, так и рекомбинационных и молекулярных. Заканчивается глава интересным разделом, касающимся снижения эффективного потенциала ионизации атомов ртути. Дело в том, что при достаточной большой плотности атомов и ионов потенциал ионизации уже перестаёт быть атомной константой и начинает заметно уменьшаться, что сопровождается исчезновением линий, начинающихся с высоких энергетических уровней.

Девятая глава представляет смесь совершенно разнородных вопросов. Здесь прежде всего важные данные о влиянии давления на градиент потенциала и формула для расчёта давления. Затем при помощи формулы Гвоздовера анализируются небольшие в данных условиях эффекты, связанные с влиянием положительных ионов на подвижность электронов. Очень коротко обсуждены явления на электродах, причём критически излагается точка зрения Вейцеля, Ромпе и Шёна. Автор справедливо указывает на ограниченность «минимального принципа» (минимум падения потенциала).

Совсем коротко и недостаточно изложен вопрос об абсорбции излучения в разряде. Здесь почти не использованы результаты соответствующих советских работ. Например, совсем не затронут важный вопрос об угловом распределении интенсивности излучения разряда. Заканчивается глава очень полезным разделом, посвящённым определению размеров лампы при заданных светотехнических и электротехнических параметрах.

Наконец, последняя, десятая, глава носит лаконичное название — равновесие. Эта глава имеет чисто физический характер и анализирует элементарные процессы, определяющие термодинамическое равновесие в разряде. Автор говорит, что весь предыдущий материал свидетельствует о правильности термической точки зрения и что остаются только вопросы, касающиеся деталей процессов, происходящих в разряде.

Нам кажется, что весь предыдущий материал ещё нуждается в критическом пересмотре с точки зрения однозначной необходимости термической точки зрения для его объяснения. Решающих экспериментальных фактов, однозначно и количественно подтверждающих справедливость термической точки зрения, к сожалению, пока мало. Все расчёты,

основанные на термической точке зрения; носят грубый, полуэмпирический характер. Поэтому независимое рассмотрение элементарных процессов представляется необходимым и интересным.

Прежде всего автор показывает, что при термическом равновесии основное возбуждение производится электронами, а не атомами. В этом вопросе до сих пор имеется путаница. Далее на основании данных советских работ показано, что в возбуждении атомов до высоких уровней основную роль играют ступенчатые процессы. К сожалению, вопрос об установлении равновесия рассмотрен не так убедительно. Необходимым условием равновесия является подавляющее преобладание электронных соударений над спонтанными оптическими переходами. Излучение уходит из разряда во вне и нарушает замкнутость системы.

Автор сопоставляет эти процессы и для разряда при давлении 0,88 атмосферы, принятого им за эталон, получает соотношение $2^{1/2}$. Как отмечает сам автор, эта цифра мала для установления настоящего равновесия. К этому надо добавить, что сама цифра не очень надёжна.

В разрядах при больших давлениях дело обстоит лучше. Вообще же вопрос об обоснованности термической точки зрения сохраняет свою актуальность.

В целом, несмотря на указанные недостатки, книга представляет, безусловно, интерес для специалистов в области физики газового разряда и источников света и может принести пользу, если при пользовании ею учитывать указанную выше однобокость и недостаточную критичность. Последнее особенно свойственно работникам фирменных лабораторий, к числу которых принадлежит и автор этой книги (Эленбаас руководит отделом разрядных ламп лаборатории фирмы Филипс).

Книга хорошо иллюстрирована и снабжена предметным указателем.

В. А. Фабрикант