

УДК 53.097

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БАКТЕРИИ И ВИРУСЫ

© 2020 г. Академик РАН Ю. В. Гуляев<sup>1,\*</sup>, И. В. Таранов<sup>1,\*\*</sup>,  
член-корреспондент РАН В. А. Черепенин<sup>1,\*\*\*</sup>

Поступило 12.05.2020 г.  
После доработки 12.05.2020 г.  
Принято к публикации 18.05.2020 г.

Обсуждается гипотеза о возможности использования сильных электромагнитных импульсов для эффективного воздействия на бактерии и вирусы. Анализируется простая модель коронавируса, позволяющая в квазистатическом приближении получить оценки напряженности электрического поля.

*Ключевые слова:* импульс электромагнитного поля, воздействие на вирусы, пондермоторные силы

**DOI:** 10.31857/S2686740020040069

Проблема воздействия электромагнитных волн на биологические среды или объекты имеет сравнительно давнюю историю. Применительно к медицинским аспектам изучались различные методы диагностики, физиотерапии, определения допустимых доз облучения при работе с излучающими приборами, используемыми для связи, радиолокации и в других применениях. В последние годы появились работы по воздействию микроволн на бактерии и вирусы. Так, в работе [1] предлагается механизм резонансного воздействия на вирусы, основанный на трансформации электромагнитных колебаний в акустические. В настоящем сообщении речь идет о нетепловом воздействии на биообъекты мощных электромагнитных импульсов, характерные частоты которых лежат в микроволновом, а длительность в наносекундном диапазоне. Такие импульсы использовались при извлечении благородных металлов из упорных руд [2], для раскрытия везикул в решении проблемы адресной доставки лекарств [3, 4], воздействия на мембрану клетки [5] и в некоторых других приложениях. Физическая идея этих исследований, в отличие от их реализации, достаточно проста.

При воздействии импульса с большой напряженностью поля  $E$  на среду с электрофизическими неоднородностями на границах раздела возникают заряды, которые провоцируют различ-

ные, достаточно сложные физические явления — микропробои, механические деформации и расщепления под действием пондермоторных сил и другие процессы, приводящие к модификации среды. В частности, при воздействии на биологические объекты с размерами  $0.1–1$  мкм, характерные для вирусов и бактерий, возможно их разрушение. Следует отметить, что эффективность воздействия зависит от формы биообъекта, в частности, вирус COVID-19 имеет характерные нановыступы [6–9], способствующие проникновению в клетку организма. Как известно, напряженность поля вблизи микро- или нанострий увеличивается, что должно приводить к их повреждению при более низком значении напряженности внешнего поля.

Приведем некоторые оценки для достаточно простой модели, демонстрирующей пондермоторное воздействие. В качестве модели шиповидных отростков, содержащих рецептор-связывающие белки и образующих “солнечную корону” вируса, выберем диэлектрический эллипсоид. Рассмотрим задачу о возникновении вращающего момента  $N$  пондермоторных сил, приложенного к сферически асимметричному диэлектрическому объекту с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_c$ , окруженному диэлектрической средой с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_m$ , при воздействии на него внешнего электрического поля  $E_0$ . Рассматриваемое сферически асимметричное (вытянутое) диэлектрическое тело может моделировать поведение шиповидного элемента “короны” вируса, обусловленное внешним электрическим воздействием. В качестве окружающей среды может быть рас-

<sup>1</sup> Институт радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова Российской академии наук,  
Москва, Россия

\*E-mail: gulyaev@cplire.ru

\*\*E-mail: ivt@cplire.ru

\*\*\*E-mail: cherep@cplire.ru

смотрен воздух (в этом случае  $\epsilon_m = 1$ ) либо иная слабо проводящая среда. Будем для простоты считать, что форма шиповидного отростка вируса имеет форму вытянутого эллипсоида с главными полуосями  $a > b \geq c$  (рис. 1).

В рассматриваемом случае возникает вращающий момент  $N$ , приложенный к вытянутому эллипсоидальному телу, стремящийся (в случае  $a > b \geq c$ ) развернуть большую главную полуось по направлению электрического поля  $E_0$ :

$$N = \frac{VE_0^2}{8\pi} \frac{(\epsilon_c - \epsilon_m)^2 (1 - 3n(a, b, c))}{(\epsilon_m + \epsilon_c + (\epsilon_c - \epsilon_m)n(a, b, c))(\epsilon_m + (\epsilon_c - \epsilon_m)n(a, b, c))} \sin 2\vartheta, \quad (1)$$

где  $\vartheta$  – угол между  $E_0$  и наибольшей полуосью эллипсоида,  $V$  – объем эллипсоида,  $n(a, b, c)$  – коэффициент деполяризации

$$n(a, b, c) = \frac{3V}{8\pi} \int_0^\infty \frac{d\xi}{(\xi + a^2)\sqrt{(\xi + a^2)(\xi + b^2)(\xi + c^2)}}, \quad (2)$$

который в случае эллипсоида вращения ( $a > b = c$ ) может быть представлен в элементарных функциях:

$$n = \frac{1 - e^2}{e^2} \left( \frac{1}{2e} \ln \frac{1 + e}{1 - e} - 1 \right),$$

где  $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$  – эксцентриситет эллипсоида вра-

щения ( $n = \frac{1}{3}$  для сферы и  $n \ll 1$  для сильно вытянутого тела  $b \ll a$ ).

В случае, когда величина вращающего момента сил (1) оказывается сравнимой с энергией химических связей  $\epsilon_0$  ( $\epsilon_0 \approx 1$  эВ)

$$N^{cr} = \epsilon_0, \quad (3)$$

можно ожидать разрушающего воздействия вращающегося эллиптического объекта на связи с ближайшими структурными элементами вируса. Условие (3) определяет критическое значение напряженности электрического поля:

$$E_0^{(cr)} = 2 \left[ \frac{2\pi\epsilon_0 (\epsilon_m + \epsilon_c + (\epsilon_c - \epsilon_m)n(a, b, c)) (\epsilon_m + (\epsilon_c - \epsilon_m)n(a, b, c))}{V (\epsilon_c - \epsilon_m)^2 (1 - 3n(a, b, c))} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

при котором величина вращающего момента становится достаточной для разрушающего действия шиповидных отростков. Для характерных значений параметров рассматриваемой задачи  $\epsilon_m = 1$  (воздух),  $\epsilon_c = 3$ ,  $\epsilon_0 = 1$  эВ, наибольший размер эллипсоида 40 нм,  $\frac{a}{b} = 0.5$ , величина критического поля принимает значение

$$E_0^{(cr)} = 450 \text{ кВ/см}. \quad (5)$$

Из приведенной оценки ясно, что подобное, на первый взгляд, довольно высокое для биологических объектов значение напряженности электрического поля является, скорее, оценкой сверху из-за предположения о гладкости объекта. Однако даже при его реализации оно не окажет заметного воздействия на более однородные клеточные структуры биологических объектов в случае ультракороткого воздействия с длительностью импульса порядка  $10^{-9}$  с, так как электрическая прочность сред существенно увеличивается при укорочении длительности импульса [10].

Электрофизические свойства биологических систем, в особенности вирусов, как правило, неизвестны. Критериальные параметры для оптималь-

ной напряженности электрической компоненты поля, длительности импульсов и частоту их следования необходимо подбирать экспериментально.

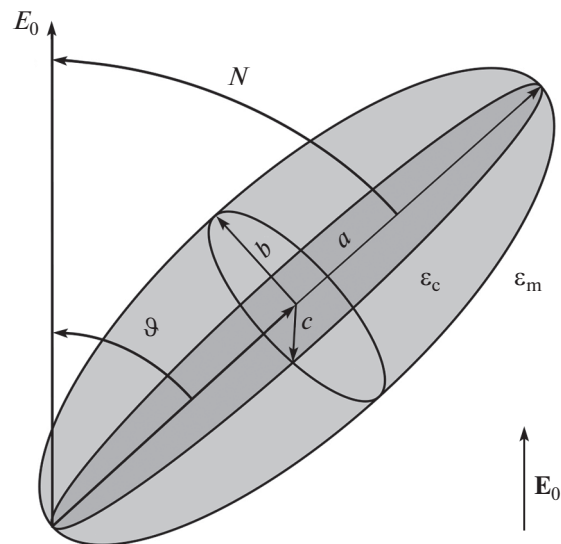


Рис. 1. Вращающий момент, приложенный к эллипсоидальному телу.

Пример нынешней пандемии COVID-19 показывает необходимость не только химических, но и физических методов стерилизации. Предлагаемый электромагнитный метод выгодно отличается от других способов простотой и отсутствием долговременных побочных эффектов.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А19-119041590070-1) и частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 18–29–02094).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ming Liu, Jen-Tang Lu, Wan-Ting Hung, Yu-Ru Huang, Yi-Chun Tsai, Chuan-Liang Kao, Shih-Yuan Chen, Chi-Kuang Sun.* Efficient Structure Resonance Energy Transfer from Microwaves to Confined Acoustic Vibrations in Viruses. *Scientific Reports*. 09 December 2015.
2. *Чантурия В.А., Гуляев Ю.В., Черепенин В.А., Лушин В.Д., Бунин И.Ж., Вдовин В.А., Корженевский А.В.* Вскрытие упорных золотосодержащих руд при воздействии мощных электромагнитных импульсов // ДАН. 1999. Т. 366. № 5. С. 680–683.
3. *Gulyaev Yu.V., Cherepenin V.A., Taranov I.V., Vdovin V.A., Yaroslavov A.A., Kim V.P., Khomutov G.B.* Remote Decapsulation of Nanocomposite Liposomal Capsules Containing Gold Nanorods by Ultrashort Electric Pulses // *J. Communications Technology and Electronics*. January 2016. V. 61. Iss. 1. P. 56–60.
4. *Gulyaev Yu.V., Cherepenin V.A., Taranov I.V., Vdovin V.A., Yaroslavov A.A., Kim V.P., Khomutov G.B.* Effect of Gold Nanorods on the Remote Decapsulation of Liposomal Capsules Using Ultrashort Electric Pulses // *J. Communications Technology and Electronics*. 2018. V. 63. № 2. P. 158–162.
5. *Девятков Н.Д., Чернов З.С., Бецкий О.В. и др.* Неполное воздействие СВЧ импульсов наносекундной длительности на трансэпителиальный перенос ионов натрия // *Биофизика*. 1982. Т. 28. В. 3. С. 558–560.
6. *Yan R.H., Zhang Y.Y., Li Y.N., Xia L., Guo Y.Y., Zhou Q.* Structural Basis for the Recognition of SARS-CoV-2 by Full-Length Human ACE2 // *Science*. 2020. V. 367. I 6485. P. 1444–1448. <https://doi.org/10.1126/science.abb2762>
7. *Zhang L., Lin D., Sun X., Curth U., Drosten Ch., Sauerherring L., Becker S., Rox K., Hilgenfeldt R.* Crystal Structure of SARS-CoV-2 Main Protease Provides a Basis for Design of Improved Alpha-Ketoamide Inhibitors // *Science*. 2020. V. 368. I 6489. P. 409–412. <https://doi.org/10.1126/science.abb3405>
8. *Kirchdoerfer R.N., Cottrell Ch.A., Wang N., Pallesen J., Yassine H.M., Turner H.L., Corbett K.S., Graham B.S., McLellan J.S., Ward A.B.* Pre-fusion Structure of a Human Coronavirus Spike Protein // *Nature*. 2016. V. 531. I 7592. P. 118–121. <https://doi.org/10.1038/nature17200>
9. *Gui M., Song W., Zhou H., Xu J., Chen S., Xiang Y., Wang X.* Cryo-Electron Microscopy Structures of the SARS-CoV Spike Glycoprotein Reveal a Prerequisite Conformational State for Receptor Binding // *Cell Research*. 2017. V. 27. P. 119–129. <https://doi.org/10.1038/cr.2016.152>
10. *Месяц Г.А., Яландин М.И.* Пикосекундная электроника больших мощностей // УФН. 2005. Т. 175. С. 225–246. <https://ufn.ru/ru/articles/2005/a>

## USING HIGH-POWER ELECTROMAGNETIC PULSES TO IMPACT BACTERIA AND VIRUSES

Academician of the RAS Yu. V. Gulyaev<sup>a</sup>, I. V. Taranov<sup>a</sup>,  
and Corresponding Member of the RAS V. A. Cherepenin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

The hypothesis about the possibility of using strong electromagnetic pulses for effective action on bacteria and viruses is discussed. A simple coronavirus model that allows us in a quasi-static approximation to obtain estimates of the electric field strength is analyzed.

*Keywords:* electromagnetic pulse, effects on viruses, pondermotive force