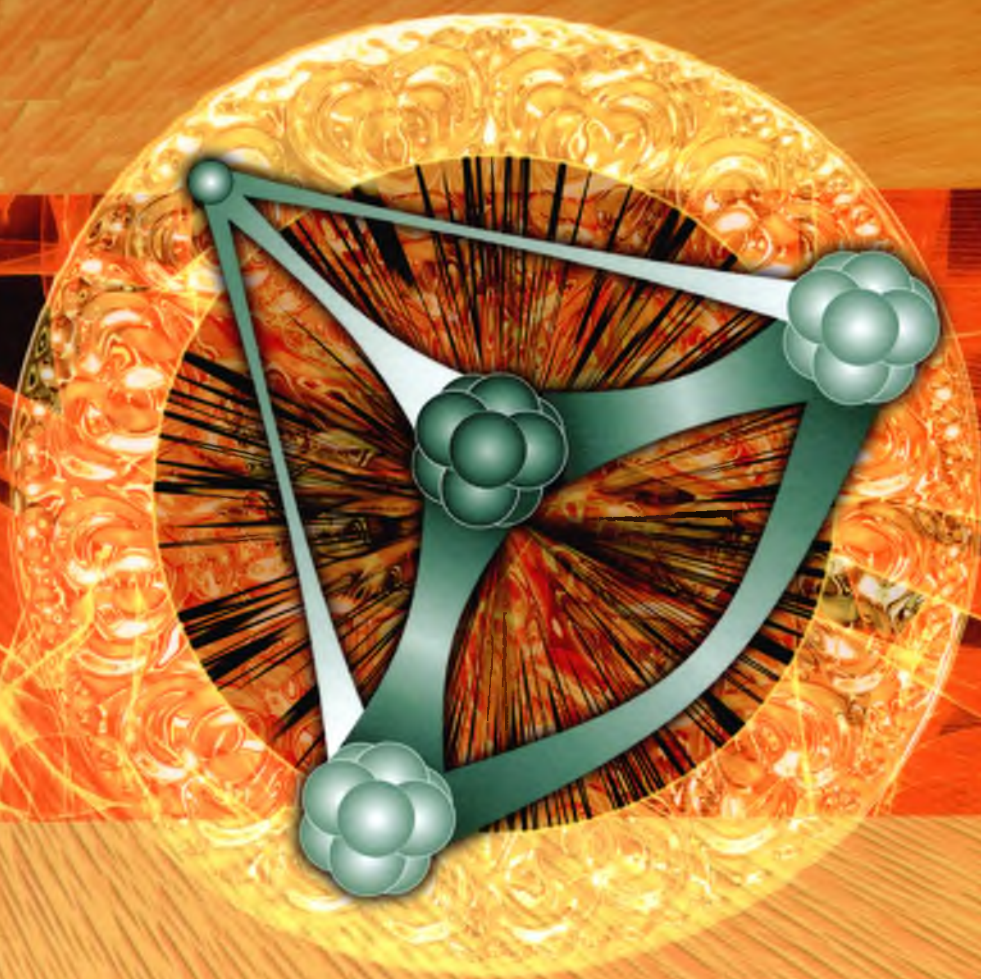


УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

В. Е. Борисенко, А. Л. Данилюк, Д. Б. Мигас

# СПИНТРОНИКА



ЛАБОРАТОРИЯ

ПИЛОТ

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

|   |            |
|---|------------|
| Об авторах .....  | 5          |
| Введение .....  | 7          |
| <b>Глава 1. Спин электронов, ядер и атомов .....</b>  | <b>10</b>  |
| 1.1. Спин квантовых частиц .....  | 10         |
| 1.2. Разрешенные энергетические состояния электронов в твердом теле .....                                     | 14         |
| 1.3. Обменное взаимодействие .....  | 17         |
| 1.4. Спин-орбитальное взаимодействие .....  | 22         |
| 1.5. Электронно-ядерное спиновое взаимодействие .....   | 26         |
| 1.6. Взаимосвязь между спиновыми взаимодействиями и магнитными свойствами твердых тел .....                   | 29         |
| <b>Глава 2. Магнитные и спиновые свойства объемных материалов, тонких пленок и наноразмерных частиц .....</b> | <b>37</b>  |
| 2.1. Классификация материалов по их магнитным свойствам .....   | 37         |
| 2.2. Параметры, характеризующие магнитные и спиновые свойства материалов .....                                | 44         |
| 2.3. Магнитные проводящие материалы .....   | 48         |
| 2.4. Магнитные полупроводники .....   | 50         |
| 2.5. Диэлектрики .....  | 55         |
| 2.6. Тонкие пленки магнитных материалов .....   | 58         |
| 2.7. Наноразмерные частицы из магнитных материалов .....  | 62         |
| <b>Глава 3. Спиновые эффекты в твердотельных структурах .....</b>   | <b>70</b>  |
| 3.1. Гигантское магнитосопротивление .....  | 70         |
| 3.2. Туннельное магнитосопротивление .....  | 76         |
| 3.3. Передача спинового момента от свободных носителей заряда магнитным атомам .....                          | 83         |
| 3.4. Спиновый эффект Холла .....  | 86         |
| 3.5. Тепловые спиновые эффекты .....  | 90         |
| 3.6. Эффект Кондо .....   | 97         |
| <b>Глава 4. Инжекция спин-поляризованных носителей заряда в твердотельные структуры .....</b>                 | <b>102</b> |
| 4.1. Инжекция через невыпрямляющий контакт .....  | 103        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.2. Туннелирование через потенциальный барьер . . . . .   | 109        |
| 4.3. Спиновая фильтрация носителей заряда с использованием низкоразмерных структур . . . . .   | 113        |
| <b>Глава 5. Перенос спин-поляризованных носителей заряда в полупроводниках . . . . .</b>   | <b>116</b> |
| 5.1. Изменение ориентации спина электронов по механизму Эллиотта–Яфета . . . . .   | 117        |
| 5.2. Изменение ориентации спина электронов по механизму Дьяконова–Переля . . . . .   | 122        |
| 5.3. Изменение ориентации спина электронов по механизму Бира–Аронова–Пикуса . . . . .  | 124        |
| 5.4. Изменение ориентации спина электронов в результате их сверхтонкого взаимодействия с ядрами атомов . . . . .                     | 127        |
| 5.5. Эффективность проявления механизмов релаксации спина электронов в полупроводниках . . . . .                                     | 133        |
| 5.6. Особенности релаксации спина электронов в низкоразмерных структурах . . . . .   | 138        |
| <b>Глава 6. Определение спиновых характеристик свободных носителей заряда в твердотельных структурах . . . . .</b>                   | <b>143</b> |
| 6.1. Оптические методы . . . . .   | 143        |
| 6.2. Электрические методы . . . . .  | 156        |
| <b>Глава 7. Элементы обработки информации на спиновых эффектах . . . . .</b>   | <b>163</b> |
| 7.1. Датчики магнитных полей . . . . .   | 163        |
| 7.2. Считывающая магнитная головка на эффекте гигантского магнитосопротивления . . . . .   | 168        |
| 7.3. Спиновые транзисторы . . . . .  | 169        |
| 7.4. Энергонезависимая память на эффекте гигантского магнитосопротивления . . . . .  | 179        |
| 7.5. Энергонезависимая память на основе спин-зависимого туннелирования . . . . .   | 181        |
| 7.6. Спиновая логика . . . . .   | 188        |
| <b>Глава 8. Квантовая обработка информации с использованием спинов ядер атомов и электронов в твердотельных структурах . . . . .</b> | <b>193</b> |
| 8.1. Основы квантовой обработки информации . . . . .   | 194        |
| 8.2. Квантовый бит информации . . . . .  | 195        |
| 8.3. Квантовый компьютер . . . . .   | 201        |
| 8.4. Материалы элементов для квантовой обработки информации на спинах электронов и ядер атомов . . . . .                             | 204        |
| 8.5. Элементы для квантовой обработки информации на спинах ядер атомов . . . . .   | 210        |
| 8.6. Элементы для квантовой обработки информации на спинах электронов в квантовых точках . . . . .                                   | 216        |
| <b>Рекомендуемая литература . . . . .</b>  | <b>223</b> |
| <b>Обозначения и величины наиболее часто встречающихся фундаментальных констант . . . . .</b>  | <b>224</b> |
| <b>Предметный указатель . . . . .</b>  | <b>225</b> |