

**ОПТИЧЕСКОЕ  
И ЛАЗЕРНО-ХИМИЧЕСКОЕ  
РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ  
В АТОМАРНЫХ ПАРАХ**

П.А. Бохан  
В.В. Бучанов  
Д.Э. Закревский  
М.А. Казарян  
А.М. Прохоров  
Н.В. Фатеев



П.А. Бохан, В.В. Бучанов  
Д.Э. Закревский, М.А. Казарян  
А.М. Прохоров, Н.В. Фатеев

ОПТИЧЕСКОЕ  
И  
ЛАЗЕРНО-ХИМИЧЕСКОЕ  
РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ  
В АТОМАРНЫХ ПАРАХ

Издание второе,  
стереотипное



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2017

УДК 681.325.67

ББК 22.34

О 62

Авторский коллектив:

Бохан П. А., Бучанов В. В., Закревский Д. Э., Казарян М. А.,  
Прохоров А. М., Фатеев Н. В.

**Оптическое и лазерно-химическое разделение изотопов в атомарных парах.** — 2-е изд., стереотип. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. — 228 с. — ISBN 978-5-9221-1749-4.

В книге представлены материалы, посвященные описанию современных методов разделения изотопов, основанных на оптическом воздействии и прежде всего на многофотонных когерентных взаимодействиях и быстрых реакциях с селективно возбужденными атомами. Обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований по лазерному разделению изотопов некоторых важных с научной и практической точек зрения элементов (Pb, Zn, Rb, B, Si, Tl), которые могут быть использованы в фундаментальных исследованиях, при создании квантовых компьютеров, в микроэлектронной, атомной и биомедицинской промышленности. В книге также уделено внимание физико-техническим и химическим аспектам разделения изотопов.

Книга предназначена научным сотрудникам, инженерам, аспирантам и студентам, интересующимся данной темой.

ISBN 978-5-9221-1749-4

© ФИЗМАТЛИТ, 2010, 2017

© Коллектив авторов, 2010, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ко 2-му, стереотипному изданию . . . . .	6
Предисловие . . . . .	7
Введение . . . . .	9
<b>Глава 1. Методы лазерного разделения изотопов в атомарных парах</b> . . . . .	14
1.1. Введение . . . . .	14
1.2. Краткое описание процесса AVLIS применительно к урану . . . . .	15
1.3. Общее описание AVLIS процесса . . . . .	18
1.4. Теоретическое описание AVLIS процесса . . . . .	20
1.4.1. Теоретическое описание метода в условиях некогерентного взаимодействия излучения с атомами (21). 1.4.2. Особенности когерентного двухфотонного возбуждения (24). 1.4.3. Испарение разделяемого материала, коллимация атомарного пучка, экстракция ионов (24).	
1.5. Фотохимическое лазерное разделение изотопов в атомарных парах	27
1.6. Другие методы . . . . .	30
<b>Глава 2. Лазерная техника для разделения изотопов</b> . . . . .	32
2.1. Введение . . . . .	32
2.2. Основные требования к лазерной системе AVLIS. . . . .	33
2.3. Лазерные комплексы . . . . .	37
2.3.1. Лазеры накачки (37). 2.3.2. Перестраиваемые лазеры (41).	
2.4. Комплексы для лазерного разделения изотопов . . . . .	42
<b>Глава 3. Химические реакции атомов в возбужденных состояниях</b> . . . . .	58
3.1. Общие представления о фотохимических реакциях . . . . .	58
3.2. Общее представление об экспериментальных исследованиях фотохимических реакций атомов с молекулами . . . . .	61
3.3. Измерение квантового выхода химических реакций лазерно-возбужденных атомов $Zn(4p^3P_1^0)$ и $Rb(11P_{3/2})$ с молекулами в газовом потоке . . . . .	65
3.4. Тушение атомов $Rb(6p^2\ ^1D_2)$ в столкновениях с молекулами. . . . .	76
3.5. Столкновительное тушение возбужденных состояний атомов молекулами. . . . .	86
3.6. Резонансная передача возбуждения при столкновениях . . . . .	88
3.7. Описание столкновительных процессов с участием ридберговских атомов . . . . .	91



3.8. Описание реакций изотопного обмена . . . . .	95
3.9. Реакции радикалов при столкновениях . . . . .	97
<b>Глава 4. Однофотонное изотопно-селективное возбуждение атомов</b> . . . . .	99
4.1. Описание метода . . . . .	99
4.2. Математическая модель метода . . . . .	101
4.3. Результаты расчетов по изотопно-селективному возбуждению атомов цинка. . . . .	106
4.3.1. Поперечная прокачка газа (107). 4.3.2. Продольная прокачка газа (110).	
4.4. Зависимость выходных параметров от отстройки частоты излучения	112
4.5. Влияние контура линии излучения на выходные характеристики разделительного процесса . . . . .	114
4.6. Эксперименты по лазерному разделению атомов цинка фотохимическим способом . . . . .	118
4.7. Эксперименты по лазерному разделению атомов рублидия фотохимическим способом . . . . .	124
4.8. Получение ртути фотохимическим методом . . . . .	129
<b>Глава 5. Когерентное изотопно-селективное двухфотонное возбуждение атомов</b> . . . . .	133
5.1. Краткое описание двухфотонного возбуждения и его математическая модель . . . . .	133
5.2. Двухфотонное возбуждение атомов свинца . . . . .	135
5.3. Двухфотонное возбуждение атомов бора и кремния. . . . .	138
5.4. Фотохимическое разделение изотопов цинка с использованием двухфотонного возбуждения . . . . .	143
5.4.1. Описание метода (143). 5.4.2. Поляризации излучений (146). 5.4.3. Математическая модель каскадной суперлюминесценции (148). 5.4.4. Результаты расчетов (152). 5.4.5. Экспериментальные результаты (154).	
5.5. Особенности разделения изотопов цинка при испарении материала со стенок камеры. . . . .	157
5.5.1. Постановка задачи (157). 5.5.2. Физический анализ (161). 5.5.3. Результаты численных расчетов и их анализ (167). 5.5.4. Влияние диффузионных процессов на селективность процесса разделения изотопов (170).	
<b>Глава 6. Применение AVLIS метода для мелкомасштабного производства изотопов</b> . . . . .	173
6.1. Введение . . . . .	173
6.2. Разделение изотопов таллия . . . . .	174
6.3. Разделение изотопов палладия . . . . .	180
6.4. Разделение изотопов иттербия . . . . .	183
6.5. Разделение изотопов неодима. . . . .	185

---

<b>Глава 7. Перспективные области применения изотопной продукции, полученной методами лазерного разделения в атомарных парах</b> . . . . .	188
7.1. Свинец . . . . .	195
7.2. Кремний . . . . .	203
7.3. Бор . . . . .	208
7.4. Цинк . . . . .	214
Список литературы . . . . .	215