

ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ МАКСВЕЛЛА И ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ПРОВОДЯЩИХ СРЕД

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

I. Введение

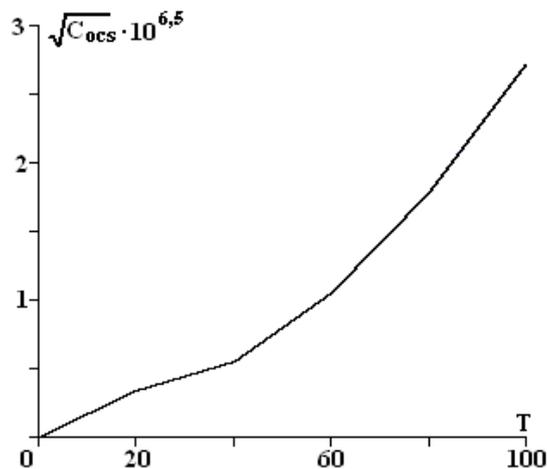
Первоначально отметим основополагающее утверждение, что в природе не существует свободных электрических зарядов, а любому избытку заряда, возникшего в какой-то точке заданного пространства, в полном пространстве обязательно найдется заряд противоположного знака для его нейтрализации. Исходя из этого аксиоматического определения, избыток заряда в пространстве может появляться лишь вследствие возбуждения электрически нейтральной среды. Общеизвестно, что носителями элементарных электрических зарядов являются составляющие атомы частицы. Заряды элементарных частиц, составляющие атомную структуру, могут проявляться лишь во взаимодействии между атомами при их столкновениях из-за теплового движения или при их сближении. В результате между различными атомами происходят химические реакции, или взаимодействие с образованием структур, подразделенных по электрическим характеристикам на проводников и диэлектриков. Лучшими проводниками являются металлы, для которых резкое отличие подвижности отрицательных и положительных зарядов делает их проводимость исключительно высокой. Высокоподвижные электроны и неподвижные атомы кристаллической решетки являются основой исключительно свободного движения электронов в металлах, они успевают многократно нейтрализовать решеточный заряд в каждом узле, обретая благодаря этому дополнительную свободу. Поэтому электроны проводимости являются во внутреннем объеме металла полностью свободными для участия в токе проводимости. В таких проводящих средах возникающий избыток заряда рассасывается за время $\tau_M = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{\sigma}$, где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, σ – удельная электропроводность, а ответ на вопрос: почему и как происходит это "рассасывание" избыточного заряда представляется не проходящим [1].

II. Время релаксации и принцип отторжения

При доказательстве формулы Максвелла для "рассасывания" из проводящей среды избыточного заряда начальной плотности ρ_0 предполагается, что движение заряда происходит в собственном электрическом поле. В самом деле, понятен факт, что в полном пространстве существует противоположный заряд, равный по величине избыточному заряду. Если противоположный заряд не находится рядом с избыточным, значит, он – в бесконечности. Поэтому избыток заряда на металлическом проводящем шаре будет накапливаться на его поверхности, стремясь удалиться в бесконечность для нейтрализации с противоположным по знаку зарядом. На основании закона диэлектрической релаксации и условия нейтральности среды можно сформулировать принцип отторжения избыточного заряда из проводящего объема: избыточный заряд в проводящей среде подвергается отторжению из проводящего объема по закону изменения плотности $\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_M}\right)$. Согласно принципу отторжения избыточно-подвижные заряды благодаря броуновскому движению, генерируют избыточную плотность заряда в электрически нейтральной среде, которая будет рассасываться из проводящего объема за время диэлектрической релаксации. Казалось бы, этот принцип не отражает ничего нового, однако это не так. Для выявления нового понимания релаксации Максвелла рассмотрим ряд известных природных явлений, получающих наглядную физическую трактовку на основе принципа отторжения избыточного заряда.

III. Генерация грозовых молний

Понятие об электричестве возникло от природного явления молнии при грозе – электрических разрядов в атмосфере. Утверждается, что оно возникает в результате накопления зарядов в облаках за счет трения, но почему это же трение не приводит к образованию молний в ясную погоду, а только в начале грозы? Известно, что основной характеристикой диссоциации воды является произведение концентраций ионов оксония – H_3O^+ и гидроксида – OH^- , через которое определяется уровень диссоциации воды – pH. При температуре 22°C $\text{pH} = 7$, а ионная концентрация оксония равна 10^{-7} г-ион/л. Зависимость концентрации оксония от температуры для химически чистой воды, которая обладает ничтожной электропроводностью по сравнению с обычными растворами, представлена на рисунке [2].



Зависимость концентрации оксония от температуры для химически чистой воды

Например, электропроводность одномолярного раствора HCl превышает электропроводность чистой воды в 10^7 раз. В составе атмосферного воздуха в основном содержатся 78% азота и 21% кислорода. Поэтому электропроводность газовой смеси – водяного пара с азотом и кислородом имеет довольно хорошую электропроводность, также зависящую от температуры. Исходя из этих данных об облаках водяного пара в атмосфере, рассмотрим, к чему приведет принцип отторжения избыточного заряда из сравнительно хорошо проводящего облака.

Учитывая, что среда нейтральна, для коэффициента электропроводности получаем выражение: $\sigma = en|v_+ - v_-|$, то есть направление тока нейтрализации среды будет совпадать с направлением скорости дрейфа подвижных ионов. Здесь v_+ и v_- – подвижности ионов. Следовательно, в облаке ограниченных размеров, на границе с атмосферным воздухом (менее проводящей средой), возникнет избыток заряда нейтрализации, знак которого определяется знаком заряда ионов, имеющих большую по величине скорость дрейфа. Если $v_+ > v_-$, облако зарядится на граничной поверхности положительным зарядом; если же $v_- > v_+$ – отрицательным зарядом. В случае $v_+ \cong v_-$ отторжение зарядов на границе облака невозможно из-за бесконечности времени диэлектрической релаксации (рассасывания зарядов).

Следуя логике изложенного, в летнее время, когда в облаке конденсация паров только начинается, то есть возникают признаки появления дождя, электропроводность облака возрастает и, благодаря разной подвижности ионов различного заряда, происходит накопление зарядов на поверхности облака. Этот процесс отторжения ионов на поверхности облака произойдет тем интенсивнее, чем

выше температура и чем меньше значение времени релаксации $\tau_M = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{en|v_+ - v_-|}$. Возможна ситуация,

когда различные облака заряжены по принципу отторжения противоположными зарядами. Однако в случае накопления заряда на всех облаках одного типа грозовые молнии будут возникать между облаками из-за различной разности потенциала между ними и поверхностью Земли.

IV. Механизм функционирования клеточного, натриевого насоса

Принцип отторжения имеет основополагающее значение для механизма функционирования биологических клеток. Рассматривая клетку как область электропроводящего пространства, окутан-

ную избирательно-проницаемой диэлектрической мембраной, на основании принципа отторжения легко объясним, нераскрытый до сих пор принцип действия "натриевых насосов" – разобщения ионов натрия и калия по разные стороны мембраны. Кроме того, элементарное объяснение получает возникновение разности потенциала на мембране, и даже морфогенез клетки во взаимодействии с окружающей средой.

В сравнении с крупными радикалами биологических молекул ионы натрия и калия являются самыми подвижными во внутреннем объеме клетки. Поэтому, на границе клеточного объема, – на внутренней стороне мембраны будут подвергнуты отторжению избыточно-подвижные ионы натрия и калия, образуя избыточный поверхностный положительный заряд. На пути потока отторжения положительных ионов натрия и калия находится селективно-проницаемая мембрана, которая пропустит только часть положительных зарядов к внешней поверхности мембраны. Как показывает опыт, – это ионы натрия, которые с оболочкой гидратации имеют меньший радиус. Если бы во внутриклеточном объеме содержались и отрицательные ионы, способные пройти сквозь мембранные поры, тогда отторжение заряда с внешней поверхности продолжалось бы вплоть до их удаления в бесконечность. Однако таких ионов во внутриклеточном объеме либо вовсе нет, либо их несравненно меньше, чем количество прошедших через мембрану ионов натрия. В результате избыточный заряд не сумевших пройти сквозь мембрану отрицательных зарядов совместно с прошедшими положительными зарядами образуют заряженный конденсатор на мембране. Хотя эти заряды составляют лишь разницу между полным числом положительных ионов натрия и калия и числом ионов, не прошедших сквозь мембрану, совсем малая толщина биологической мембраны обеспечивает разность потенциала на мембранном конденсаторе напряженностью порядка 10^4 В/см. Поэтому на внутренней и внешней сторонах мембраны обычно обнаруживают повышенные концентрации одноименных положительных ионов натрия и калия, несмотря на то, что их взаимодействие приводит к отталкиванию.

V. Клеточный обмен

Если коснуться вопроса морфогенеза, то следует подчеркнуть, что агенты, вызывающие биологические процессы в клетке, являются химическими веществами. По крайней мере, можно остановиться на двух типах химических реагентов, – активаторах и ингибиторах. Кроме того, для пояснения клеточного обмена необходимо предположить, что мембрана обладает хорошей эластичностью.

Предположим, что к поверхности мембраны подведен отрицательный заряд, способный нейтрализовать часть заряда с внешней стороны мембраны, – активатора. В результате нейтрализации активатором части заряда с внешней стороны мембраны, на внутренней ее стороне временно окажется избыток отрицательного заряда, который, согласно принципу отторжения, не обладая способностью пройти сквозь поры мембраны, будет увеличивать размеры клетки в пределах деформации мембраны за счет кулоновского отталкивания избыточных отрицательных зарядов на внутренней стороне мембраны. В результате клетка набухает, увеличивается поверхность мембраны и размеры мембранных пор, что приводит к усилению обмена между внешней и внутренней сторонами мембраны. Фактически клетка увеличит свои размеры за счет всасывания внеклеточного раствора. Это приведет к частичной нейтрализации избыточного отрицательного заряда на внутренней стороне мембраны, последующему уменьшению кулоновского отталкивания отрицательных зарядов с внутренней стороны мембраны, а затем к уменьшению размеров клетки путем выброса части жидкого растворителя - воды. Таким образом, активатором может служить отрицательный заряд, подведенный к поверхности клеточной оболочки, или химический реагент, вызывающий реакции уноса заряда с внешней стороны мембраны.

Совсем иная ситуация с реагентами типа ингибиторов. По-видимому, ингибиторами являются химические или биохимические агенты, способные увеличить положительный заряд на внешней стороне клеточной мембраны, или удалить заряды с внешней стороны мембраны из шубы гидратации.

В таком случае разность потенциала на мембране спадет из-за ослабления заряда мембранного конденсатора при несимметричном переносе ионов натрия и нейтрализации части отрицательного заряда, и тем самым сократятся размеры пор из-за сжатия мембраны при уменьшении размеров клетки. Воздействие ингибиторов на заряды клеточной оболочки приводит к блокировке обмена через мембрану. После установления равновесия биохимических реакций во внутренней области клетки она гибнет.

Заметим, что чрезмерный унос заряда с внешней стороны мембраны, в случае частичной потери ее эластичности при деформациях из-за внедрения загрязняющих примесей в строение мембраны, также приводит к гибели клетки путем разрыва мембраны и плазмолиза клетки.

Нельзя не отметить фактор температуры и подвода кислорода в клетку, как реагентов активаторов для клеточного обмена. По-видимому, кислород, перенесенный кровяными клетками к внешней поверхности мембраны, является важным агентом регулярного клеточного обмена. Если биохимические реакции, происходящие в клеточном объеме, не снабжены в достаточной мере кислородом, то внутренние биохимические реакции становятся менее интенсивными, среда сильно нейтрализуется отсутствием генерации ионных продуктов реакций. В результате клетка может погибнуть из-за нарушения продуктивности механизма клеточного обмена.

Температура способствует интенсификации биохимических реакций в клеточном объеме и клеточному обмену посредством поддержания необходимого уровня эластичности мембраны.

VI. Математическая модель стабилизации клеточного обмена

Экспериментально показано, что между сторонами клеточной мембраны существует разность потенциала (потенциал покоя), составляющая 50–80 мВ, при этом среда заряжена по отношению к внутренней поверхности мембраны положительно [3]. Это подтверждает и рассматриваемая модель клетки. В литературе утверждается, что такая полярность поддерживается специальным механизмом, локализованным в мембране, и нуждающимся в энергии, – ионный насос. Выше показано, что механизмом зарядки клеточной мембраны является физический принцип отторжения избыточно-подвижных ионов из внутриклеточной области и также отмечено, что ионная генерация обеспечивается биохимическими реакциями внутри клетки. Заметим, что мембрана очень тонкая $\approx 70 \text{ \AA}$, поэтому малая разность потенциала на ней приводит к возникновению электрического поля высокой напряженности $\approx 10^4 - 10^5 \text{ В/см}$. Для подтверждения и доказательства существования потенциала покоя на клеточной мембране смоделируем процесс клеточного обмена положительными n_+ и отрицательными n_- зарядами между внутренней и внешней поверхностями мембраны. Исходя из принципа отторжения избыточно-подвижных ионов внешней и внутренней сторон мембраны, составим уравнения изменения числа заряженных частиц на них:

$$\begin{cases} \dot{n}_+ = \lambda n_- - k n_+ n_-, \\ \dot{n}_- = \lambda n_+ - k n_+ n_-, \end{cases}$$

где λ и k – коэффициенты генерации и уничтожения избыточного заряда.

Фактически физический смысл коэффициентов уравнений следует из принципа отторжения избыточно-подвижных ионов. Коэффициент λ включает способность наведения избыточного заряда на поверхностях мембраны; при этом между положительными и отрицательными зарядами существует взаимосвязь: число зарядов равно числу прошедших сквозь мембрану положительных ионов. Поэтому наведение n_+ и n_- происходит с одним и тем же λ . Таким образом, коэффициент λ характеризует селективно-пропускную способность клеточной мембраны, а принцип отторжения указывает, что виновниками зарождения избыточно-подвижных ионов в нейтральной среде являются ионы противоположного знака. Коэффициент k характеризует процесс нейтрализации избыточного заряда на поверхностях мембраны, чему способствует ее проницаемость и кулоновское взаимодействие зарядов.

Из уравнений следует, что разность носителей зарядов на мембране (разбаланс носителей) имеет характерное время стабилизации:

$$n_+ - n_- = u_0 \exp(-\lambda t).$$

Разность избыточных зарядов на обкладках клеточного, мембранного конденсатора стабилизируется за время $\tau_s = \frac{1}{\lambda}$. Таким образом, при $t > \tau_s$ наблюдается стабилизация числа носителей $n_+ \approx n_- \approx n$. В таком случае уравнения совпадают и имеют вид:

$$\dot{C} = \lambda C - k n_0 C^2,$$

где введена безразмерная величина концентрации носителей заряда $C = \frac{n}{n_0}$, n_0 – номинальный, избыточный заряд в начальный момент времени $t = 0$.

Это уравнение совпадает с известным из кинетики химических реакций уравнением Ферхюльста-Перла [4], решение которого имеет вид

$$C = \frac{C_s}{1 - (1 - C_s) \exp(-\lambda t)}, \text{ где } C_s = \frac{\lambda}{kn_0} = \frac{n_s}{n_0}.$$

Основным результатом этого раздела является доказательство существования стационарного решения, обеспечивающего стабилизацию числа избыточных носителей заряда на клеточном, мембранном конденсаторе. Таким образом, потенциал покоя клеточной мембраны в самом деле обеспечивается селективно-пропускной способностью мембраны ($n_s = \frac{\lambda}{k}$), и принципом отторжения избыточно-подвижных ионов биохимических реакций во внутреннем объеме клетки.

VII. Взаимодействие клеток и раковые клетки

Из кинетики химических реакций известно, что активность агентов реакций спадает по мере их истощения в цепи химических превращений. Следовательно, биохимические реакции в клетке будут терять свою активность, если не будут обеспечены активными составляющими из внеклеточной области. Поэтому, важно рассмотреть не только клеточные процессы в отдельности, но и состояние внеклеточной среды, а также уровень взаимодействия между клеткой и средой. Как следует из принципа отторжения избыточно-подвижных носителей заряда из электропроводящей среды, важнейшей характеристикой ее активности является степень электрической диссоциации. Если речь идет о растворах, остаются в силе известные соотношения относительно степени диссоциации, в том числе и его зависимость от диэлектрической проницаемости растворителя. Если внеклеточный раствор, согласно принципу отторжения избыточно подвижных ионов удовлетворяет соотношению $v_- > v_+$, то из объема внеклеточного раствора будут отторгаться отрицательные избыточно-подвижные ионы. В результате к внешней оболочке клетки будет направлен поток отрицательно заряженных ионов, что приведет к такому состоянию равновесия, когда на внутренней стороне мембраны будет находиться избыток отрицательных ионов. В самом деле, унос заряда с внешней стороны мембраны путем нейтрализации части положительных ионов n_Q , описывается уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{n}_+ = \lambda n_- - kn_+n_- - \gamma n_Q, \\ \dot{n}_- = \lambda n_+ - kn_+n_-, \end{cases}$$

где член γn_Q описывает унос n_Q единиц положительного заряда с быстротой γ . В результате на мембранном конденсаторе клетки устанавливается разбаланс носителей $n_- - n_+ = n_Q - u_0 \exp(-\lambda t)$.

Отсюда видно, что на внутренней стороне мембраны индуцируется избыточный, отрицательный заряд, поддерживающий эластичную мембрану в напряженном состоянии, называемом тургором клетки. Система уравнений при $t \gg \frac{1}{\lambda}$ сводится к уравнению Риккати. Наша цель – не математическая трактовка модели клетки, а идеологическая сторона возможных клеточных процессов. По-видимому, полученное соотношение соответствует нормальному состоянию живой клетки, когда она окружена жизнеспособным межклеточным раствором при $v_- > v_+$. В самом деле, необходимость обеспечения межклеточного раствора (крови) кислородом указывает на постоянный занос отрицательных ионов в межклеточный раствор. Поэтому процесс дыхания обеспечивает межклеточный раствор отрицательными ионами кислорода, которые, к тому же, должны быть избыточно-подвижными. Если это условие не удовлетворяется, тогда возможна гибель клеток. По-видимому, отравляющие вещества удушающего типа, введенные в организм, нарушают соотношение $v_- > v_+$ для межклеточного раствора. Чрезмерное усиление соотношения $v_- > v_+$ внешними агентами также является губительным для клетки, в этом случае часть клеток будет подвергнуто плазмолизу. Отметим важное свойство клеток в межклеточном растворе с $v_- > v_+$; эти клетки будут притягиваться к межклеточному раствору, и тем самым, притягиваться между собой. В самом деле, в любом живом организме имеется внешняя оболочка (или каркас), обеспечивающая сохранение межклеточного раствора, – это кожа у животных или кора деревьев и растений. Поэтому, в результате притяжения к межклеточному

потоку отрицательных ионов, клетки будут плести клеточную структуру, форма и размеры которой продиктованы ограничительным объемом, в котором может проникать межклеточный раствор. Итак, при нормальном уровне тургора клеток и постоянном снабжении межклеточного раствора избыточно-подвижными ионами, обеспечивающими тургор клеток и активность внутриклеточных биохимических реакций, биологическая оболочка заданного органа будет заполнена клеточной структурой. Если же условие $v_- > v_+$ для межклеточного раствора будет нарушено, произойдет полное нарушение жизнедеятельности клеток, и биологический организм вымирает. Таким образом, изменения свойств внеклеточного раствора с нарушением соотношения $v_- > v_+$ для избыточно-подвижных ионов приводит к гибели клеточного организма вообще. Интересен случай, когда нарушается не соотношение во внеклеточном, а во внутриклеточном растворе. Допустим, что внеклеточный раствор снабжается регулярно кислородом, и $v_- > v_+$ для избыточно-подвижных ионов, а во внутриклеточном растворе из-за нарушения кинетики биохимических реакций нарушено соотношение $v_+ > v_-$. Выяснение причин такого нарушения следует искать среди отрицательных ионов – продуктов внутренних реакций, а именно, какой из отрицательных ионов стал избыточно-подвижным продуктом реакций. Если это произошло, тогда та часть клеток, у которых нарушено соотношение $v_+ > v_-$, будет отталкиваться от межклеточного раствора и, тем самым, такие клетки не смогут образовать структурный каркас, они будут отталкиваться между собой и с межклеточным раствором. С другой стороны, эти клетки будут чувствовать притяжение к нормальным клеткам клеточной структуры, ведь для них заряд внешней стороны мембраны отрицательный. Поэтому большие клетки будут стремительно внедряться в клеточную ткань из нормальных клеток, разрушая структуру клеточной ткани. Медики называют этот процесс нарушения клеточного строения органов и организма вообще, - метастазом, а большие клетки – раковыми. В этой обстановке правомерен вопрос, возможно ли приостановление процесса распространения больных клеток? Во-первых, в таких клетках нарушен процесс генеза внутриклеточных реакций, поэтому для лечения самих клеток нужно восстанавливать механизм клеточных реакций. Во-вторых, в таких клетках нарушен приоритет избыточно-подвижных ионов, поэтому было бы хорошо воздействовать на эти клетки через внеклеточную среду, – локально. Например, пациенты с раковыми клетками в организме должны дышать воздушной смесью с пониженным содержанием кислорода, с целью ослабления соотношения $v_- > v_+$ во внеклеточном растворе. Другими словами, им нужно жить в горах!

Вообще говоря, возможно существование живых организмов с противоположными соотношениями избыточно-подвижных ионов внутриклеточного и межклеточного растворов. Для таких организмов основным обменным газом с внешней средой может служить другой газ, а не кислород. Повидимому, клетки растительного мира обладают именно этим свойством, поглощая углекислый газ из воздуха. Не исключена возможность существования и организмов животного мира, дышащих другими газовыми смесями, а не азотно-кислородной смесью.

VIII. Влияние магнитного поля на активность клеточных реакций

Как уже выяснено, для внешнего электрического поля биологическая клетка электрически нейтральна, поэтому лишь в полях высокого напряжения возможно воздействие на мембранный потенциал клетки. Другое, альтернативное воздействие на клеточный обмен и клеточное строение, это токовой унос заряда с внешней оболочки клетки, который является субъектом отдельного исследования. Совсем другая ситуация складывается в случае клетки во внешнем магнитном поле. Поверхностный заряд Q с внешней стороны мембраны в магнитном поле приводится во вращательное движение с угловой скоростью ω_+ в плоскостях, перпендикулярных линиям поля. В результате возникают элементарные круговые токи:

$$dI_+ = \frac{dq_+}{dt} = \sigma_+ \frac{dS}{dt} = \sigma_+ R^2 \sin \vartheta d\vartheta \omega_+,$$

где ϑ – угловая координата точки с внешней поверхности клеточной мембраны.

Учитывая, что каждый элементарный ток создает элементарное магнитное поле $dH_+ = \frac{dI_+}{2R \sin \vartheta}$, после интегрирования по углу ϑ , для магнитного поля, созданного положительным

зарядом клеточной оболочки получаем выражение: $H_+ = \pi R \sigma_+ \omega_+ = \frac{Q \omega_+}{4R}$. Отрицательный заряд, в

отличие от положительного с внешней поверхности мембраны, распределен во всем объеме внутри клетки. Примем, для упрощения расчетов, равномерное распределение заряда с объемной плотностью $\rho = \frac{3Q}{4\pi R^3}$ и вычислим поле, созданное этими зарядами во вращательном движении с угловой скоростью ω_- . Магнитное поле, созданное этими зарядами $H_- = \frac{3Q\omega_-}{4R}$. Примем приближение $\omega_+ = \omega_- = \omega$ и учтем, что положительные и отрицательные заряды создают магнитные поля, противоположные внешнему магнитному полю $H = \frac{Q\omega}{R}$.

Следовательно, во внешнем магнитном поле отрицательные ионы компенсации заряда на внешней стороне мембраны приводятся в движение с угловой скоростью $\omega = \frac{RH}{Q}$. Поэтому активность внутриклеточной среды возрастает и тем самым улучшается клеточный обмен. Это принципиальное свойство клеток позволяет предложить механизм воздействия непосредственно на внутриклеточную активность биохимических реакций. Заметим, что в ослабленном состоянии клетки, когда заряд Q на мембране понижен, частота ω возрастает, что позволяет реанимировать активность клеточных реакций и клеточный обмен вообще. Поэтому оправданы попытки улучшить состояние клеточного обмена путем применения различных магнитных воздействий на живой организм.

IX. Перспективы клеточного производства

Заманчива перспектива производства биологических клеточных тканей, поэтому интересен вопрос о возможностях управления клеточным обменом и выращивания клеток вне живых организмов. Конечно, заложенные в основе управления клеточными биохимическими реакциями генные молекулы являются ключевыми кирпичиками генной, клеточной инженерии. Кроме того, не известен механизм клеточного деления, но несмотря на это, на основе понятия о клеточном обмене, можно создать условия для нормального обмена и развития клеток вне живого организма. На эту мысль наводят клетки растительного мира. В растениях газовый обмен осуществляется без дыхания, посредством огромной площади обмена через листья. Поэтому достаточно обеспечить растительный саженец питательной средой, как он будет выполнять функции клеточного воспроизводства. Возможно ли, управляемое производство и выращивание клеточных тканей животного мира и человека вне живого организма является открытым вопросом, во всяком случае, для авторов.

X. Магнетизм Земли

Обратим внимание на вопрос о магнитном поле Земли. Геофизическая структура внутренних слоев ее такова, что на границе твердой земной коры плотность мантии сначала изменяется от 3 до 3,4 т/м³, на глубине 2900 км – от 5,5 до 9,5 т/м³, а на глубине 5000 км – от 11,7 до 16 т/м³. Это означает, что подвижности носителей заряда в этих слоях различные [5]. Поэтому, аналогично случаю с транспортом через клеточную мембрану, на границах этих слоев, возникает электрический заряд избыточно-подвижных ионов соответствующих слоев. Можно только предположить, что именно эти заряды во вращательном движении Земли создают ее суммарное магнитное поле. Вычисленное для вращательного движения Земли, магнитное поле этих слоев $H = \omega(R_0\sigma_0 + R_1\sigma_1 + R_2\sigma_2)$, где $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – угловая скорость вращения Земли; T – период вращения ($T = 24$ часа); R_0, R_1, R_2 – радиусы слоев, начиная от ближнего к центру Земли ($R_0 \approx 1371, R_1 \approx 1471, R_2 \approx 6300$ км); $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$ – поверхностные плотности накопленных зарядов на соответствующих слоях. Отметим, что знаки плотностей поверхностных зарядов удовлетворяют условию зарядовой нейтральности: $R_0^2\sigma_0 + R_1^2\sigma_1 + R_2^2\sigma_2 = 0$. По видимому, σ_2 положительная величина, способствующая правильному определению направления вектора магнитного поля, – к Северу при вращении Земли от Запада к Востоку.

Естественно, любые пространственные электропроводящие объемы земной коры обладают свойством отторжения избыточно-подвижных ионов на границе этих объемов, создавая различные магнитные аномалии при прохождении через их объемы потоков частиц солнечной активности. Этим, к примеру, характерны некоторые магнитные аномалии поверхности земной коры.

XI. Атмосферное электричество

Атмосфера Земли состоит из смеси двух основных газов – азота и кислорода. Плотность и температура воздуха неоднородны и уменьшаются с высотой. Атмосферное давление зависит от высоты согласно барометрической формуле, – убывает экспоненциально с высотой. Кроме того, в атмосфере происходят нестационарные процессы образования водяного пара, туманов и облаков. Эти особенности указывают на то, что избыточно-подвижные заряды электрически нейтрального воздуха атмосферы будут отторгаться из неоднородно проводящего объема, поэтому присутствует постоянный отток избыточно-подвижных ионов. Судя по составу атмосферного воздуха, основными носителями положительных зарядов являются ионы азота и кислорода, а отрицательных – подвижные электроны. Из-за преимущественного нагрева атмосферного воздуха у поверхности Земли процесс ионизации наиболее активен именно здесь. Поэтому избыточно-подвижные электроны наведут на границе между атмосферой и поверхностью Земли отрицательный заряд, оставляя в атмосфере избыток положительных ионов. В результате образуется неоднородное электрическое поле, напряженность которого спадает с высотой. В таком поле дипольные молекулы будут двигаться к поверхности Земли. Поэтому с восходом Солнца утренний туман осаждается или скапливается во впадинах поверхности Земли из-за возрастания напряженности неоднородного поля. В зависимости от температуры и нестационарных процессов парообразования, а также загрязнения воздуха, верхняя граница электрического поля Земли будет изменять свое положение по высоте. В верхних слоях атмосферы также возможно наведение ионной проводимости воздуха ионизацией космическими частицами или солнечным излучением. По-видимому, озоновый слой является одним подтверждением этого свойства атмосферы.

XIII. Выводы

В порядке обобщения результатов можно отметить, что в проводниках второго рода носителями заряда являются ионы, которые в среднем по объему образца образуют электрически нейтральную среду. Однако процессы диссоциации молекул, активности химических и биохимических реакций в микроскопических объемах среды приводят к образованию локальных электрических полей. Каждая пара противоположных по знаку заряда ионов нейтральной среды, взаимодействуя по закону Кулона, будет выполнять встречное движение зарядов, скорости которых соотносятся как корень

квадратный из обратного отношения их масс – $\frac{V_+}{V_-} = \sqrt{\frac{m_-}{m_+}}$. В результате происходит генерация локального тока смещения зарядов $j = q|V_+ - V_-|$, направление которого совпадает с направлением

скорости подвижного иона. Сущность принципа отторжения состоит в том, что избыточно-подвижные ионы нейтральной среды в собственном электрическом поле отторгаются из проводящей среды. Ток смещения отличается от тока проводимости тем, что в ток проводимости оба типа носителей вносят положительный вклад, в то время как в ток смещения – противоположный знак. Дело в том, что ток смещения проявляется в собственном поле носителей, которые, выполняя встречное движение, изменяют напряженность и конфигурацию собственного поля. Для каждой отдельной пары носителей имеет место закон сохранения импульса $m_+ \vec{V}_+ + m_- \vec{V}_- = \vec{P} = \text{const}$. Импульс каждой из пар является статистической характеристикой среды, зависящей от температуры и химической активности ионов.

Обычно среднюю плотность тока в веществе $\overline{\rho \vec{V}}$ определяют при помощи электрического поля связанных зарядов [6] соотношением: $\overline{\rho \vec{V}} = \sigma \vec{E} + \kappa \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$, где σ – электропроводность среды, κ – коэффициент поляризации или диэлектрической восприимчивости вещества. Коэффициент поляризации определяется плотностью связанных зарядов вещества $\rho_{ce} = -\text{div}(\kappa \vec{E})$. Связанные заряды в общепринятой модели это менее подвижные заряды по сравнению с избыточно-подвижными зарядами. Отсутствию внешнего поля, согласно теории поляризации среды, соответствует нулевой средний ток. В рассматриваемой модели проводимости среды отсутствию среднего тока соответствует отличное от нуля поле $\vec{E} = \vec{E}_0 \exp\left(-\frac{\sigma t}{\kappa}\right)$.

Сущность принципа отторжения избыточно-подвижных зарядов можно легко выяснить на простом примере: предположим, что заряд q совершает вращательное движение по круговому контуру с угловой скоростью ω . Тогда плотность заряда в контуре будет определяться выражением: $\rho = \frac{q}{l} \omega = \frac{qN}{R}$, где $l = 2\pi R$, N – число оборотов заряда по контуру. Следовательно, чем быстрее заряд вращается, тем больше его избыточная плотность по кругу.

Согласно принципу отторжения избыточный заряд появляется в результате избыточной подвижности ионов в нейтральной среде. Другими словами, в нейтральной среде избыточно-подвижные ионы создают избыточную плотность заряда, которая подчиняется релаксации Максвелла.

В статье рассматривается ряд актуальных классических задач, в основе которых стоит принцип отторжения. Анализируются вопросы из различных отраслей знаний, в частности, явление молнии при грозе и атмосферного электричества; земного магнетизма и воздействия магнитного поля на клетки живого организма; взаимодействие клеток и стабилизация мембранного потенциала. Движущей силой принципа отторжения являются температура и химическая активность среды. Для атмосферных явлений характерными факторами возникновения отторжения являются температура и электропроводность среды. В клетках биологических сред весьма принципиальным фактором является активность внутриклеточных биохимических реакций, которая зависит также от температуры и состава компонентов.

Можно с уверенностью констатировать, что на активность внутриклеточного состава непосредственно влияет внешнее магнитное поле, а на взаимодействие клеток и клеточный обмен - активность межклеточной жидкости.

Указана возможность нарушения клеточной активности внутреннего объема клетки, при котором рождаются особые, раковые клетки. Сделана попытка обосновать деление клеток перепроизводством белка и других продуктов клетки. Представленная простая математическая модель клеточного обмена, на основе которой преследовалась цель установления условия стабилизации и выявления основных особенностей обмена, позволила обосновать также принципы взаимодействия клеток. Частично затронут вопрос клеточного производства на основе биологических тканей вне среды живого организма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашиников С.Г. Электричество. М., 1977.
2. Павлов Н.Н. Теоретические основы общей химии. М., 1978.
3. Нобел П. Физиология растительной клетки. М., 1973.
4. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М., 1979.
5. Енохович А.С. Краткий справочник по физике. М., 1976.
6. Левич В.Г. Курс теоретической физики. Том I. М., 1969.

Поступила 28.07.03

Summary

On the basis of dielectric relaxation of charge in the conducting medium a principle of repulsion, which has a special significance when is applied to electrically neutral medium, is formulated. It is shown that ions of conducting medium with excessive mobility are repulsed from conducting volume, creating some nonzero charge density on its boundaries. Application of the repulsion principle allows to give an evident physical interpretation to some well-known phenomena: generation of thunderstorm lightning, formation of atmospheric electricity and mist precipitation, Earth's magnetism and clarification of the role of magnetic field in the activity of biochemical reactions in the biological cell. A special part of the repulsion principle in the vital activity of the biological cells, namely cell exchange and maintenance of electrical potential on the membrane, cells interaction and genetic peculiarities of cancer cells generation, is revealed. The question of membrane transport and principle of the work of cell ionic pump is clarified. A simple mathematical model of cell transport stabilization is proposed. Main characteristics of the cell exchange, conditions of provision of cells with oxygen, and reasons of the cells death owing to cell exchange disturbance are revealed. The possibilities of direct activation of biochemical, intracellular reactions by external magnetic influence and production of biological tissue controlled by cell exchange out of living organism are shown.