1986 г. Март *Том 148, вып. 3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

539.196.3(049.3)

МНОГОФОТОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТОМАХ И МОЛЕКУЛАХ

Multiphoton Ionization of Atoms/Eds S. Chin, P. Lambropoulos.— N.Y.: Academic Press, 1984.— 272 p.

Multiphoton Processes/Eds P. Lambropoulos, S. Smith.—Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1984—201 p.—(Springer Series on Atoms and Plasmas. V. 2).

Первая из реферируемых книг представляет собой сборник статей обзорного характера, написанных ведущими теоретиками и экспериментаторами, вторая — сборник приглашенных докладов международной конференции по многофотонным процессам. Опубликование почти одновременно двух книг, посвященных многофотонным процессам в атомах и молекулах, хорошо отражает увеличение интереса к этим процессам, наблюдающееся в последние годы. Дело в том, что обнаружен ряд новых явлений, требующих отхода от установившихся представлений. Именно этим явлениям посвящены наиболее интересные материалы, опубликованные в реферируемых книгах.

Одно из этих явлений — надпороговое поглощение при многофотонной ионизации атомов. Впервые оно было обнаружено в Центре ядерных исследований Франции в 1979 г., а в дальнейшем широко исследовалось экспериментаторами и теоретиками во многих лабораториях различных стран. Суть явления заключается в наличии дискретного спектра энергий электронов, вылетающих из атома при прямом (в отсутствии промежуточных резонансов) процессе многофотонной ионизации атомов благородных газов. Были обнаружены электроны с энергиями $E_{\text{кин}} = (K\hbar\omega - I) + N\hbar\omega$, где I — потенциал ионизации атома, K — число фотонов, поглощение которых необходимо для выполнения закона сохранения энергии, N — целое число. Наблюдались величины N до 5, причем при увеличении N выход электронов уменьшался, но весьма слабо. Так как ионизация наблюдалась в существенно многофотонном предельном случае (при величине параметра адиабатичности $\gamma \gg 1$), то результаты этих экспериментов противоречат выводам, следующим из стандартной теории возмущений. В первом неисчезающем (K-м) приближении следует ожидать, что электроны должны иметь энергию, равную величине $(K\hbar\omega - I)$, т. е. спектр электронов должен носить моноэнергетический характер.

Вопрос о природе этого явления до сих пор широко дискутируется теоретиками; много информации по этому поводу содержится и в реферируемых книгах. Обсуждались такие эффекты, как антитормозное поглощение, свободно-свободное поглощение, взаимодействие связанного электрона с многими континуумами. Для окончательного ответа на поставленный вопрос требуются дальнейшие исследования, в том числе эксперименты с иными атомами.

Другим новым явлением, к которому привлечено широкое внимание экспериментаторов и теоретиков, является образование многозарядных ионов при нелинейной ионизации атомов. Впервые этот процесс наблюдался И. П. Запесочным и В. В. Сураном в Ужгородском университете в 1975 г., а в дальнейшем широко исследуется во многих лабораториях. Обнаружены многозарядные ионы практически всех атомов. Максимальная степень ионизации — десятикратная — наблюдалась для атома урана. При этом атом поглощал энергию более 600 эВ (что в данном конкретном случае соответствовало поглощению более 100 фотонов). Образование многозарядных ионов наблюдалось в существенно многофотонном предельном случае, при напряженности поля лазерного излучения гораздо меньшей атомной напряженности. Выход ионов уменьшается с увеличением кратности заряда, но это уменьшение весьма незначительно, лишь в несколько раз. Этот результат резко противоречит предсказаниям теории возмущений при любой модели процесса многофотонной многократной ионизации. Действительно, согласно теории возмущений, в указанных выше условиях вероятность процесса $(K + 1)$-го порядка гораздо меньше вероятности процесса K-го порядка. Между тем, все эксперименты проведены в условиях, когда для образования многозарядного иона необходимо поглощение гораздо большего числа фотонов, чем для образования однозарядного иона, т. е. порядки этих процессов существенно различаются.

В обоих рецензируемых книгах приводится много экспериментальных данных о процессе образования многозарядных ионов, обсуждаются различные модели этого процесса. Теоретическое описание этого явления на данный момент отсутствует, несмотря на его очевидный интерес. Наиболее вероятно, что в данном случае реализуется коллективное взаимодействие атомных электронов с внешним электромагнитным полем.

Много материала в обеих книгах относится к более устоявшимся направлениям — прямому и резонансному процессу одноэлектронной многофотонной ионизации атомов, многофотонным процессам в молекулах, радиационным столкновениям, эффектам, обусловленным флуктуациями поля лазерного излучения. Основная ценность этих материалов заключается в изложении новых данных и в формулировке современной точки зрения на эти вопросы.

Наконец, надо отметить один доклад, опубликованный во второй книге, посвященный очередной попытке экспериментального подтверждения общей теории нелинейной ионизации, а именно, наблюдению туннельной ионизации в переменном поле. Этот предельный случай единого процесса нелинейной ионизации (противоположный многофотонному предельному случаю) пока четко не наблюдался; в ряде работ высказывались *различные соображения в пользу того, что этот процесс вообще не может реализоваться.* В данном докладе описывается и обсуждается эксперимент, в котором наблюдался поверхностный фотоэффект, возникающий под действием поля излучения инфракрасного диапазона частот. К сожалению, этот эксперимент не дал четкого ответа на поставленный вопрос, который по-прежнему остается открытым.

Обе книги представляют очевидный интерес для широких кругов физиков-теоретиков и экспериментаторов, занимающихся исследованием многофотонных процессов, а первая книга — и для студентов и аспирантов, изучающих квантовую радиофизику.

Н. Б. Делоне