



одной из диагоналей во втором базисе. Базисы для подготовки и считывания каждого фотона выбираются каждый раз случайным образом, и лишь если они совпадут, информация считается переданной. Такой способ передачи данных в идеальной реализации защищен от атак злоумышленников — любое вмешательство в систему (измерение, например) необратимо изменит свойства фотона и будет обнаружено. Информация, переданная таким способом, будет в дальнейшем использоваться в роли ключа для шифрования данных, передаваемых в открытом канале.

В поляризации фотона можно записать лишь один бит информации — она несет либо «единицу», либо «ноль». Существуют техники, которые позволяют увеличить этот объем. Так, гораздо больше информации можно записать в форме волнового фронта фотона. Для этого используются пространственные модуляторы света (SLM). Эти устройства представляют собой сетки из ячеек, каждая из которых кодирует определенный символ. Если в сетке находится  $8 \times 8$  ячеек, то она теоретически способна записать в фотон  $\log_2(8 \times 8)$  — 6 бит информации. Считать этот фотон можно с помощью массива однофотонных детекторов  $8 \times 8$ . На практике объем записываемой информации обычно меньше.

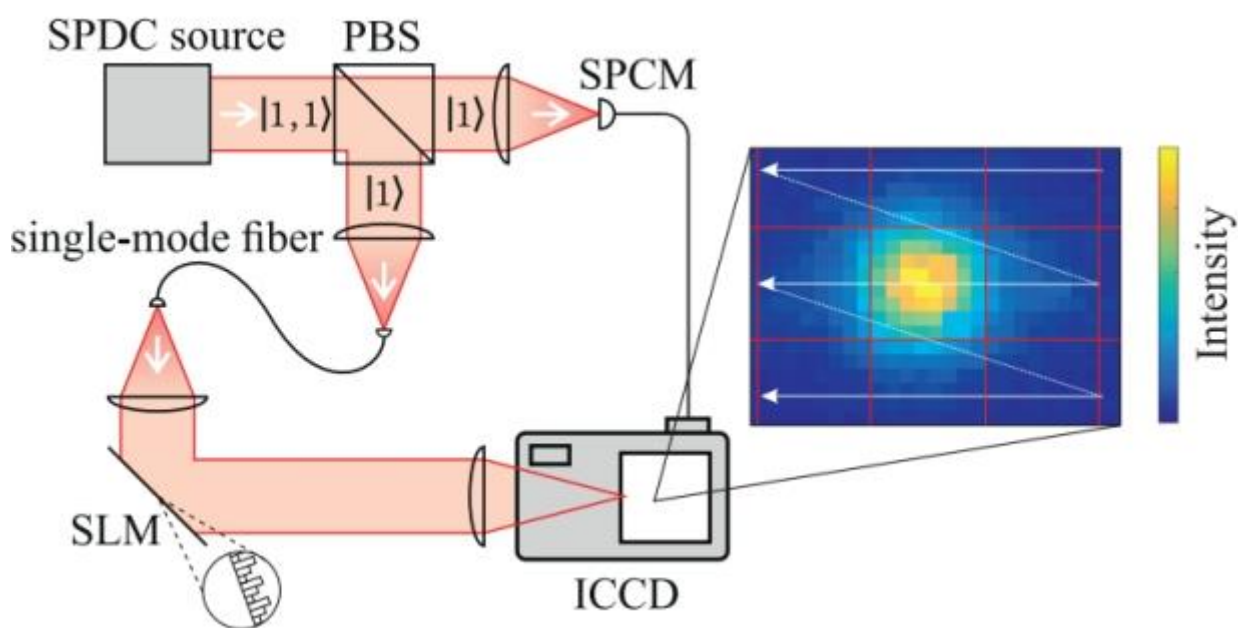


Схема эксперимента: SPDC — кристалл, в котором происходит спонтанное параметрическое рассеяние, SLM — пространственный модулятор света  
*T. B. H. Tentrup et al. / arXiv.org, 2016*

В новой работе авторы использовали для подготовки фотона SLM, состоявший из 9072 ячеек ( $112 \times 81$ ). В идеальном случае ее было бы достаточно для того, чтобы закодировать в волновом фронте фотона более 13 бит информации. Подобная система очень чувствительна к

шумам от внешних фотонов, поэтому в эксперименте использовалась следующая система.

С помощью спонтанного параметрического рассеяния из фотона 395-нанометрового лазера физики получали запутанную пару фотонов с длиной волны 790 нанометров. Один из них играл роль «вестника», включавшего массив однофотонных детекторов. Второй фотон попадал на модулятор, перенаправлявший его на один из пикселей детектора. Благодаря фотону-«вестнику» исследователи избегали фиксации посторонних фотонов.

Даже несмотря на это, детектор все равно обладал ненулевым уровнем шумов, который приводил к потере информации. Для того чтобы сделать сигнал более выраженным, ученые понизили разрешение принимающего детектора, объединив несколько однофотонных детекторов в пиксель. В результате авторы добились кодирования 10,5 бит информации в одиночном фотоне.

Из-за неидеальности системы, с точки зрения практического использования емкость полученного канала передачи данных составляет лишь 0,1 бита в фотоне. Это связано с тем, что фотоны теряются в оптических узлах устройства. По словам физиков, эти потери можно устранить. Также авторы отмечают, что полученные результаты можно напрямую применять в современных системах для передачи данных.

Интересно, что именно благодаря использованию SLM американским ученым удалось впервые реализовать на практике систему абсолютно стойкого квантового шифрования. В ее основе лежал тот факт, что в одном фотоне можно записать шесть бит информации — 2,3 бита секретного ключа, 1 бит информации и 2,7 бита избыточной информации для того, чтобы понять, правильно ли расшифровано сообщение. Эта система позволяла передавать ключ для расшифровки сообщений одновременно с самими сообщениями, что невозможно в традиционных методах абсолютно стойкого шифрования.

*Владимир Королёв*