

ЕЛЕКТРОЛИЗА НА ВОДА: ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРЕН ЕКСПЕРИМЕНТ В ОБЛАСТТА НА ФИЗИКАТА И ХИМИЯТА

Ивелина Маджарова¹

127. СУ „Иван Н. Денкоглу“, София, България

Христина Марковска,

Мартин Цветков

Софийски университет „Св. Климент Охридски“, България

Резюме. Електролизата на вода е експеримент, който се разглежда в обучението по химия и физика в различни класове и етапи, като всеки от тях поставя акцент върху различни аспекти на процеса. Настоящата статия представя два метода за демонстрация на процеса електролизата на вода, които могат да бъде интегрирани в преподаването на химия и физика, като бъде съобразено с различните нива на образователния процес. Чрез анализ на учебните програми и различни учебници е обсъдено в кои класове и по кои теми е най-подходящо да се използва този демонстрационен експеримент. Електролизата на вода позволява нагледно да се демонстрират интердисциплинарните връзки в областта на физиката и химията, както и основни понятия от учебната програма. Предложени са няколко лесни за изпълнение варианта на експеримента с достъпна и евтина апаратура, която може да бъде намерена в обикновената училищна лаборатория или в магазин. Целта е експериментът да бъде достъпен за учителите, така че да може да се прилага в различни учебни условия.

В статията се обсъждат различните варианти на демонстрация на експеримента при използване на различни електроди и електролити, които биха позволили по-задълбочено разбиране на електрохимичните процеси, свързани с различни аспекти от учебния материал. Чрез подходящо интегриране на експеримента в учебните програми учениците ще могат по-лесно да разберат сложни теоретични концепции и да ги свържат с практически наблюдения.

Ключови думи: химическо образование; интердисциплинарни връзки; електролиза на вода

Въведение

В образователната ни система се отдава все по-голямо значение на STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics) обучението, което обединява науката, технологията, инженерството, изкуството и математиката. Проектно базираното обучение също се превърна във важен аспект от учебния процес, като насърчава учениците да изследват реални проблеми и да работят в екип за тяхното решаване. В същото време, училищата и университетите активно се стремят към създаване на междупредметни връзки, където знанията от различни дисциплини се интегрират, за да се разберат по-цялостно различните аспекти на учебната тема. Използването на експериментални демонстрации не само подпомага активното участие на учениците, но и ги мотивира чрез практическо прилагане на знанията и стимулира тяхното сътрудничество и креативно мислене.

Именно заради това, че все по-често се забелязва необходимостта да се въведат иновативни подходи в образованието, особено в областта на науки като физика и химия, където наблюдаваме, че учениците имат затруднения с усвояването на някои основни концепции и процеси, се вдъхновихме да разгледаме процеса електролиза като средство за интеграция между науките физика и химия в прогимназиално и гимназиално ниво. Това не само ще допринесе за по-добро разбиране на материала, но и ще подпомогне възбуждането на интереса на учениците към природните науки. Експерименталните демонстрации и експерименти са изпитани и са се доказали като ефективен метод за стимулиране на учениците и за подобряване на учебния процес (Huri & Karpudewan, 2019, pp. 495 – 508).

Анализ на учебните програми по физика и химия

По-долу сравнително (табл. 1) са разгледани учебните програми по физика и химия в прогимназиален (6. и 7. клас) и първи гимназиален (8., 9. и 10. клас) етап, както и учебниците на издателства „Педагог 6“, „Клет България – Анубис“ и „Клет България – Булвест 2000“ (за 10. клас – само „Педагог 6“ по физика и издателства „Педагог 6“, „Клет България – Анубис“ по химия). За да реализираме представената демонстрация, е анализирано учебното съдържание на база учебни програми, които включват теми, свързани с електричество, водород, кислород, различни видове химични реакции и процеса на електролиза. Целта е да определим кои часове, заложили в учебните програми, са най-подходящи за изпълнението на този експеримент.

Таблица 1. Обобщение на учебните програми относно приложението на електролиза

Учебна програма / Клас	Химия	Физика
6. клас – човекът и природата	– Получаване и свойства на кислород и водород. – Видове химични реакции – химично разлагане. – Лабораторни упражнения за получаване на газове.	– Електрични явления: какво е електричен ток, елементи на електрическа верига, проводници и изолатори. – Опорни знания за източници на ток, необходими за електролиза.
7. клас	– Междупредметна връзка с физиката и начален преговор – припомняне на H_2 и O_2, както и видове химични реакции.	– Раздел „Електричество“: електричен ток, напрежение, работа и мощност на тока. – Източници на електрично напрежение, свързване на консуматори. – Лабораторни упражнения за последователно/успоредно свързване.
8. клас	– Неметали от VI A група – кислород, озон. – Алотропия, свойства и приложение на кислорода. – Електролизата – метод за получаване на кислород.	– Междупредметна връзка с химията и начален преговор – припомняне на ролята на тока и електрическата верига за разбиране на процеса.
9. клас	– Междупредметна връзка с физиката – за да протече електричен ток, са необходими свободни заряди и електролитите предоставят положителни и отрицателни йони.	– Раздел „Електричество и магнетизъм“: работа и мощност на тока, електрично съпротивление, източници на напрежение. – Проводимост на вода – дестилирана срещу солена. – Обяснение на електролити и йони.
10. клас	– Раздел „Разтвори и химични реакции във водни разтвори“. – Електролити и неелектролити, електролитна дисоциация. – Окислително-редукционни процеси и електролиза. – Разпознаване на продукти на анод и катод.	– Раздел „Електричество и магнетизъм“, „Променлив ток“. – Постоянен и променлив ток – ефективни стойности, приложения. – Разграничаване на прав и променлив ток; защо електролизата работи само с прав ток.

6. клас – Човекът и природата

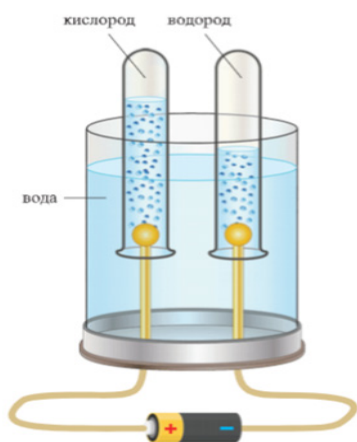
Учебната програма в 6. клас по интердисциплинарния предмет *човекът и природата*², в който са застъпени в три модула, в които са равно представени

предметите физика, химия и биология, включва изисквания за усвояване на знания и умения в частта физика и химия, които се отнасят до: движението на телата, различните видове сили, налягането в течности и газове, основните електрични и магнитни явления, строежа на вещества и характерните им свойства.

Необходимите опорни знания и умения за осмислянето на електролиза на вода са застъпени с еднаква важност в частите физика и химия. Във физичната част – при електричните явления – какво е електричен ток? – насочено движение на електрони в проводници, елементите на проста електрическа верига – батерия (източник), лампа (консуматор), прекъсвач, както и проводници. Какво са проводници? – материали, които провеждат електричен ток, примери – метали, графит. За какво служат изолаторите? – материали, които не провеждат ток – пластмаса, гума. Всички тези опорни знания ще са необходими за разбирането на различните източници на напрежение, които са необходими, за да протече процесът – в нашия случай батерия или токоизправител. При химичната част се застъпват знанията относно свойствата и получаването на газовете водород и кислород, както и за вида на химичната реакция – химично разлагане – от едно изходно вещество се получават два или повече продукта.

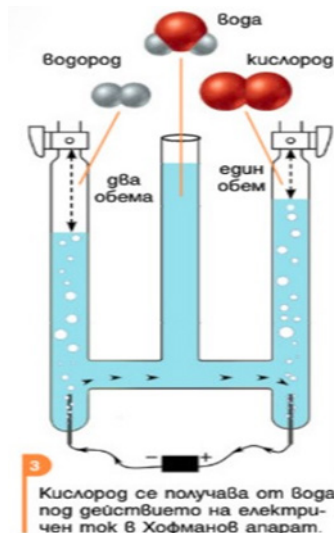
Учениците ще наблюдават получаването на газовете експериментално, а научаването на свойствата ще подпомогне след това за успешното доказване на получилия се водород. Ще видят пред себе си химично разлагане и ще разберат какво стои зад уравнението – вода $\xrightarrow{\text{ел.ток}}$ водород и кислород.

В трите издателства, посочени по-горе, електролизата е спомената в урока „Получаване на кислород. Химично разлагане“ с това, че е физичен промишлен метод за получаване на водород и кислород под действието на електричен ток от евтиния ресурс вода, като в издателствата „Педagog 6“ (Gradinarova et al., 2017) и „Клет България – Анупис“ (Shishinyova et al., 2017) са показани и схеми (фиг. 1), по които учителят би могъл да обясни процеса по-детайлно, да наблегне на източника на електричен ток и полюсите му от физична гледна точка, как протича токът, от какъв материал е направен проводникът, с какъв материал е покрит отгоре. От химична гледна точка, може да се обърне внимание на това какви газове се получават, как можем да ги докажем, какви физични и химични свойства имат, кои са признаците и условията, за да протече химичната реакция, какъв вид е тя – колко са изходните вещества и колко продуктите. Във всички учебници, и на трите издателства, има предвидени лабораторни упражнения за получаване на водород и кислород чрез различни методи. Това също би бил много благодатен момент за реализирането на експеримента, защото е възможно да бъде лабораторно упражнителен урок за всички знания, натрупани до момента.



Фиг. 1. Апарат за получаване на кислород от вода с помощта на електричен ток

а



Кислород се получава от вода под действието на електричен ток в Хофманов апарат.

б

Фигура 1. Схеми за получаване на газовете кислород и водород в учебниците за 6. клас на а) „Клет България – Анубис“ и б) „Педагог б“

7. клас – Физика

В учебната програма по *физика и астрономия* в 7. клас обучението е насочено към областите „Електричество“, „Светлина и звук“, „От атома до Космоса“ и „Наблюдение, експеримент и изследване“. Присъстват изисквания за усвояване на знания и формиране на умения за електрични, светлинни и звукови явления, за строежа на атома и атомното ядро, за Слънчевата система и за Вселената, като цяло. Опорните знания за разбирането на демонстрационния експеримент се усвояват в първия раздел – „Електричество“ – „Определя тока като електричен заряд, преминал през напречното сечение на проводника за единица време, и напрежението като мярка за енергията, която електричните заряди отдават на консуматора или получават от източника. Назовава видове източници на електрично напрежение и за начина им на свързване в електрическа верига, прилага мощност на електричния ток“³.

В учебниците на трите издателства, които сравняваме (Gradinarova et al., 2024; Zlatkova et al., 2024a; Maksimov & Ruseva, 2024), в еднаква степен е застъпено теоретичното знание и има еднакво застъпени видове лабораторни упражнения – физични измервания и обработка на експериментални резултати, измерване на електричен ток и електрично напрежение,

изследване на електрически вериги с два последователно или успоредно свързани консуматора. Прави впечатление, че в издателство „Клет България – Анубис“ лабораторното упражнение за последователно и успоредно свързване на консуматори е разделено на две, което дава повече възможности за експерименти само за последователно и само за успоредно свързване и съответно по-задълбочено разбиране и усвояване от страна на учениците. В урока за последователно свързване, макар и за нашата демонстрация да работим само с един източник, без проблем могат да се свържат два и отново да се припомнят базовите знания за електричен ток, напрежение, проводници и изолатори, както и промишлени методи за получаване на газовете водород и кислород и химично разлагане (междупредметна връзка с химията и преговор на знанията, натрупани в 6. клас).

8. клас – Химия

Учебната програма по химия и опазване на околната среда за 8. клас включва изисквания за усвояване на основни знания и формиране на умения, отнасящи се до: „строеж на атома и химична връзка; строеж, свойства и приложение на метали, неметали и техни съединения; провеждане на експерименти и представяне на резултати от тях“. Опорните знания за разбирането на електролиза на вода са натрупани в 6. и 7. клас в часовете по човекът и природата и физика, като в 8. клас те могат да бъдат използвани при изучаването на неметалите от VI A група на Периодичната система, в която присъства кислородът като първи представител. Друга ключова компетентност, застъпена в учебната програма, е „ученикът да описва наблюдения, резултати и изводи от проведен химичен експеримент в протокол по образец“, която успешно бихме упражнили с наблюдението на електролиза на вода⁴.

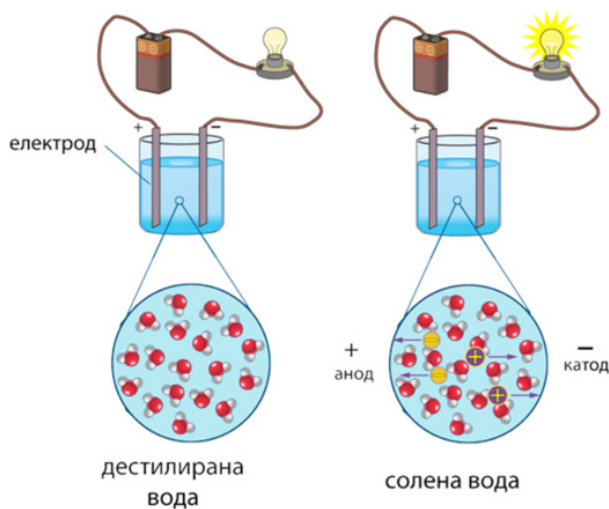
И в трите издателства (Pavlova et al., 2024a; Tsakovski et al., 2024a; Kostadinov et al., 2024) са застъпени по-сериозно свойствата на сярата, тъй като кислородът е изучаван много подробно в 6. клас. Това ни дава възможност за преход от получаване на кислород, доказването му с тлееща треска, като представител на групата, към химичните свойства на елементите от VI A група. Освен това се засяга новото знание – алотропия – свойството на атомите да имат повече от едно просто вещество. Обръща се внимание на двете алотропни форми на кислорода – двуатомен кислород и озон, а електролизата ще бъде метод за получаване на газа, който поддържа дишането и горенето.

9. клас – Физика

Учебната програма по физика и астрономия в 9. клас обучението е насочено към области на компетентност „Електричество и магнетизъм“, „Трептения и

вълни“ и „Наблюдение, експеримент и изследване“. В програмата е заложено обучението в 9. клас да се извършва на експериментална основа. Опорните знания за усвояването на електролизата са поставени в 7. клас и надградени в 9., а те са – „дефинира работа на електричния ток като произведение от пренесения през консуматора заряд и напрежението върху консуматора. Разбира и дава примери, че работата на тока е мярка за преобразуваната електрична енергия, а мощността на консуматора зависи от условията, при които той работи. Описва източниците на напрежение от гледна точка на трансформациите на енергия в електрическата верига“⁵.

В издателство „Клет България – Анубис“ (Zlatkova et al., 2024b) е споменато, че за да протече електричен ток, са необходими свободни заряди и електролитите предоставят положителни и отрицателни йони. В издателство „Клет България – Булвест 2000“ (Maksimov & Dimitrova, 2024) в урока „Електрично съпротивление“ има отделна точка „Водата – проводник или изолатор?“, в която е описан целият опит със сравнение между дестилирана и солена вода и обяснения (фиг. 2).



Фигура 2. Електропроводимост на вода в дестилирана и солена вода от учебника на „Клет България – Булвест 2000“

За по-любопитните се споменава и какво е галваничен елемент – „химичен източник на електрически ток, наречен в чест на италианския учен Луиджи Галвани. Той се състои от два проводника от различни метали, потопени в солен разтвор (електролит). Между проводниците (електродите) възниква

напрежение. По-късно, италианският учен Алесандро Волта изобретява електрическата батерия, която представлява стълб от последователно свързани галванични елементи“ (Maksimov & Dimitrova, 2024).

10. клас – Физика

В учебната програма по *физика и астрономия* в 10. клас обучението е насочено към области на компетентност „Електричество и магнетизъм“, „Трептения и вълни“, „Светлина“, „От атома до Космоса“ и „Наблюдение, експерименти и изследване“. Учебното съдържание е практически ориентирано, величините и закономерностите се изучават в тясна връзка с техните приложения в бита, съвременните комуникации и на различни индустриални и енергетични решения. Друга от застъпените теми е променливият ток, съответно учениците трябва да прилагат основни закономерности за ефективните стойности на променливия ток (Benova et al., 2019).

Електролизата на вода може да се използва при началния преговор и прехода към новия материал, като се дава възможност за разбиране на фундаменталния процес и неговите приложения в съвременния свят и да се обърне внимание на разликата между постоянен и променлив ток, както и постоянно и променливо напрежение и приложението им в бита и практиката⁶. Така например електролизата може да бъде използвана като пример за приложение на двата вида ток (постоянен и променлив). Използването на променлив ток, което води до постоянна смяна на поляритета на електродите, не води до значително натрупване на получените газове (H_2 и O_2), докато при постоянен ток това не е така и продуктите на електролиза са с много по-висок добив.

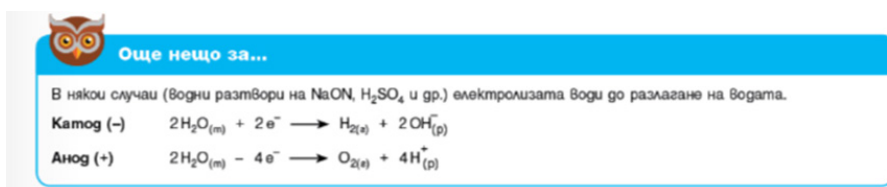
10. клас – Химия

Учебната програма по *химия и опазване на околната среда* за 10. клас включва изисквания за усвояване на основни знания за химичните процеси и класификацията им, общи свойства на разтворите, химични реакции във водни разтвори и приложението им, класификация на веществата и съвременни приложни аспекти на химията в областта на материалите, както и изисквания за формиране на умения за: „обясняване на процеси и явления, разкриване на причинно-следствени връзки и използване на научни данни и доказателства, планиране и провеждане на експерименти, както и обработване и представяне на резултати от изследователска дейност“. Основните знания, върху които ще стъпим за разбиране на процеса, обхващат целия раздел „Разтвори и химични реакции във водни разтвори“ – „описва разтварянето на веществата във вода; различава електролити и неелектролити по строеж и свойства; описва електролитната дисоциация на съединения във воден разтвор; различава силни и слаби електролити според степента на електролитна дисоциация;

определя окислител и редутор в примери на окислително-редукционни процеси, протичащи в разтвор; разбира промените, които се случват на анода и катода; може да идентифицира продуктите на двата електрода по време на електролизата; анализира текстове и схеми за приложения на окислително-редукционни процеси в практиката (електролиза, галванични елементи, батерии и акумулатори, получаване на метали и др.)⁷.

Освен това може да се стъпи и на опорните знания от раздел „Характеристики на химичните процеси“, в който се засягат скорост на химичната реакция и факторите, които влияят върху нея.

И в двете издателства, „Педагог 6“ (Pavlova et al., 2024b) и „Клет България – Анубис“ (Tsakovski et al., 2024b), са посочени теоретичните аспекти на метода, приложението му в практиката, като в учебника на „Педагог 6“ в рубриката „Още нещо за...“ (фиг. 3) е засегната електролизата на вода и съответно е подходящо да се демонстрира с експеримент.



Фигура 3. Рубрика „Още нещо за...“ относно електролиза на вода от учебника на „Педагог 6“

Посочените по-горе знания могат да се въведат, илюстрират или затвърдят чрез учебния експеримент за електролиза на водата (H₂O). Също така е възможно да се даде на учениците да работят самостоятелно. Това може да бъде много полезно за гимназистите в 10. клас, като ги запознае с практическите приложения на химичните процеси и електричния ток, като ще подпомогне и връзките между физиката и химията и ще запали интереса на учениците и ще ги ангажира в експерименталната физика и химия. Ако няма условия за работа, експериментът винаги може да протече само като демонстрационен.

Демонстрационни експерименти

За провеждане на учебните експерименти са необходими следните уреди и материали: бехерови чаши, епруветки, 9V батерия, токоизправител, проводници, вода, соли (Na₂SO₄, MgSO₄), NaOH, електроди (графит, медна жица, железен пирон) (фиг. 4).



Бехерови чаши и епруветки



9V батерия



Токоизправител



Графит



Меден проводник



Железен пирон

Фигура 4. Изображения на използваните уреди и материали

Демонстрация на електролиза с батерия

За начало е представен най-лесният и достъпен за изпълнение метод на експеримента, който включва използването на 9V батерия, потопена във вода, като към водата се добавя допълнително количество сол (Na_2SO_4 или MgSO_4). Йоните на тези соли ще ускорят електролизата и ще направят процеса по-ефективен и бърз. Този подход не само улеснява изпълнението на експеримента, но и позволява на учениците да наблюдават ефекта на електролизата с материали, които са на една ръка разстояние във всеки магазин и аптека. Това прави експеримента достъпен за изпълнение във всяка класна стая, като същевременно дава ценни уроци за процеса електролиза.

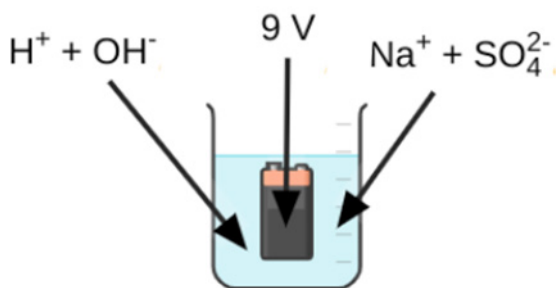
Ход на работата

Взима се бехерова чаша от 100 ml и в нея се наливат около 50 ml чешмяна вода (може и дестилирана, но ще трябва да се добави повече сол, защото в дестилираната вода няма свободни йони, които да подпомогнат електролизата, дестилираната вода е изолатор). Следващата стъпка е да се добавят 2 лъжици

сол Na_2SO_4 (силен електролит, който ще подпомогне процеса при пълното си дисоцииране $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$) и внимателно с помощта на пинсета се поставя 9V батерия в чашата (фиг. 5).



а



б

Фигура 5. а) Снимка на експеримента
и б) неговото схематично представяне

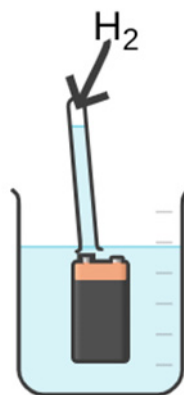
След известно време се наблюдава протичане на химична реакция и слабо отделяне на водород (балончета) на катода, към който се насочват водородните (H^+) и натриевите (Na^+) положителни йони, на анода, към който се насочват хидроксидните (OH^-) и сулфатните (SO_4^{2-}) отрицателни йони, не се наблюдава отделянето на кислород поради много по-малкия му добив (фиг. 6).



а



б



в

Фигура 6. а) Снимка на събралите се мехурчета водород на катода, б) тяхното събиране в епруветка и в) схематично представяне на процеса

След 5 мин. в епруветка, поставена над катода, се наблюдава успешното събиране на известно количество водород.

Предимствата на този експериментален подход са, че е изключително бърз, лесен и евтин, което го прави достъпен дори за училища без лаборатория. Също така, този метод не изисква специални умения в експерименталната физика и химия, което го прави подходящ за домашен експеримент за по-големи ученици, за да насърчи самостоятелното учене и изследователската

дейност извън класната стая. Освен това, всички необходими уреди и материали могат да се закупят от магазин и аптека. Наблюдава се успешно получаването на водород.

Недостатъците са, че не се наблюдава получаването на кислород и не може да се сравни количеството на двата газа и да се докаже, че добивът е 2:1 (водород : кислород), сравнително бавно започват да се отделят мехурчета водород, защото батерията е с по-малка мощност и съответно се нуждае от повече време и сол, която да подпомогне протичането на реакцията.

**Защо да не използваме NaCl?*

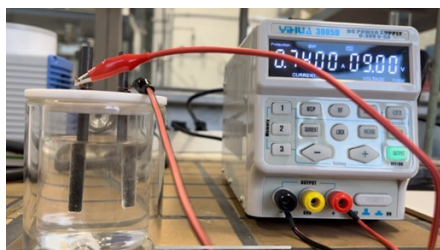
При дисоциацията на готварската сол във вода се получават натриеви положителни и хлоридни отрицателни йони ($\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$). Съответно в разтвора ще присъстват тези йони заедно с йоните на водата – водородни положителни и хидроксидни отрицателни ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$). На анода (положително заредения електрод) освен хидроксидните йони ще отидат и хлоридните, а според реда за относителна активност на анионите хлоридният йон е по-добър окислител и съответно той ще се отдели пръв и ще взаимодейства с получената се натриева основа. На катода ще отидат водородните положителни йони заедно с натриевите, като ще се отдели водород. В разтвора ни ще останат натриевите положителни и хидроксидните отрицателни йони. Методът се нарича хлоралкална електролиза и се използва в промишлеността за получаване на натриева основа (Pavlova et al., 2024b; Tsakovski et al., 2024b).

Демонстрация на електролиза с токоизправител

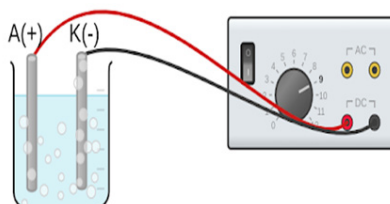
За да може да се сравняват резултатите между двата варианта на учебния експеримент при работата с токоизправител, напрежението е 9V, каквото е и на използваната батерия при първия вариант на експеримента.

Експеримент с графитен електрод

Към инертен графит, потопен във вода с разтворен в нея динариев сулфат (Na_2SO_4), с помощта на проводници с „крокодилчета“ свързваме токоизправител, подаващ напрежение 9V. Веднага след включването на захранването се наблюдава бурно отделяне на водород и кислород (фиг. 7).



а



б

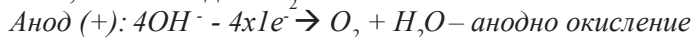
Фигура 7. а) Снимка на използваната установка
и б) нейното схематично представяне

Динатриевият сулфат се дисоциира на натриеви положителни и сулфатни отрицателни йони ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-}$). Съответно в разтвора ще присъстват тези йони заедно с йоните на водата – водородни положителни и хидроксидни отрицателни ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$). Графитът се използва за електрод поради своята висока електропроводимост и съответно при пропускането на електричен ток в разтвора протичат две основни химични реакции:

– на катода (отрицателно заредения електрод) протича катодна редукция на H^+ , при която се отделя H_2 :



– на анода (положително заредения електрод) се наблюдава анодно окисление на OH^- , като се отделя O_2 .



Токоизправителят, подаващ 9V, служи за източник на електрическа енергия, която е необходима, за да протече процесът електролиза.

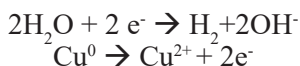
Експерименти с меден електрод (фиг. 8)

За да се провери ролята на електрода, реакцията е проведена с друг вид електрод (медна жица), за да наблюдаваме настъпилите промени, предизвикани от присъствието и различното поведение на медта.

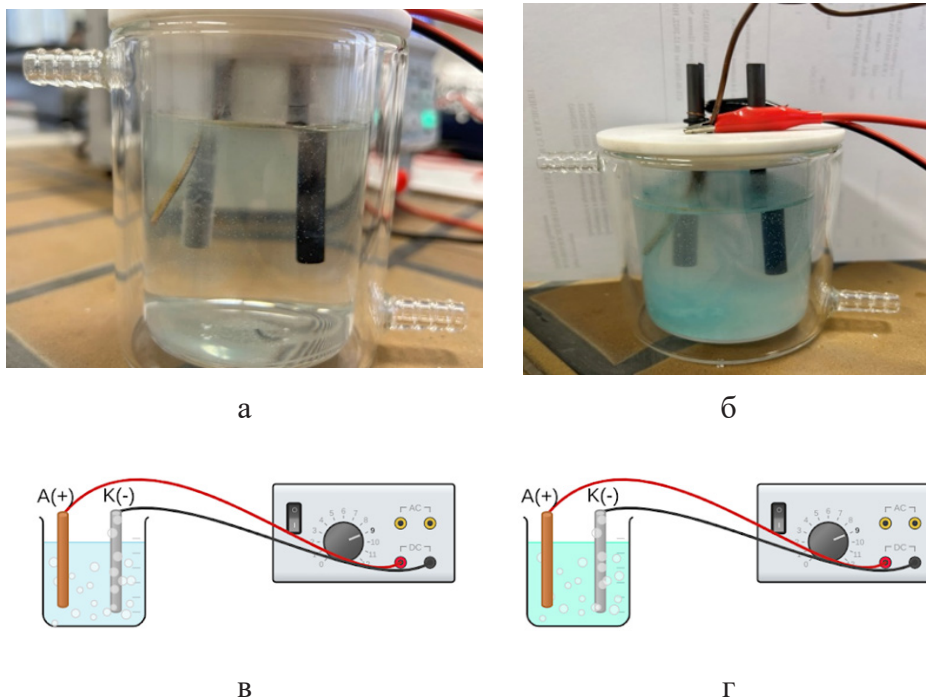
Към същата установка, описана по-горе – чаша с вода с разтворен Na_2SO_4 и свързана с източник на напрежение, за единия графит е закачена жица (може анодът да се замени с меден проводник, но в нашата установка вече беше фиксирано свързването на извода на източника на напрежение с графитния електрод). След потапяне в разтвора и пускане на източника се наблюдават следните промени – разтворът позеленява, защо?

Медта играе роля на анод (свързана е с положителния край, съответно е положителният електрод) и на нея се отделят хидроксидните йони, които я окисляват от Cu^0 до Cu^{2+} . След като се образуват медните йони Cu^{2+} , те могат

да реагират със сулфатните йони SO_4^{2-} в разтвора, които присъстват там от Na_2SO_4 , образувайки CuSO_4 , който е зелен и води до синьо-зеленото оцветяване на водата.



Следователно синьо-зеленото оцветяване на водата може да се обясни с реакцията между медните йони и разтворения динатриев сулфат, даващ сулфатни йони, която води до образуване на меден сулфат (CuSO_4).

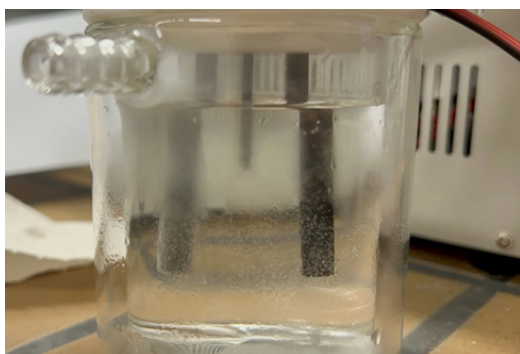
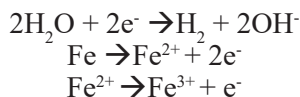


Фигура 8. Снимки на а) начало и б) край на експеримента с меден електрод, както и схематичното им представяне в) и г)

Експерименти с железен електрод

Бяха направени експерименти и с трети вид електрод – железен (железен пирон от железария). На мястото на анода в същата установка, но с нов разтвор на електролит, свързваме проводника с железен пирон (фиг. 9). След подаване на напрежение отново наблюдаваме бурно отделяне на водород и кислород, но след известно време във водата започна да се появява ръждиво оцветяване. Защо?

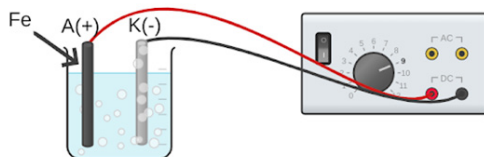
Желязото е анод в реакцията и на него се отделят хидроксидни йони, които го окисляват до Fe^{3+} . След като се образуват желязните йони, те се хидратират, като образуват комплексен йон с водата, който води до ръждивото оцветяване на разтвора.



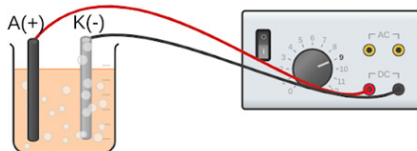
а



б



в



г

Фигура 9. Снимки на а) начало и б) край на експеримента с желязен електрод, както и схематичното им представяне в) и г)

Една от целите на експеримента е да се събере количество водород и кислород в епруветки, поставени над графитните електроди, за да няма странични продукти и замърсяване на разтвора.

Успешно е събрано задоволително количество водород, който бе доказан със запалена клечка, придружен със специфичен звук „пук“.

При тези условия на провеждане на експеримента, за съжаление, не е възможно да се събере достатъчно кислород, за да се наблюдава съотношението 2:1 на получените се газове и да се докаже кислородът

с тлееща треска. Този неуспех може да бъде свързан с различни фактори, свързани с неефективността на електролизата (комбинацията електрод – електролит) за отделяне на задоволително количество кислород.

Експерименти с железен и графитен електрод с електролит NaOH

За провеждане на тези експерименти беше направена електролизна клетка с подръчни материали – пластмасова кутия за храна, графитни или железни електроди, като за електролит е използван разтвор на 3 M NaOH, за да няма допълнителни аниони в разтвора. Използваното напрежение отново е 9V.

Защо се наложи смяна на електролита?

Използваната натриева основа е силен електролит ($\alpha = 84$ за 1 M) като същевременно в разтвора има по-малко аниони, насочващи се към анода, които да се конкурират, и съответно ще протекат по-малко реакции в разтвора. Концентрацията на OH^- е повишена, което е необходимо за успешното получаване на кислород.

Натриевата основа се дисоциира на натриеви положителни и хидроксидни отрицателни йони ($\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$). Съответно в разтвора ще присъстват тези йони, заедно с йоните на водата – водородни положителни и хидроксидни отрицателни ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$). Графитът се използва за електрод поради своята висока електропроводимост и съответно при пропускането на електричен ток в разтвора протичат две основни химични реакции:

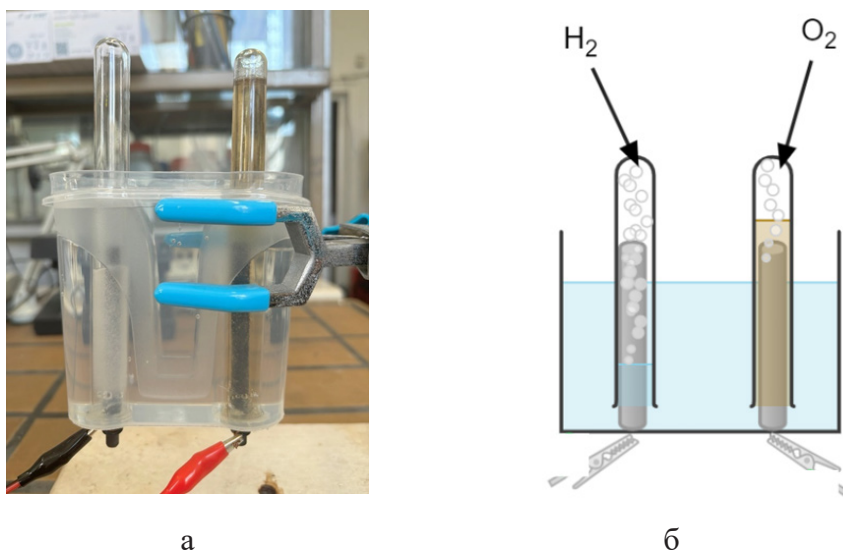
– към катода се насочват натриевите положителни и водородните положителни йони, но тъй като водородът е по-добър окислител от натрия, се отделя той:

Катод (-): $2 \text{H}^+ + 2.1 e^- \rightarrow 2 \text{H}^\circ \rightarrow \text{H}_2$ – катодна редукция

– на анода се наблюдава анодно окисление на единствените отрицателно заредени йони в разтвора OH^- , като се отделя O_2 :

Анод (+): $4 \text{OH}^- - 4.1 e^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ – анодно окисление

Макар успешно да се получават водород и кислород, при това изпълнение не може да се докаже количеството 2:1 на газовете. Причината е, че започват да протичат странични реакции на положително заредения електрод, свързани с отделяне на атомен кислород. Както е известно, той е силен окислител, въглеродът взаимодейства с него и разтворът се замърсява (фиг. 10).



Фигура 10. а) Снимка на използваната електролизна вана и б) нейното схематично представяне

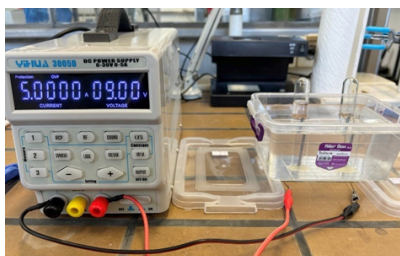
От литературата е известно, че по-подходящ електрод от графитния за получаване на кислород е железният (Lazarov, 2006). При електролиза на някои вещества приложеното напрежение U , необходимо за да започне процесът на разлагане, е по-високо от разложителния потенциал на съответното съединение. Тази разлика между изчисленото и намереното разложително напрежение се нарича *свръхнапрежение* – η (Lazarov, 2006; Kirkova, 2001).

Свръхнапреженията на графит и неръждаема стомана при 25°C са представени в таблица 2 (Heard & Lennox, 2020).

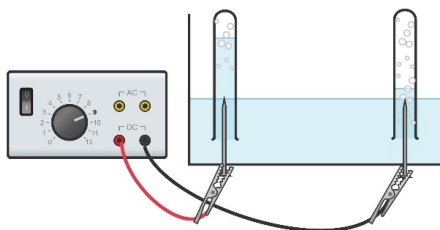
Таблица 2. Свръхнапрежение на използваните електроди

Електроден материал	η	
	водород	кислород
Графит	-0,47 V	+0,50 V
Неръждаема стомана	-0,42 V	+0,28 V

Поради тази разлика в стойностите на свръхнапрежението и по-малката бариера за преминаване (колкото е по-голяма стойността на η , толкова по-трудно се получават желаните продукти), успешно се получава кислород в отношението 2:1 на двата газа. Експериментът бе проведен при същите условия – 3 М натриева основа и 9V напрежение, подадено от токоизправителя (фиг. 11).



а



б

Фигура 11. а) Установка за получаване на газовете водород и кислород в съотношение 2:1 и б) нейното схематично преставане

Методически указания

От анализа на учебните програми става ясно къде е подходящо да се използва електролизата на вода. Сега ще разгледаме как, къде и по какъв начин може да се поднесе демонстрацията.

Във всеки клас (без значение дали се въвеждат нови знания, или се прави преговор в различните години), за да се наблюдава експериментът от различни аспекти, е препоръчително да се започне с обяснение/ преговор какво е електролиза и за какво се използва в практиката.

В 6. клас – Човекът и природата

Шести клас е един от най-благогатните класове за въвеждането на експеримента, защото има застъпени почти всички аспекти в учебната програма – електричен ток, получаване на водород и кислород и свойствата им. Подходящо време за реализираното му би било в химичната част, когато се говори за газовете, защото там се споменава терминът „електролиза“ като промишлен метод за получаване на водород и кислород от евтини суровини – вода. В урока за водород би било подходящо да се покаже бързият и лесен опит с батерията в чашата с вода, защото там отчетливо се наблюдава отделянето му. В лабораторния урок за получаване на водород и кислород може да се използва демонстрацията с токоизправителя и получаването на двата газа,

Друг вариант на реализирането е преди урок за нови знания, например „Получаване и свойства на водород“, за да се активира любопитството на учениците, като се покаже батерия в чаша с вода и излизащи балончета в едната част на източника на електричен ток.

В 7. клас – Физика

В 7. клас тази демонстрация би била подходяща за начален преговор, когато се припомнят основните термини при електричество:

- определение за ток;
- видове електрични заряди;
- йоните в разтвори като носители на заряд;
- металите като проводници на електричен ток, свободни електрони;
- проводници и изолатори;
- източници на напрежение.

По-подходяща за преговор на електрически вериги е демонстрацията с токоизправител, защото има повече части от проста електрическа верига.

Друг вариант за коментиране на експеримента е в урок, предназначен за лабораторно упражнение. Може да се направи сравнителен анализ на експеримента от първи и втори вариант, защо и двата източника са 9V, но при единия не се наблюдава отделяне на кислород.

Учениците могат да наблюдават, че при различните електроди при постоянно напрежение (9V) се получават различни стойности на тока, защото металите имат различно съпротивление.

В 8. клас – Химия

Електролизата е подходяща при изучаването на неметалите от VIA група на Периодичната система, в която присъства кислородът. В началото на този раздел е подходящо да се припомни електролизата като метод за получаване на кислород, както и кои видове йони отиват към двата електрода – положителен и отрицателен.

Важно е да се обърне внимание и на носителите на електричните заряди в разтвора на електролита – в този случай преносът на електрически заряди се осъществява от йоните.

Препоръчително е да се преговори и какво представлява процесът дисоциация и как се дисоциира нашият разтворен електролит – динариевият сулфат (Na_2SO_4).

В 8. клас в часовете по химия се въвежда и явлението алотропия – свойството на атомите да имат повече от едно просто вещество. Експериментът ни демонстрира метод за получаване на една от двете алотропни форми на кислород.

В 9. клас – Физика

В 9. клас отново присъства разделът „Електричество“, поради което могат да се използват всички посочени по-горе примери от 7. клас, като се наблегне на приложението на електричния ток в промишлеността.

Възможно е експериментът да се разгледа и от друга страна – освен да се изследва влиянието на различни видове електроди, може да се използва различен разтвор и да се направи сравнителен анализ на електропроводимостта и съответно протичането на електролиза в дестилирана и в солена вода.

В 10. клас – Физика и химия

В 10. клас в часовете по *химия и физика* електролизата може да се разгледа от повече страни и по-задълбочено, тъй като вече в часовете по химия гимназистите се запознават отблизо с процеса. Учениците могат да се запознаят с кинетиката на процеса – от какво зависи скоростта на електролизата: от вида на електродите, от мощността на източника на електричен ток, от концентрацията на електролитите, както и от вида им – силни или слаби. Възможно е да се обърне внимание на окислително-редукционните процеси и термините, застъпени в тях – редуктор, окислител, окисление и редукция, какво представлява степенята на окисление, промяната ѝ, както и прехода на електрони.

Видът на електродите оказва влияние върху електролизата, както обсъдихме в експерименталната част. Например електродите могат да бъдат изработени от различни материали, които имат различни характеристики и могат да влияят както на скоростта, така и на продуктите на реакциите.

Мощността на източника на електрично напрежение, използван за електролиза, също влияе върху скоростта на процеса, като по-голямата мощност води до увеличаване на скоростта на електролизата.

Концентрацията на електролитите в разтвора играе също важна роля в скоростта на електролизата. По-голямата концентрация на електролитите обикновено води до по-бърза електролиза, тъй като повече йони участват в реакциите.

Електролитите могат да бъдат разделени на силни и слаби в зависимост от тяхната способност да се дисоциират в разтвор. Силните електролити се дисоциират почти напълно в разтвора, докато слабите електролити се дисоциират частично. Различният вид на електролитите може да влияе на ефективността на електролизата отново заради броя на йоните, които подпомагат процеса.

Друг аспект, на който може да се обърне внимание, е, че електролизата играе ключова роля в промишлеността, като предоставя възможности за производство на разнообразни химически вещества и материали. Например електролизата на разтвор на алуминиев оксид е основният метод за производство на алуминий, който се използва в различните индустрии.

В промишлеността електролизата се използва за производството на различни химикали като хлор, натриев хидроксид и други. Тези вещества се използват в много процеси и производство на продукти.

Споменатият метод се използва за производство на водород и кислород, които имат приложение като горива в горивни клетки за превозни средства, електроцентрали и други приложения.

Изводи и обобщения

В съвременното образование все повече се подчертава важноста на интердисциплинарните подходи за по-добро разбиране и асимилиране на учебния материал. Интердисциплинарните уроци, които обединяват знания от различни предмети, не само улесняват усвояването на сложни концепции, но и демонстрират на учениците как наученото в клас може да бъде приложено в реалния свят. Една от главните цели на настоящата статия е именно да се покаже, че с един нескъп, достъпен, лесен за изпълнение експеримент могат да се засегнат учебното съдържание и аспекти на образователната програма от 6. до 10. клас по учебните предмети физика и химия, като същевременно доведе и до по-доброто разбиране на процеса. Видимо за всички е, че двете науки вървят ръка за ръка и се допълват чрез този интердисциплинарен експеримент, разгледан от всичките му страни. Като започнем от електрически вериги, този експеримент позволява илюстриране и задълбочено изследване на огромен обем материал: видове електроди, електричен ток, напрежение, източник на напрежение, ток в различни среди, изучаване на разтвори, електролити и неелектролити, окислително-редукционни процеси, скорост и фактори, влияещи върху скоростта на химичните реакции. Всяка страна на експеримента (химична и физична) е засегната по различен начин през различните учебни години, като по преценка на учителя демонстрацията може да се постави както при въвеждане на нови знания, така и като опора за надграждане на изучен материал.

Експерименталният подход предоставя възможност за поставяне и изпълнение на разнообразни образователни цели и помага за създаване на интегрирано и цялостно разбиране на науките. В същото време, този подход позволява на по-големите ученици да прилагат изследователски подход в обучението си, което е от значение за изграждането на цялостни компетентности и умения.

БЕЛЕЖКИ

1. Ръкописът е одобрен за участие във Втория конкурс за научна статия „Природни науки и иновации в образованието“, посветен на 140 години от рождението на проф. Димитър Баларев
2. Учебна програма по ЧОВЕКЪТ И ПРИРОДАТА ЗА VI КЛАС – ОП – МОН, https://www.prirodninauki.bg/wp-content/uploads/2015/09/human_6kl.pdf
3. Учебна програма по ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ ЗА VII КЛАС – ОП – МОН, https://www.prirodninauki.bg/wp-content/uploads/2023/09/up_fizika_7kl_200121-1.pdf
4. Учебна програма по ХИМИЯ И ООС ЗА VIII КЛАС – ОП – МОН, https://www.prirodninauki.bg/wp-content/uploads/2015/09/chemistry_8kl.pdf
5. Учебна програма по ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ ЗА IX КЛАС – ОП – МОН, https://www.prirodninauki.bg/wp-content/uploads/2017/07/up_fizika_9kl_36.pdf
6. Учебна програма по ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ ЗА X КЛАС – ОП – МОН, https://www.prirodninauki.bg/wp-content/uploads/2017/07/pril8_up_10kl_physics.pdf
7. Учебна програма по ХИМИЯ И ООС ЗА X КЛАС – ОП – МОН, https://www.prirodninauki.bg/wp-content/uploads/2017/07/pril9_up_10kl_chemistry.pdf

ЛИТЕРАТУРА

- Бенова, Е., Градинарова, М., Балабанов, Н., Велчев, Н. (2019). *Физика и астрономия за 10. клас*. Педагог 6.
- Градинарова, М., Бенова, Е., Велчев, Н. (2024). *Физика и астрономия за 7. клас*. Педагог 6.
- Градинарова, М., Бенова, Е., Павлова, М., Бояджиева, Е., Кирова, М., Иванова, В., Цанова, Н., Томова, С. (2017). *Човекът и природата за 6. клас*. Педагог 6.
- Златкова, Е., Дянков, Г., Илиева, Е., Маринова В. (2024a). *Физика и астрономия за 7. клас*. Клет България – Аноубис.
- Златкова, Е., Дянков, Г., Янакиева, К. (2024b). *Физика и астрономия за 9. клас*. Клет България – Аноубис.
- Киркова, Е. (2001). *Обща химия*. УИ „Св. Климент Охридски“.
- Костадинов, М., Даналев, Д., Овчарова, Л., Йотова, М., Бенева, С. (2024). *Химия и опазване на околната среда за 8. клас*. Клет България – Булвест 2000.
- Лазаров, Д. (2006). *Неорганична химия*. УИ „Св. Климент Охридски“.

- Максимов, М., Димитрова, И. (2024). *Физика и астрономия за 9. клас*. Клет България – Булвест 2000.
- Максимов, М., Русева, Г. (2024). *Физика и астрономия за 7. клас*. Клет България – Булвест 2000.
- Павлова, М., Кирова, М., Бояджиева, Е., Върбанова, Н., Иванова, В., Кръстев, А. (2024а). *Химия и опазване на околната среда за 8. клас*. Педагог 6.
- Павлова, М., Кирова, М., Бояджиева, Е., Върбанова, Н., Иванова, В., Андонова, А., Рангелова, В. (2024b). *Химия и опазване на околната среда за 10. клас*. Педагог 6.
- Цаковски, С., Василева, П., Генджова, А., Толев, Б., Шуманова, Г. (2024а). *Химия и опазване на околната среда за 8. клас*. Клет България – Аноубис.
- Цаковски, С., Генджова, А., Василева, П., Толев, Б., Дочева, М., Атанасов, К. (2024b). *Химия и опазване на околната среда за 10. клас*. Клет България – Аноубис.
- Шишиньова, М., Цаковски, С., Генджова, А., Златкова, Е., Илиева, Е., Банчева, Л., Враджалиева, И. (2017). *Човекът и природата за 6. клас*. Клет България – Аноубис.

REFERENCES

- Benova, E., Gradinarova, M., Balabanov, N., & Velchev, N. (2019). *Fizika i astronomiya za 10. klas*. Pedagog 6. [In Bulgarian]
- Gradinarova, M., Benova, E., & Belchev, N. (2024). *Fizika i astronomiya za 7. klas*. Pedagog 6. [In Bulgarian]
- Gradinarova, M., Benova, E., Pavlova, M., Boyadzhieva, E., Kirova, M., Ivanova, V., Tsanova, N., & Tomova, S. (2017). *Chovekat i prirodata za 6. klas*. Pedagog 6. [In Bulgarian]
- Heard, D. M., & Lennox, A. J. (2020). Electrode Materials in Modern Organic Electrochemistry. *Angewandte Chemie International Edition*, 59(43), 18866 – 18884. <https://doi.org/10.1002/anie.202005745>.
- Huri, N. H. D., & Karpudewan, M. (2019). Evaluating the Effectiveness of Integrated STEM-lab Activities in Improving Secondary School Students' Understanding of Electrolysis. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 495 – 508. <https://doi.org/10.1039/C9RP00021F>.
- Kirkova, E. (2001). *Obshta khimiya*. Universitetsko izdatelstvo "Sv. Kliment Ohridski". [In Bulgarian]

- Kostadinov, M., Danalev, D., Ovcharova, L., Yotova, M., & Beneva, S. (2024). *Khimiya i opazvane na okolnata sreda za 8. klas*. Klet Balgariya – Bulvest 2000. [In Bulgarian]
- Lazarov, D. (2006). *Neorganichna khimiya*. Universitetsko izdatelstvo “Sv. Kliment Ohridski”. [In Bulgarian]
- Maksimov, M., & Dimitrova, I. (2024). *Fizika i astronomiya za 9. klas*. Klet Balgariya – Bulvest 2000. [In Bulgarian]
- Maksimov, M., & Ruseva, G. (2024). *Fizika i astronomiya za 7. klas*. Klet Balgariya – Bulvest 2000. [In Bulgarian]
- Pavlova, M., Kirova, M., Boyadzhieva, E., Varbanova, N., Ivanova, V., & Krastev, A. (2024a). *Khimiya i opazvane na okolnata sreda za 8. klas*. Pedagog 6. [In Bulgarian]
- Pavlova, M., Kirova, M., Boyadzhieva, E., Varbanova, N., Ivanova, V., Andonova, A., & Rangelova, V. (2024b). *Khimiya i opazvane na okolnata sreda za 10. klas*. Pedagog 6. [In Bulgarian]
- Shishinyova, M., Tsakovski, S., Gendzhova, A., Zlatkova, E., Ilieva, E., Bancheva, L., & Vradzhalieva, I. (2017). *Chovekat i prirodata za 6. klas*. Klet Balgariya – Anubis. [In Bulgarian]
- Tsakovski, S., Vasileva, P., Gendzhova, A., Tolev, B., & Shumanova, G. (2024a). *Khimiya i opazvane na okolnata sreda za 8. klas*. Klet Balgariya – Anubis. [In Bulgarian]
- Tsakovski, S., Gendzhova, A., Vasileva, P., Tolev, B., Docheva, M., & Atanasov, K. (2024b). *Khimiya i opazvane na okolnata sreda za 10. klas*. Klet Balgariya – Anubis. [In Bulgarian]
- Zlatkova, E., Dyankov, G., Ilieva, E., & Marinova, V. (2024a). *Fizika i astronomiya za 7. klas*. Klet Balgariya – Anubis. [In Bulgarian]
- Zlatkova, E., Dyankov, G., & Yanakieva, K. (2024b). *Fizika i astronomiya za 9. klas*. Klet Balgariya – Anubis. [In Bulgarian]

WATER ELECTROLYSIS: AN INTERDISCIPLINARY EXPERIMENT IN PHYSICS AND CHEMISTRY

Abstract. The electrolysis of water is an experiment studied in chemistry and physics education across different grades and stages, with each level emphasizing various aspects of the process. This article presents two methods for demonstrating the process of water electrolysis that can be integrated into the teaching of chemistry and physics, taking into account the different levels of the educational process. Through an analysis of curricula and textbooks, the paper

discusses in which grades and on which topics this demonstration experiment is most appropriately applied. Water electrolysis provides a clear and visual way to demonstrate the interdisciplinary connections between physics and chemistry, as well as key concepts from the curriculum. Several easy-to-perform versions of the experiment are proposed, using simple and inexpensive apparatus that can be found in a standard school laboratory or store. The goal is to make the experiment accessible to teachers so that it can be applied under various teaching conditions.

The article discusses different demonstration options using various electrodes and electrolytes, which allow for a deeper understanding of the electrochemical processes related to different aspects of the educational material. By appropriately integrating the experiment into the curriculum, students will be able to better understand complex theoretical concepts and connect them with practical observations.

Keywords: chemical education; water electrolysis; interdisciplinary bonds

✉ **Ivelina Plamenova Madzharova**

Scopus Author ID: 57958990900

127th “Ivan N. Denkoglu” Secondary School
Sofia, Bulgaria

E-mail: ivelina.pla.madzharova@denkoglu.org

E-mail: c.andreeva@phys.uni-sofia.bg

✉ **Assoc. Prof. Dr. Christina Andreeva Markovska**

ORCID iD: 0000-0001-5549-2485

Scopus Author ID: 6602669743

WoS ResearcherID: EKO-1591-2022

Faculty of Physics
Sofia University “St. Kliment Ohridski”
Sofia, Bulgaria

✉ **Prof. Dr. Martin Petrov Tsvetkov, Corresponding Author**

ORCID iD: 0000-0003-2917-5376

Scopus Author ID: 56624205100

WoS ResearcherID: AAL-5598-2021

Faculty of Chemistry and Pharmacy
Sofia University “St. Kliment Ohridski”
Sofia, Bulgaria

E-mail: nhmt@chem.uni-sofia.bg