

Спектроскопия спиновых шумов (Государственная премия Российской Федерации в области науки и технологий за 2020 год)

Редакция журнала „Оптика и спектроскопия“ поздравляет Евгения Борисовича Александрова, многолетнего Главного редактора журнала, и Валерия Сергеевича Запаского, члена редколлегии журнала, с присуждением им Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий 2020 г. за создание и развитие нового научного направления — спектроскопии спиновых шумов. Особенно приятно то, что именно в нашем журнале еще в 1976 г. лауреатами было опубликовано сообщение о создании поляриметра, обладающего беспрецедентной чувствительностью, без которого спектроскопия спиновых шумов не могла бы появиться. Краткое изложение сути нового научного направления, созданного в 1981 г. и начавшего бурно развиваться в последнее десятилетие, приведено ниже.

Е. Б. Александровым и В. С. Запаским было создано новое научное направление — спектроскопия спиновых шумов, представляющее собой совершенно новый подход к спектроскопии, в первую очередь к радиочастотной. Как известно, в радиочастотной области спектра наблюдение переходов между энергетическими состояниями затруднено ввиду практически отсутствия исходной разности населённостей между ними. Поэтому все методы классической радиоспектроскопии подразумевают создание разности населенности искусственным путем (например, посредством оптической накачки), либо за счёт применения сверхнизких температур и сверхсильных магнитных полей. Кроме того, поскольку вероятность спонтанного испускания в радиочастотной области спектра пренебрежимо мала, радиоспектроскопия требует использования внешнего резонансного электромагнитного поля для возбуждения вынужденных переходов. Таким образом, все классические методы радиочастотной (как и многие методы оптической) спектроскопии требуют сильного внешнего воздействия на атомную или молекулярную систему, что неизбежно приводит к ее возмущению.

Авторы метода спектроскопии спиновых шумов предложили отказаться от ключевых принципов радиоспектроскопии, подразумевающих возмущение системы внешним электромагнитным полем. Идея предложенного ими подхода состояла в наблюдении за естественными флуктуациями населенностей уровней среды, не подверженной никакому возмущающему воздействию [1]. Техника эксперимента при этом существенно упрощается — исследуемый объект не нужно замораживать, поляризовать, помещать в сильное поле; традиционный радиоспектрограф, привязанный к определённой частоте резонанса, заменяется обычным лазером непрерывного действия, облучающим образец на резонансных частотах. Свет, прошедший через образец и содержащий шумы в радиочастотном диапазоне, анализируется поляриметром [2–4], после чего подвергается фурье-анализу. Предложенная методика характеризуется дополнительным преимуществом — регистрация сигнала в широком спектре с последующим его анализом позволяет существенно сократить время измерения по сравнению с традиционными методами сканирования частоты или магнитного поля.

Основы метода спектроскопии спиновых шумов были заложены работой [4]. Для измерений был развит метод лазерной поляриметрии [2,3], позволивший реализовать предельную, ограниченную квантовыми шумами чувствительность. В результате впервые был зарегистрирован (с отношением шумового сигнала к шумовому фону 100:1) магнитный резонанс в шумах фарадеевского вращения.

Метод спектроскопии спиновых шумов получил дальнейшее развитие в работах по регистрации магнитного резонанса в спектре шумов фарадеевского вращения [5], по лазерной поляриметрии предельной чувствительности [6] и по спектроскопии флуктуаций интенсивности [7]. Помимо чисто фундаментального значения (в частности, как иллюстрация флуктуационно-диссипативной теоремы), новый метод также получил широкое практическое применение, в первую очередь — в приложении к полупроводниковым структурам [7–10]. Такие особенности нового метода, как отсутствие возмущений исследуемого объекта, высокая чувствительность и способность детектировать корреляционные характеристики спинового движения, обусловили широкое применение для решения задач современной спинтроники.

В настоящее время работы по лазерной спектроскопии спиновых шумов ведутся во многих странах мира (в США, Германии, Франции, Японии и других). На основе предложенного метода развита новая техника трехмерной томографии, реализован способ прямой регистрации процесса ядерной спиновой релаксации в полупроводниках, разработан метод оптической спектроскопии высокого разрешения. Все эти достижения свидетельствуют о существенном вкладе спектроскопии спиновых шумов в экспериментальные методы современной физики. Авторы также приложили усилия к популяризации как данного метода, так и оптики спина вообще — в 2009 г. ими была издана научно-популярная книга „О фотонах и спинах“ [11].

Список литературы

- [1] Александров Е.Б., Козлов В.П., Кулясов В.Н. // ЖЭТФ. 1974. Т. 66. № 4. С. 1269–1282.
- [2] Aleksandrov E.B., Zapasskii V.S. // Opt. Spectrosc. 1976. V. 41. P. 855–858.
- [3] Zapasskii V.S. // Opt. Spektrosk. 1979. V. 47. P. 810–812.
- [4] Александров Е.Б., Запасский В.С. // ЖЭТФ. 1981. Т. 81. В. 1(7). С. 132–138.
- [5] Александров Е.Б., Запасский В.С. // УФН. 1987. Т. 153. В. 2. С. 363–364.
- [6] Запасский В.С. // ЖПС. 1982. Т. 37. В. 2. С. 184–196.
- [7] Александров Е.Б., Голубев Ю.М., Ломакин А.В., Носкин В.А. // УФН. 1983. Т. 140. С. 5474–582.
- [8] Zapasskii V.S., Kozlov G.G. // Opt. Express. 2001. V. 8. N 9. С. 509–516.
- [9] Zapasskii V.S., Greulich A., Crooker S.A., Yan Li, Kozlov G.G., Yakovlev D.R., Reuter D., Wieck A.D., Bayer M. // Phys. Rev. Lett. 2013. V. 110. С. 176601.
- [10] Zapasskii V.S. // Advances in Optics and Photonics. 2013. V. 5. С. 131–168.
- [11] Александров Е.Б., Запасский В.С. О фотонах и спинах. СПб.: СПбГУ, 2009. 254 с.