

*Юлія Пчелянська
Яна Усатюк*

ПРО МІЖПРЕДМЕТНІ ЗВ'ЯЗКИ НА УРОКАХ ФІЗИКИ, ХІМІЇ І БІОЛОГІЇ В ШКОЛІ

Постановка проблеми. Фізика досягла у ХХ столітті значних вершин, розкрила суть багатьох явищ у мікро- і в макросвіті, вибудувала широкі концепції, що пояснюють будову і властивості матерії – речовини і полів. У фізиці виник цілий комплекс нових ідей і уявлень як феноменологічних, так і атомно-молекулярних.

Завершилася побудова теорії відносності і квантової механіки. Прямим наслідком квантової механіки сталася революція в хімії – квантове тлумачення періодичного закону Менделєєва, розкриття природи хімічного зв'язку і реакційної здатності речовин. Фізика і хімія, які раніше співвідносилися переважно на феноменологічному рівні, фактично об'єдналися в своїх основах. Поряд з наростаючою спеціалізацією знань виникла і утвердилася могутня тенденція до їх інтеграції.

Тому цілком природним є намагання застосувати ці ідеї в біології, яка вступила в стадію бурхливого розвитку.

У другій половині ХХ, на початку ХХІ століть такі інтегративні процеси проявилися в новому єднанні фізики, хімії і біології – у створенні молекулярної біології, побудові універсальних галузей знань, таких як кібернетика і теорія інформації, заклали основи розвитку нового суспільства – суспільства на базі нанотехнологій.

Одночасно змінилося співвідношення фундаментальної науки і її практичних застосувань: скоротилася дистанція між теоретичними дослідженнями і практичною реалізацією наукових відкриттів. Нині людство вступило в новий етап епохи науково-технічної революції, яка охопила всі області науки, техніки, технології, сільського господарства, медицини.

За цих умов постала дуже важлива проблема – співвідношення фізики і біології. Основне питання полягає в наступному: чи достатньо лише самих фізичних принципів і закономірностей, встановлених головним чином при вивченні об'єктів і явищ неживої природи, для наукового пояснення явищ життя?

Необхідно з'ясувати, яке місце займає клітина і організм в грандіозній ієрархії, що сьогодні бере свій початок з елементарних частинок і завершується галактиками і Всесвітом в цілому. Необхідно визначити особливості явищ життя, їх відмінність і подібність з явищами, що спостерігаються у неживій природі.

Жива клітина являє собою своєрідну хімічну лабораторію. В ній відбувається багато хімічних реакцій, значна частина з них є біохімічними реакціями або біосинтетичними реакціями, що призводять до утворення

необхідних для життя речовин – білків, ферментів, нуклеїнових кислот.

Очевидно, що виникнення і існування систем, які відповідають за життєдіяльність, ставлять перед фізикою багато проблем. Головні з них полягають у наступному:

- пояснення механізмів функціонування систем саморегуляції живих організмів (теплорегуляції, тиску, кровообігу, біопотенціалів і т.ін.);
- з'ясування зв'язку між будовою і біологічною функціональністю речовин, що діють у клітинах;
- фізичне тлумачення фізіологічних явищ генерації і поширення нервового імпульсу, м'язового скорочення, рецепції зовнішніх сигналів органами чуття і т.п.

Перераховані проблеми є предметом біофізики. Ця наука перетворюється в наш час із допоміжної галузі біології в самостійну фізику явищ життя. Її умовно поділяють на три галузі знань:

- молекулярна біофізика, що вивчає будову і властивості біологічно-функціональних речовин і побудову з них комплексів;
- біофізика клітини, яка вивчає надмолекулярні клітинні і субклітинні системи;
- біофізика складних систем, розвиток якої намітився на шляхах фізико-математичного моделювання біологічних процесів у клітинах, у фізіологічних системах організмів, в організмах, в популяціях, у біосфері загалом.

Мета роботи. Показати як відмічену вище інтеграцію фізики, хімії і біології як наук, можна реалізувати при їх вивченні як навчальних предметів у школі, що значно сприятиме формуванню в учнів уявлення про матеріальну єдність Всесвіту. В статті пропонується матеріал з можливої реалізації міжпредметних зв'язків цих наук на прикладі вивчення певного класу електричних риб у біології та пояснення фізико-хімічної природи цих властивостей при вивченні джерел струму та їх послідовного і паралельного з'єднання у фізиці.

Виклад основного матеріалу. Електрична активність – невід'ємна властивість живої природи. Електрику генерують нервові, м'язові і залозисті клітини всіх живих істот, оскільки основні процеси у нервових тканинах – збудження і гальмування – супроводжуються електричними явищами. Відомо, що біоструми можна реєструвати, прикладаючи до нервів і м'язів електроди, тобто – контактним способом. Можлива і безконтактна фіксація електричних явищ у живих клітинах завдяки тому, що біопотенціали утворюють електричні поля за межами організму. Учені виявили електричні поля навколо нервів, м'язів і серця жаби, і навіть навколо джмеля і комара під час їх польоту. Проте властивість генерувати електрику найсильніше розвинута у риб.

На даний час встановлено, що біля 300 із 20 тисяч видів риб здатні генерувати і використовувати у своєму житті біоелектричні поля. У

відповідності з цим всіх риб ділять на три групи: сильноелектричні види, що мають електричні органи і створюють навколо себе сильні електричні поля з метою нападу або оборони; слабоелектричні види, що мають спеціалізовані електрогенераторні тканини і утворюють імпульсні електричні поля з метою локації і зв'язку; неелектричні риби, тобто решта всіх риб.

Найбільш яскравими і вивченими представниками сильноелектричних риб є вугор, скат і сом.

Вивчення механізмів, які застосовують риби для генерації і сприйняття електричних полів, характеристик цих полів має велике наукове і практичне значення. Результати цих досліджень використовуються в медицині, рибному господарстві, біонанотехнологіях.

Про електричні властивості сильноелектричних риб людству відомо давно. Про них писав ще Арістотель. Дослідження в цій галузі проводили Гумбольт, Реймон, Кавендіш, Гальвані та інші вчені. Проте експериментальні докази того, що в живих тканинах є електрика були отримані лише у 1832 році. Ця заслуга належить Фарадею. Своїми дослідженнями Фарадей доказав, що біоелектрика нічим не відрізняється від інших видів електрики. Явища, притаманні різним видам електрики відрізняються не за своєю природою, а лише кількісно. Отже, жодних особливих властивостей у «тваринної» електрики немає.

Яким же чином виникає біоелектрика? Думки багатьох дослідників зійшлися на тому, що основну роль при електрогенезі відіграють клітинні мембрани, які мають властивість «сортувати» позитивні і негативні йони зовні і всередині клітини в залежності від її фізіологічного стану (тобто стану збудження).

В результаті «сортування» різнойменних зарядів між зовнішньою і внутрішньою сторонами мембрани виникає різниця електричних потенціалів. Якщо клітина збуджується, провідність мембрани по відношенню до електричного струму збільшується: позитивно і негативно заряджені йони спрямовуються через неї назустріч одні одному. Як наслідок – по обидві сторони мембрани різниця потенціалів вирівнюється. Таким чином у клітині відбувається постійна зміна різниці потенціалів. «Біологічна» електрика неначе переносить певну інформацію і тим самим координує складні внутрішні процеси життєдіяльності організму.

Електричні потенціали поширюються по нервах, опір яких дуже великий. У нервовому волокні діаметром в один мікрон (10^{-6} м) протоплазма має питомий опір 100 Ом/см . Учням цікаво співставити, що нервово волокно довжиною в 1 м має такий же опір електричному струмові, що й мідний дріт діаметром 0,6 мм і довжиною, що в 10 разів перевищує відстань від Землі до Сатурна (а це $1,4 \cdot 10^9$ км). Відомо, що в техніці для передачі електрики по кабелю такої довжини необхідно для підсилення сигналів застосовувати своєрідні підпитуючі енергією пристрої (типу

трансформаторів).

Подібним чином природа вирішила цю задачу з «ретрансляцією» сигналів у нервовому волокні. Справа в тому, що по центру нервового волокна розташований осьовий циліндр, по якому проходять нервові, а також і електричні імпульси. Мієлінова оболонка нерва, що складається з жироподібних речовин – ліпідів, покриває циліндр не повністю, утворюючи певні проміжки, які називають перехватами Ранв'є. В момент збудження (виникнення імпульсу) катіони розчину, що омивають зовні нерв, через перехвати Ранв'є проникають в середину нерва через мембрану, оскільки її електричний опір в цей момент зменшується майже в 100 разів. В результаті заряд аксоплазми стає додатнім і між внутрішньою і зовнішньою сторонами мембрани виникає електричний струм. Поширюючись по нерву електричний процес доходить до наступного перехвату Ранв'є і збуджує наступну ділянку нерва. Таким чином електричні імпульси поширюються по нерву із швидкістю $60\div 120$ м/с; частота генерації досягає 1000 імпульсів в 1 с, а їх тривалість – 0,001 с.

Дослідженнями встановлено, що механізм генерації електричного струму в різних клітинах і тканинах організму однаковий. Деякі відмінності у величині потенціалів і швидкостях поширення імпульсів пов'язані із специфічними особливостями клітин. Наприклад, потенціал діючої окремої клітини електричного вугра складає 120-150 мВ, клітини м'яза жаби – 120 мВ, мотонейрона спинного мозку кішки – 90 мВ і т.д, тобто – вони одного порядку і порівняно не високі. Тому, висновок про те, як у електричних органах риб виникають розряди високої напруги (у електричного ската зафіксовані розряди потужністю до 6 кВт), може бути такий – вони виникають в результаті сумування (накладання) потенціалів окремих електричних клітин.

Як же побудовані «електрогенератори» у риб? Спеціалізовані електрогенераторні клітини електричних риб утворилися із м'язових (у більшості видів), нервових (у деяких електричних вугрів) або залозистих (у електричного сома) клітин. Товщина їх дуже мала, тому такі клітини називають електричними пластинками.

Електрична пластинка покрита оболонкою – електролемою. У різних видів риб пластинки відрізняються за формою. Характерною їх ознакою є порівняно велика площа поверхні при досить малій товщині.

До однієї із сторін електричної пластинки, як правило, підходить багато нервових закінчень. Ця сторона називається лицьовою і є мембраною клітини; вона керує розподілом йонів натрію, калію, кальцію і хлору. До другої сторони пластинки, в якій розсіяні її багато чисельні ядра, підходять кровоносні судини. Процес іннервації (збудження) електричної риби спрямовується переважно на узгодження розрядів окремих пластинок.

Механізм виникнення потенціалів в електричних пластинках риб в принципі однаковий для клітин всіх типів: генерація електричних

імпульсів зумовлюється розподілом йонів по обидві сторони мембрани. Оскільки нервові закінчення розташовуються з однієї сторони електричної пластинки, то під час розряду вона стає електронегативною по відношенню до другої сторони. Таким чином, характер і напруга імпульсів, які генеруються електричними пластинками, зумовлені їх конструкцією і комбінацією мембран. Напруга імпульсу залежить також від характеру іннервації мембрани і розміру електричної пластинки.

Електричні органи риб складаються із елементарних електрогенераторів – електричних пластинок, зібраних у декілька стовпчиків; вони неначе укладені один на одного. Оскільки у пластинок полярність різних сторін різна, то зв'язок їх у стовпчиках являє собою тип послідовного електричного з'єднання джерел електрорушійної сили, що значно збільшує загальний потенціал розряду.

Ряди стовпчиків також з'єднані між собою, але вже по типу паралельного електричного з'єднання. Завдяки цьому збільшується сумарна сила струму розряду.

Форма електричних пластинок у різних видів електричних риб різна : вона нагадує циліндри або диски, стержні або веретена, розетки або чашки. У зв'язку з відмінностями у будові електричних органів риби генерують специфічні для кожного виду розряди. Всі пластинки мають строгу орієнтацію відносно осі тіла риби, що забезпечує постійну структуру електричного поля і сумування створюваних потенціалів. Такий фізикобіохімічний механізм дії електричних органів риб.

Висновок. Отже, електричні органи риб являють собою комбінацію певним чином взаємопов'язаних елементарних генераторів, з'єднаних послідовно або паралельно. В органах різних риб мають місце обидва типи з'єднань елементарних генераторів у відповідності із законом Ома $U = I \cdot R$. При одній і тій же витраті потужності ($P = U \cdot I$) у першому випадку підвищується напруга розряду U , а в другому – збільшується сила струму I .

На розглянутому прикладі пояснення природи електричних властивостей риб, зроблена спроба продемонструвати інтегративні можливості фізики, хімії і біології при реалізації між ними міжпредметних зв'язків у процесі вивчення основ цих наук у школі. Вдалий підбір такого матеріалу, при належній підготовці вчителя і методиці його викладу допоможе викликати підвищений інтерес учнів до вивчення природничих наук та сформувати у них уявлення про єдність картини світу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кац Ц.Б. Биопластика на уроках физики. – М.: Просвещение, 1974. – 126 с.
2. Манойлов В.Е. Электричество и человек. – Ленинград: Энергия, 1975. – 144 с.