

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



90
РОКІВ

ХАРКІВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ
УНІВЕРСИТЕТУ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

1930-2020

МАТЕРІАЛИ

XXIV МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

**РАДІОЕЛЕКТРОНІКА
ТА МОЛОДЬ
У ХХІ СТОЛІТТІ**



Том 1

Харків 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ
XXIV МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

**«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ
У XXI СТОЛІТТІ»**

7 – 9 квітня 2020 р.

Том 1

**КОНФЕРЕНЦІЯ
«ЕЛЕКТРОННА, ЛАЗЕРНА
ТА БІОТЕХНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ»**

Харків 2020

**О ПРИМЕНЕНИИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО
КВАНТОВОГО МАГНИТОМЕТРА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

Бондаренко И.С., Бондаренко С.И.

Научный руководитель - д.т.н., проф. Аврунин О.Г.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, Украина, пр.Науки14, каф.Биомедицинской инженерии
тел. (057) 702-13-64)

e-mail: igor.bondarenko@nure.ua

The possibility of using a superconducting quantum magnetometer for measuring the concentration of magnetic nanoparticles in a model sample of a biological substance is analyzed. The main relation linking a magnitude of the excited alternating magnetic flux measured by the magnetometer with the parameters of magnetic nanoparticles, ultrasound, biological substance, and a measuring device has been obtained. It has been shown that using superconducting magnetometer allows to register magnetic nanoparticles with any concentration used in medicine.

Введение. Существует задача обнаружения в биологической среде(БС) магнитных наночастиц (МНЧ). Это касается биогенного магнетита и магнетита, используемого для адресной доставки лекарств в патологическую область организма. В работе предлагается усовершенствовать ранее предложенный нами и альтернативный методу МРТ акусто-магнитный метод (АММ) измерения концентрации МНЧ(1) путем использования в качестве магнитного детектора сверхпроводящего квантового магнитометра(СКМ).

Цель работы. Целью работы является получение расчетного соотношения, связывающего величину возбуждаемого переменного магнитного потока МНЧ, измеряемого СКМ, с параметрами магнитных наночастиц, ультразвука, биологического вещества и измерительного устройства, а также оценка минимально обнаруживаемой концентрации МНЧ с помощью усовершенствованного АММ (УАММ).

Суть работы. Предлагаемый метод основан на возбуждении с помощью ультразвукового излучения (УЗИ) колебаний МНЧ в целевой области, находящейся в слабом внешнем постоянном магнитном поле с индукцией B_0 . Колебания ансамбля поляризованных МНЧ вызывают появление в окружающем пространстве переменного магнитного потока (Φ_a). Поток измеряется магнитным детектором и пропорционален концентрации МНЧ в исследуемой области. В качестве детектора используется СКМ, обладающий наивысшей чувствительностью среди известных типов магнитометров. На Рис.1 показана схема модельной экспериментальной установки. МНЧ входят в состав модельного коллоидного раствора, расположенного в сосуде с диаметром d и высотой h .

Диаметр апертуры источника УЗИ близок к диаметру d . Поле B_0 создается катушками Гельмгольца и направлено перпендикулярно оси емкости.

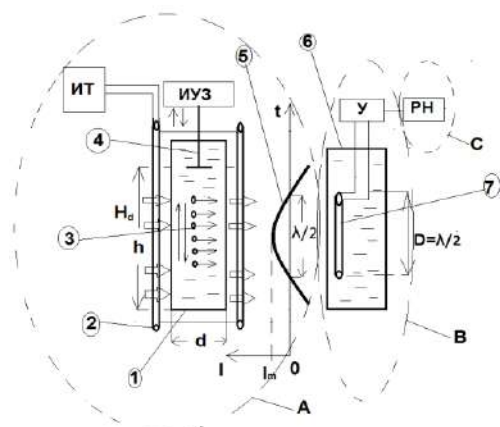


Рис.1.

1. Емкость с коллоидным раствором с МНЧ
 2. Катушки Гельмгольца
 3. Магнитные наночастицы
 4. Звукопровод
 5. Распределение интенсивности ультразвука вдоль емкости с МНЧ
 6. Криостат с жидким гелием
 7. Приемная катушка (детектор) сверхпроводящего квантового магнитометра
- ИТ – источник постоянного тока; У – усилитель
ИУЗ – источник ультразвука; PH – регистратор напряжения

В результате расчетов процессов, происходящих в устройстве на рис.1, получена формула для Φ_a :

$$\Phi_a \approx [\mu_0 J_0 c^{1,5} d^2 (2 I)^{0,5} / (32\pi^2 \rho^{0,5} R^3)] (k / f^3) \quad (1)$$

где μ_0 - магнитная постоянная, J_0 -удельная намагниченность одной МНЧ, c - скорость звука в растворе, I -интенсивность УЗИ, ρ -плотность раствора, R - расстояние между сосудом с МНЧ и детектором СКМ. Формула позволяет определять объемную концентрацию (k) МНЧ в заданной области модельного раствора в зависимости от известных параметров экспериментальной установки и раствора. Есть сильная зависимость величины потока Φ_a от частоты (f) УЗИ и R . Эта же зависимость возможна при натуральных измерениях магнитного потока, создаваемого МНЧ в живом организме при использовании УАММ. Чувствительность СКМ может достигать 10^{-20} Вб. Этому значению соответствует минимальное значение концентрации (k_{min}) МНЧ, измеряемое с помощью СКМ согласно формуле. Например, при $I=10^3$ Вт/м², $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м, $J_0=4,7 \times 10^5$ А/м, $c=1500$ м/с, $d=0,015$ м, $\rho=10^3$ кг/м³, $R=0,1$ м, $f=2 \times 10^4$ Гц, минимальная концентрация $k_{min} = 10^{-8}$ (10^{-6} %). Это означает что с помощью данного метода можно определять любые концентрации МНЧ, используемые в медицине.

Выводы. Выполнен анализ возможности использования СКМ для измерения переменного магнитного потока, возбуждаемого МНЧ, находящимися под совместном воздействием постоянного магнитного поля и УЗИ в растворе, имитирующем БС. Получено соотношение, связывающее величину измеряемого переменного магнитного потока с параметрами МНЧ, УЗИ, БС и измерительного устройства.

Список литературы:

1. Bondarenko I.S. Acoustomagnetic Registration of Magnetic Nanoparticles in a Liquid Medium / I.S. Bondarenko, O.G. Avrunin, M.V. Rakhimova, S.I. Bondarenko, A.V. Krevsun, S.M. Kulish. // Telecommunications and Radio Engineering - 2019, vol. 78 (8). - P. 707-714.