



# ФИЗИКА – НАУКАМ О ЖИЗНИ

Четвёртая  
международная  
конференция  
со школой  
молодых учёных

**11–14 октября 2021**

ТЕЗИСЫ  
ДОКЛАДОВ

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе  
Санкт-Петербург, 2021

## Квантовые оптические датчики для магнитоэнцефалографии головного мозга

А.К. Вершовский

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая, 26

эл. почта: [antver@mail.ioffe.ru](mailto:antver@mail.ioffe.ru)

Магнитоэнцефалография (МЭГ) - это быстро развивающаяся технология регистрации активности мозга, характеризующаяся высоким временным разрешением и позволяющая изучать быстрые нейронные процессы без нарушения целостности тканей. Сверхчувствительные датчики МЭГ способны регистрировать магнитные поля, создаваемые токами, распространяющимися по дендритам нейронов коры головного мозга, и характеризующиеся величинами от единиц до сотен фемтотесла на частотах от единиц до сотен герц. Методы МЭГ сочетают высокое временное и пространственное разрешение, и предоставляют уникальную возможность локализации нейронной активности в объеме мозга, недоступную при использовании электроэнцефалографических методов.

На протяжении десятилетий в задачах МЭГ использовались охлаждаемые жидким гелием квантовые сверхпроводящие интерференционные устройства СКВИД, собранные в массивы из десятков и даже сотен датчиков [1]. Несмотря на высокую чувствительность и компактность самих датчиков, этим системам присущи ограничения: необходимость размещения датчиков СКВИД в общем сосуде Дьюара исключает возможность адаптации формы массива к анатомическим особенностям объекта и приводит к потере отношения сигнал/шум и пространственного разрешения, а стационарность и предельная дороговизна этих систем является непреодолимым препятствием к их широкому применению.

Альтернативой датчикам СКВИД является квантовый магнитометр с оптической накачкой (КМОН), основанный на оптически детектируемом магнитном резонансе в атомах щелочных металлов (K, Rb или Cs) в газовой фазе. Рекордную чувствительность среди КМОН на уровне десятых долей фемтотесла в полосе один герц демонстрируют относительно недавно изобретенные магнитометры SERF, работающие в режиме подавления спин-обменного уширения линии магнитного резонанса в нулевом магнитном поле [2]. Чувствительный элемент такого датчика – ячейка с металлом в газообразной фазе – может иметь объем менее  $1 \text{ см}^3$ , что позволяет размещать датчики в непосредственной близости от объекта. К сожалению, необходимую для полноценных МЭГ систем на датчиках SERF пространственную однородность магнитного поля можно обеспечить только в специальных магнитоэкранированных комнатах, которым присущи те же недостатки – стационарность и дороговизна.

В представленном докладе рассматривается одна из наиболее актуальных задач современной магнитометрии – создание датчика КМОН, по габаритам и чувствительности приближающегося к датчикам нулевого поля SERF, но при этом способного функционировать в ненулевых магнитных полях. Рассмотрена возможность создания КМОН систем, быстрого действия и динамический диапазон которых позволят объединить возможности МЭГ с возможностями ядерной магнитной томографии сверхслабого поля (МРТ ССП) [3]. Дан обзор текущего состояния разработки высокочувствительных датчиков КМОН ненулевого поля, предназначенных для систем МЭГ [4] и МРТ ССП; проводится их сравнение с датчиками SERF; рассматриваются перспективы их развития.

### Литература

- [1] M. S. Hamalainen and R. J. Ilmoniemi. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 1994. 32 [1]. 35–42.
- [2] J. C. Allred et al. *Physical Review Letters*, 2002. 89[13]:130801
- [4] L. Parkkonen et al., in *Magnetoencephalography*, ed. by S. Supek (Springer-Verlag, Berlin 2014), 941–972.
- [3] M.V. Petrenko, S.P. Dmitriev, A.S. Pazgalev, A.E. Ossadtchi, and A.K. Vershovskii. *TechRxiv*, 2021. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.14356262.v1>.