

УЧЕНИЧЕСКИ ПОГРЕШНИ СХВАЩАНИЯ, СВЪРЗАНИ С ХИМИЧНОТО РАВНОВЕСИЕ

Кирил Атанасов, Александрия Генджова
Софийски университет „Св. Климент Охридски“

Резюме. Химичното равновесие е една от най-сложните и важни теми в училищния курс по химия. Определянето на същността, намирането и разкриването на ученическите погрешни схващания (алтернативни концепции), свързани с него, е от значение както за теорията на науката за образованието, така и за нейната практика. Настоящото изследване има за цел да идентифицира погрешните схващания, свързани с химично равновесие на 17 – 19 г. български ученици от XI и XII клас, изучаващи предмета „Химия и опазване на околната среда“ по програма за профилирана подготовка. За целта е използван диагностичен тест с 21 тестови задачи, повечето от тях са двустепенни за установяване на взаимовръзки. Като помощен инструмент за изследване е прилагано и полуструктурирано интервю с ученици. Финалният вариант на теста е валидиран от експерти. Надеждността на теста е 0,8. В тестирането участват общо 400 ученици ($N = 400$) на възраст 17 – 19 години, от които 226 момичета и 174 момчета. Резултатите от изследването показват, че средно 34% от гимназистите имат погрешни схващания, свързани с химичното равновесие. Установени са 16 мисконцепции в 6 области на концептуални затруднения – дефиниране и установяване на химично равновесие; промени в равновесните условия; равновесни хетерогенни системи; функция на катализатора; изразяване на равновесна константа; обръкване на кинетика и химична термодинамика.

Ключови думи: погрешни схващания; алтернативни концепции; химично равновесие chemical equilibrium; проблеми в обучението; ученици

Увод

Химичното равновесие се възприема като една от най-важните и същевременно най-трудните теми за учениците в училищния курс по химия (Finley et al, 1982; Camacho & Good, 1989; Bergquist & Heikkinen, 1990; Garnett et al, 1995; Quilez-Pardo & Solaz-Portolés, 1995; Tyson et al, 1999; Pedros & Dias, 2000; Solomonidou & Stavridou, 2001). Неразбирането на принципите и идеите, свързани с химичното равновесие, и неспособността за пренасянето на

знанията за него в нови ситуации са източниците на трудности, с които се сблъскват учениците при изучаването на окислително-редукционни процеси (Allsop & George, 1982; Voska & Heikkinen, 2000), киселинно-основни равновесия (Banerjee, 1991; Camacho & Good, 1989; Voska & Heikkinen, 2000), разтворимост (Buell & Bradley, 1972; Voska & Heikkinen, 2000), както и изобщо за разбиране на общия курс по химия (Kousathana & Tsapalis, 2002).

Многобройни проучвания показват, че голяма част от затрудненията на учениците в осмислянето на химичните понятия се дължат на субективните концепции, чрез които учащите обясняват изучаваните природни явления.

Субективните мисловни модели, различни от общоприетите научни концепции, се наричат алтернативни концепции (alternative conceptions) или погрешни схващания (misconceptions) (Garnett et al., 1995; Taber, 2009; De Jong & Taber, 2014). Те се формират в резултат от личния опит, знания, възприятия и нагласи на учениците (Nakleh, 1992), но могат да се дължат на начина на преподаване на учителя, на съдържанието на учебниците или на други фактори (Taber, 2002).

Изключително важно е да се идентифицират алтернативните концепции на учениците, за да може да се потърсят причините за тях, както и подходящи начини за тяхното отстраняване, коригиране и замяна с правилни и стабилни.

Изследвания на ученически погрешни схващания, свързани с природата на химичното равновесие, се провеждат от 60-те години на XX век до днес в много страни. За оценката им се използват диагностични средства като интервюта, диагностични тестове с отворен отговор, с множествен отговор и многостепенни тестове и др. Идентифицираните алтернативни концепции, свързани с химичното равновесие, могат да се отнасят към различни области на знанието: обратимост на реакциите, дефиниране на химичното равновесие (Hackling & Garnett, 1985; Banerjee, 1991; Griffiths, 1994), динамичност (Bergquist & Heikkinen, 1990; Van Driel et al., 1999; Özmen, 2008), равновесна константа (Hackling & Garnett, 1985; Bergquist & Heikkinen, 1990; Özmen, 2008), влияние върху хомогенна и хетерогенна система в химично равновесие (Tyson et al., 1999; Voska & Heikkinen, 2000; Karpudewan et al., 2015), проблеми с прилагане на принципа на Льо Шателие – Браун (Maskill & Cachapuz, 1989; Bergquist & Heikkinen, 1990; Solaz & Quílez, 2001; Cheung, 2009), кинетика и равновесие (Banerjee, 1991; Erdemir et al., 2000; Sözbilir et al., 2010; Özmen, 2008), термодинамика (Banerjee, 1995; Van Driel & Gräber, 2002; Sözbilir et al., 2010).

Въпреки че погрешните представи и схващания на учениците, свързани с химичното равновесие, са обект на проучвания в други страни от няколко десетилетия, в България досега не са правени подобни изследвания.

Ето защо целта на настоящата работа е да се проведе изследване, което да диагностицира погрешните схващания, свързани с природата на химичното равновесие, на българските ученици от гимназиалния етап на обучение, обучавани по програма за профилирана подготовка по химия и опазване на околната среда.

Методология на изследването

В цялото изследване на погрешните схващания върху равновесието участват общо 800 ученици на 17 – 19-годишна възраст от XI и XII клас, които изучават химия като профилиращ предмет. Профилираните паралелки са избрани на случаен принцип. Те са от природо-математическите гимназии в градовете Плевен, Благоевград, Ловеч, Добрич, Варна, В. Търново, Гоце Делчев, Перник, от НПМГ – София, и от 119. СУ – София. Половината от учениците участват в пилотния вариант на теста. Финалният вариант на диагностичния тест е проведен с 400 ученици на възраст 17 – 19 години, от които 56,5% са момичета.

В програмите за профилирано обучение по „Химия и опазване на околната среда“ в средното училище темите, свързани с химично равновесие, се изучават първо на базово ниво през втората година на средното образование в X клас и на по-високо ниво – термодинамика в XII клас. Настоящото изследване на учениците е проведено след изучаването на химичното равновесие на базово ниво.

За изследване на погрешните схващания на учениците са използвани както качествени, така и количествени методи. За да се направят валидни изводи за ученическите погрешни схващания, се използват няколко диагностични инструмента. Основният инструмент е диагностичен тест, а подпомагащ – полуструктурирано интервю с ученици.

Процедурата за разработване на теста за диагностика на погрешни схващания е изпълнена по начин, аналогичен на описаното от Treagust (1988). Разработена е карта на понятията (concept map), свързани с химичното равновесие, изучавани до края на X клас (профилирано обучение), и очакваните резултатите от учениците според учебната програма за профилирано обучение. Прегледани са трите одобрени от МОН гимназиални учебника по химия, статии в списания за проучвания на алтернативни концепции по тези теми. Пилотната версия на теста е от 12 тестови задачи, обхващащи тези теми, като повечето въпроси са заимствани директно от научната литература. При разработване на пилотния вариант са използвани и ученически отговори на полуструктурираните интервюта, както и въпроси със свободен отговор. Така дистракторите, използвани в окончателната версия на теста, отразяват концепциите, определени от ученици на същото ниво на обучение.

В окончателния вариант на теста повечето тестови задачи са под формата на двустепенен диагностичен тест. Двустепенният диагностичен тест се разглежда като ефективен инструмент за оценка, за определяне на концептуалния подход към ученическото разбиране и алтернативните концепции (Treagust, 1988; Odom & Barrow, 1995; Chu et al., 2009; Tsui & Treagust, 2010). Задачите от този вид тест се наричат задачи за взаимовръзки (Tafrova – Grigorova, 2007). Първата степен за всеки тестов елемент се състои от въпрос с множествени изборни отговори, включващ познаване на съдържанието. Втората степен съ-

държа причината или обяснението на избора в първата степен и тя включва три-четири дистрактора и един верен отговор. Дистракторите представляват намерени алтернативни концепции от литературата, от интервюта и обяснения на учениците. Отговорът на даден елемент се счита за правилен, ако отговорът от първата степен и причината/обяснението са правилни. Окончателният вариант на диагностичния тест съдържа 21 тестови елемента.

Валидността на съдържанието на теста е определена от изследователи – експерти в областта на химическото образование. Те потвърдиха, че въпросите са подходящи за ученици, обучавани по програма за профилирана подготовка по химия. Надеждността на теста, определена по формулата на Спирман – Браун, е 0,8.

Тестовите задачи на финалния тест са подготвени за откриване на концептуалното разбиране на учениците, свързано с химическото равновесие, по въпросите за достигането и същността на химичното равновесие; равновесие в хетерогенни системи; промените в равновесните условия; функции на добавения катализатор и объркване на термодинамика. Разпределението им по области заедно с източниците, които са използвани, е показано на таблица 1.

Таблица 1. Разпределение на въпросите от теста по области и източниците им

Област на диагностициране	Елемент от теста	Източник
Дефиниране и установяване на химично равновесие	Q1, Q3, Q19	Turányia & Tóth (2013); Garnett & Hackling (1984); Özmen (2008); Karpudewan et al. (2015), SACE ¹⁾
Химично равновесие в хетерогенни системи	Q7, Q8, Q9	Quílez-Pardo & Solaz-Portolés (1995); Tyson et al. (1999); Özmen (2008); Karpudewan et al. (2015)
Промени в равновесните условия	Q5, Q6, Q10, Q14, Q18	Quílez-Pardo & Solaz-Portolés (1995); Banerjee (1991); Karpudewan et al. (2015); Tyson et al. (1999); Özmen (2008);
Функция на катализатора	Q4, Q17	Voska & Heikkinen (2000); Griffiths (1994)
Изразяване на равновесна константа	Q2, Q20, Q21	Quílez-Pardo & Solaz-Portolés (1995); Karpudewan et al. (2015); SACE ¹⁾
Объркване на кинетика, термодинамика	Q11, Q12, Q13, Q15, Q16,	Sözbilir et al. (2010); Özmen (2008)

Участниците в тестирането са информирани за целта на изследването. Те решават тестовите задачи по време на часовете по химия и опазване на околната среда. Времето, с което разполагат за решаването на диагностичния тест, е един учебен час от 40 мин.

При обработката на резултатите се изчислява процентът на правилните отговори за всяка от степените на теста. Отчита се и броят на грешните отговори на учениците, като се разглеждат тези, които са с относителна честота 20% или повече. Според Dhindsa & Treagust (2009) само ако неправилните отговори (дистракторите) са дадени от 20% или повече от учениците, те показват погрешно схващане на тестваните концепции. Същите автори предлагат критерий за задоволително разбиране на тестваната концепция, според който е необходимо поне 75% от учениците да дадат коректни отговори. Честотата на алтернативните концепции на учениците се изчислява въз основа на абсолютния и относителния брой на действителните отговори на учениците на тестовите елементи (задачи).

Резултати от изследването и обсъждане

Разработеният тест е приложен за извадка от 400 ученици от XI и XII клас и техните концепции и алтернативни концепции, свързани с химичното равновесие. След прилагането на теста всеки негов елемент (всяка тестова задача) е анализиран, за да се определи разбирането на учениците и да се идентифицират алтернативните концепции за химичното равновесие. Резултатите от проучването показват, че като цяло, няма задоволително разбиране на идеите за химичното равновесие. Установени са 16 алтернативни концепции при анализа на тестовите резултати. Оформят се шест области на концептуални трудности и свързаните с тях алтернативни концепции (таблица 2).

Таблица 2. Обобщение на откритите погрешни схващания на учениците с профилиращ предмет *Химия и опазване на околната среда*

Области и описание на погрешните схващания на учениците*	Брой действ. отг.	Честота на отг.	
		f брой	%
Дефиниране и установяване на химично равновесие			
Системата достига до състояние на химично равновесие, когато концентрациите на всички участващи вещества в равновесната смес се изравнят.	398	271	68
При установяване на химично равновесие правата реакция приключва, преди да започне обратната.	370	111	30
Промяна в равновесните условия			
Увеличаване на концентрацията на един от продуктите не променя равновесната концентрация на изходните вещества.	400	127	32
При прибавянето на изходно вещество (независимо от неговата концентрация) към равновесна смес, при постоянно налягане и температура, винаги протича преимуществено правата реакция.	380	190	50

Прибавянето на инертен газ към система в равновесие, при постоянни температура и обем, повишава общото налягане и протича реакцията, водеща до получаването на по-малък брой молекули.	388	120	31
Функция на катализатора			
При добавянето на катализатор към система в състояние на химично равновесие се благоприятства реакцията, при която се образуват продуктите и се увеличава добивът.	400	127	32
Прибавянето на катализатор към система в състояние на химично равновесие, при постоянно налягане и температура, влияе по различен начин върху скоростите на правата и на обратната реакция.	395	91	23
Химично равновесие в хетерогенни системи			
Масата на твърдото вещество в равновесна хетерогенна система не се влияе от промени в концентрациите на останалите вещества.	393	126	32
Равновесната концентрация на разтвореното вещество в наситен разтвор се повишава при разбъркване.	400	279	70
За оценка на промените в равновесни системи винаги се използва принципът на Льо Шателие – Браун.	381	141	37
Изразяване и зависимости на равновесна константа			
В израза за равновесната константа, характеризираща състояние на равновесие на хетерогенна система, при постоянна температура и налягане, се включва и „концентрацията“ на веществата в кондензирана фаза.	400	79	20
Стойността на равновесната константа при постоянна температура се променя при промяна в концентрациите на реагентите или на продуктите.	380	114	30
Объркване на кинетика и химична термодинамика			
По-високата стойност на равновесната константа предполага по-висока скорост на реакцията (по-ниска стойност на равновесната константа предполага по-ниска скорост на реакцията).	381	206 (95)	54 (25)
Колкото по-висока е стойността на равновесната константа, толкова по-бързо се достига до равновесно състояние.	400	195	49
Екзотермичните реакции винаги протичат с по-голяма скорост (по-бързо винаги протичат ендотермичните реакции).	369	140 (74)	38 (20)
Ако реакцията е спонтанна, то за започването ѝ няма нужда от внасяне на допълнително количество енергия.	400	316	79
Ендотермичните реакции не могат да протичат самоволно.	400	311	78

Дефиниране и установяване на химично равновесие

Първият тестов елемент (Q1) разглежда система в равновесие при постоянни температура и налягане: $\text{PCl}_{5(g)} \rightleftharpoons \text{PCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$. Изходно

вещество е PCl_5 , с начална концентрация различна от нула. Знае се, че при достигане на равновесие по-голямата част от PCl_5 се е превърнала в PCl_3 и Cl_2 . Учениците трябва да изберат тази графика, която показва правилно изменението на концентрациите на веществата PCl_5 , PCl_3 и Cl_2 и да обяснят причините за избора си. Верен отговор на задачата дават 27% от гимназистите, а 25% са тези, които правилно отговарят и обясняват. За голяма част (68%) от учениците равновесните концентрации на всички участващи вещества се изравняват при установяване на химично равновесие. Обясненията за това явление са различни. Вероятна причина за това погрешно схващане е аналогията, която правят учениците с графиката за изравняване на скоростите на правата и обратната реакция при достигане на равновесие, дадена в училищните учебници.

Тестов елемент Q3 разглежда същата равновесна система в затворен съд с обем $V = 1 \text{ L}$ и $T = \text{const}$. При дадени стойности на K_c и начална концентрация на PCl_5 се търси сравнение на равновесните концентрации на PCl_3 и Cl_2 с началната концентрация на PCl_5 . Тук 55% от учениците дават верен отговор, а 51% правилно отговарят и се аргументират. 30% от учащите погрешно смятат, че равновесните концентрации на PCl_3 и Cl_2 са по-големи поради по-големия общ брой молекули на продуктите в сравнение с този на изходното вещество или защото правата реакция приключва, преди обратната да започне, т.е. първо изцяло изходното вещество се превръща в продукти и те след това се превръщат обратно в изходното вещество.

В задача Q19 е дадена равновесна система: $\text{N}_{2(\text{г})} + 3 \text{H}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2 \text{NH}_{3(\text{г})} + Q$, с която са извършени експериментални промени, представени графично. Учениците трябва да прочетат графиката и по данни за промените в концентрациите на участващите вещества в хода на реакцията да определят интервалите от време, в които посочената система се намира в равновесие. Общо 77% от тях са дали правилни отговори, а само 23% не се справят с разчитането на графиката.

Функция на катализатора

В задача Q4 се изисква сравняване на скоростта на правата и на обратната реакция при прибавяне на положителен катализатор към равновесна смес. 70% от учениците дават верен отговор, а 67% са тези, които и аргументират отговора си, обяснявайки, че катализаторът ускорява правата и обратната реакция в една и съща степен. 23% от гимназистите неправилно считат, че при прибавянето на положителен катализатор се увеличава скоростта на правата реакция, защото се увеличава броят на ефективните удари между частиците на изходното вещество и се получава по-голямо количество продукти.

Разбирането на ефекта от прибавяне на положителен катализатор към

равновесната смес се проверява и със задача Q17. Верен отговор дават 68% от тестираните. 32% от учениците мислят погрешно, че добавянето на катализатор към равновесна смес благоприятства образуването на продукти и добивът им се увеличава. Според някои автори (García-Lopera et al., 2014) учениците обръкват функцията на катализатора, защото го разглеждат като друг реагент.

Химично равновесие в хетерогенни системи

Разбирането на учениците за равновесие в хетерогенни системи се диагностицира за системата: $S_{(тв)} + H_{2(г)} \rightleftharpoons H_2S_{(г)}$, при $T, V = const$. В задача Q7 се изисква изразяване на равновесната константа. Голяма част от учениците (80%) се справят успешно с тази задача. 20% от гимназистите включват „концентрацията“ на твърдото вещество в израза за равновесната константа. Тук трябва да се отбележи затруднението на учениците да разберат, че понятието концентрация не важи за твърдите вещества, а активността им е 1 в състояние на равновесие.

В задача Q8 учениците са попитани дали се променя масата на твърдото вещество съра в системата при $T, V = const$, ако се изведе известно количество от газа водород. Близко половината ученици дават верен отговор на въпроса. 32% от гимназистите считат, че масата на сърата ще остане непроменена. Явно се допуска една от най-често срещаните грешки, която се свързва с асоциацията или отъждествяването на понятията маса и концентрация.

В задача Q9 се разглежда влиянието върху равновесната концентрация на водорода при извеждането от системата на известно количество съра, при $T, V = const$. Почти половината ученици (54%) преценяват, че равновесната концентрация на водорода няма да се промени, като правилно се аргументират 47%. В отговорите на 37% от тестираните се вижда, че те безкритично и неправилно прилагат принципа на Льо Шателие при система в равновесие, включваща вещества в твърдо състояние. Учениците твърдят, че при премахване на известно количество от твърдото вещество ще протече реакция, която ще противодейства на този ефект (Tyson et al., 1999).

Проблемът с твърдите вещества и чистите течности изчезва, ако се работи с активности, а не с концентрации (García-Lopera et al., 2014), но този въпрос е извън обхвата на средното училище.

Промяна в равновесните условия

Промените в равновесните условия се изследват със задачи Q5, Q6, Q10, Q14 и Q18. В първата задача Q5 към равновесната система $PCl_{5(г)} \rightleftharpoons PCl_{3(г)} + Cl_{2(г)}$ се прибавя инертен по отношение на реакцията газ (азот) при $T, p = const$. Това се оказва трудна задача за учениците и независимо че 27% от тях са посочили верния отговор, само 6% са го аргументирали

вярно. Поради това задачата се изключва от разглеждането.

В задача Q6 се разглежда отново влиянието на инертен по отношение на реакцията газ (азот) върху същата равновесна смес (Cl_2 , PCl_3 и PCl_5), но при T , $V = \text{const}$. Въпреки че по-голямата част от учениците (54%) стигат до верния извод, че равновесната система не се повлиява от добавянето на инертен газ, повечето от тях дават грешно обяснение. Само 22% от гимназистите разсъждават вярно, че причината за това е, че независимо от повишаването на общото налягане концентрациите на веществата не се променят. Близко една трета от учениците (31%) погрешно смятат, че внасянето на инертния газ благоприятства образуването на продукта PCl_5 . Безкритичното приложение на принципа на Льо Шателие – Браун води до грешните изводи, че при прибавянето на инертен газ при T , $V = \text{const}$ ще протече реакцията, при която повишаването на налягането да бъде сведено до минимум, т.е. ще протече реакцията, водеща до получаването на по-малък брой молекули (Driscoll, 1960). Тази задача би могла да се реши вярно, ако се използва изразът за равновесната константа (Quilez-Pardo & Solaz-Portolés, 1995).

Влиянието на промяната на концентрацията на едно от веществата в равновесната смес върху равновесния състав при T , $p = \text{const}$, се разглежда в задача Q18 въз основа на примера за дисоциацията на оцетната киселина. По-голямата част от учениците са наясно, че прибавянето на общ йон към разтвор на слаба киселина ще повлияе върху pH на разтвора. 32% от всички ученици погрешно предполагат, че увеличаването на концентрацията на един от продуктите не променя равновесните концентрации на изходните вещества.

Промените в някои външни условия не влияят върху равновесното състояние. 70% от учениците отговарят на задача Q14, че разбъркването на наситен разтвор на разтворимо твърдо вещество ще доведе до повишаване на равновесната концентрация на веществото в разтвора, т.е. чрез разбъркване се увеличава разтворимостта му. Тези алтернативни концепции са в резултат от липсата на знание както върху разтвори, така и върху химично равновесие.

В задача Q10 се разглежда разтвор на $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с концентрация 0,5 mol/L, в който се установява равновесието: $2 \text{CrO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$, при T , $p = \text{const}$. Знае се, че CrO_4^{2-} оцветяват разтвора в жълто, а $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ – в оранжево. Учениците са попитани какво ще се наблюдава, ако към изходния разтвор се прибави 10 ml разтвор на $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с концентрация 0,5 mol/L. Верен отговор на този въпрос дават едва 22% от гимназистите, като вярно се аргументират 20% от тях. Половината ученици (50%) погрешно предполагат, че ще настъпи пожълтяване на равновесната смес, т.е. ще протече обратната реакция, защото в системата се внасят повече $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ йони. Явно, че повечето от тях обръщат внимание само на добавените йони и избират отговора и посочват причината съгласно принципа на Льо Шателие, без да вземат предвид дали е имало промяна в концентрацията на частиците, или не.

Тези грешки са чести сред учениците и могат до голяма степен да се отдадат на методиката на преподаване. При нея не се изисква достатъчно анализ на цялостната ситуация. Повечето пъти учителите използват правила, чрез които да реагират бързо. Тези правила често са полезни, но невинаги те дават верни резултати, а също и не насърчават използването на по-задълбочени разсъждения при решаване на задачите. В този аспект голяма част от алтернативните концепции са породени от твърде честото, алгоритмично прилагане на считания от учители и ученици за безпогрешен принцип на Льо Шателие – Браун. Самият принцип има неясна, двусмислена формулировка (Quílez & Solaz, 1995) и както се вижда от резултатите, в някои случаи е неприложим и води до грешни изводи.

Изразяване, изчисляване и предвиждане на стойността на равновесна константа

Равновесната константа отчита степента на трансформация на химическата система, когато се достигне равновесие. В задача Q2 се изисква разпознаване на правилния израз за равновесната константа на дадена реакция. Това е лесна задача и 80% от гимназистите дават верен отговор. Малка част от тях (10%) некоректно определят равновесната константа като отношение от произведението на равновесните концентрации на изходните вещества и произведението на равновесните концентрации на продуктите.

В задача Q20 учениците трябва да изчислят стойностите на две равновесни константи по графични данни за промяната на концентрациите на веществата с времето за системата: $\text{N}_{2(\text{r})} + 3 \text{H}_{2(\text{r})} \rightleftharpoons 2 \text{NH}_{3(\text{r})} + Q$. Успешно са се справили едва 32% от учениците. Общо 60% от гимназистите не са успели да изчислят първата равновесна константа, а 68% от тях – и втората. За затрудненията на учениците значение има по-високото ниво на мислене, което се изисква при интерпретиране на данни от графики.

В задача Q21 се изисква да се посочи факторът, на който се дължи преходът между две равновесни състояния, показан графично чрез изменение на концентрациите на веществата с времето. В случая факторът е понижението на температурата, защото се установява ново равновесно състояние с по-висока K_c . Верен отговор дават 41% от учениците, но верен и правилно обяснен отговор – само 28%. Общо 30% от гимназистите погрешно смятат, че числената стойност на равновесната константа се променя с изменение на концентрацията на някое от веществата в равновесната смес. Подобни резултати отчитат Bergquist & Heikkinen (1990) и Van Driel & Gräber (2003). Предполага се, че учениците обръщат внимание само на един вид частици, пренебрегвайки концентрацията на другите видове и техните стехиометрични отношения.

Объркване на кинетика, химична термодинамика и химично равновесие

За изследване на погрешните схващания, свързани с химична кинетика, термодинамика и равновесие, се използват задачи от Q11 до Q16.

В задача Q11 са дадени две хипотетични химични реакции, протичащи при едни и същи условия (T, p) до достигане на равновесно състояние, с различни стойности на равновесните константи ($K_c^1 = 1.10^{-3}$ и $K_c^2 = 1.10^{-5}$). Въпросът е дали от наличната информация може да се определи коя от реакциите протича с по-голяма скорост. Правилния отговор, че това е невъзможно, дават едва 24% от тях, като се аргументират само 21%. Общо 54% от тестираните погрешно смятат, че при обратимите реакции колкото е по-голяма равновесната константа, толкова по-бързо протича реакцията. Други 23% считат, че колкото по-малка е равновесната константа, толкова по-бързо протича реакцията. Сходни схващания са отчетени в отговорите на учениците на задача Q15. При нея 49% от гимназистите погрешно отговарят, че колкото по-висока е стойността на равновесната константа, толкова по-бързо се достига до равновесното състояние.

Чрез задача Q12 се търси „взаимовръзка“ между скорост и топлинен ефект. При дадени две хипотетични реакции в състояние на равновесие, протичащи при едни и същи условия (T, p), но с различен по знак топлинен ефект, се иска от учениците да преценят дали информацията е достатъчна, за да се определи коя реакция протича с по-голяма скорост. Вярно и аргументирано отговарят 29% от гимназистите, че не може да се прецени поради липса на информация. Повечето ученици (38%) погрешно мислят, че екзотермичните реакции протичат с по-голяма скорост, като посочват различни причини: отделящата се топлина повишава скоростта на правата реакция или протичащата спонтанно реакция и продуктите са с по-ниска енергия. Според друга част (20%) от учащите всяка ендотермична реакция протича с по-висока скорост, защото за протичането ѝ е необходимо да се внесе енергия, която повишава скоростта.

Редица автори смятат, че подобни погрешни схващания са свързани с кинетичния подход за въвеждане на химичното равновесие в средното училище (Banerjee, 1995; Toshev, 1996, 2013; Toshev & Peteva, 2011; Quílez-Pardo & Solaz-Portolés, 1995; Quílez 2004).

Чрез задачи Q13 и Q16 се търси информация за разбирането на учениците на спонтанността на реакциите. Сравнително малка част от тестираните дават верни отговори (съответно 20 и 22%). Големият дял грешни отговори (80%) при Q13 показват, че повечето ученици не са наясно със спонтанните реакции и мислят, че те не се нуждаят от внасяне на допълнително количество енергия. Предполага се, че на това ниво учениците не разбират, че един термодинамично предпочитан процес може да не настъпи поради кинетични ограничения. В отговор на задача Q16 78 % от гимназистите мислят погрешно,

че ендотермичните реакции не могат да протичат самоволно. Този начин на мислене е резултат от отсъствието на ентропийния фактор в учебната програма.

Заклучение

Проведеното изследване разкрива, че близо една трета (34%) от изследваните ученици от природо-математическите гимназии имат ясно изразени погрешни схващания, свързани с идеите на химичното равновесие, в шест области – *дефиниране и установяване на химично равновесие; промени в равновесните условия; равновесни хетерогенни системи; функция на катализатора; изразяване на равновесна константа; обръкване на кинетика и химична термодинамика*. Въпреки че учениците се обучават по програма за профилирана подготовка по химия и опазване на околната среда, наличието на подобни алтернативни концепции в отговорите им показва фрагментирано разбиране на тези абстрактни представи, което затруднява по-задълбоченото изучаване на предмета и на ключови природонаучни идеи.

Причините за погрешните схващания са различни. За правилното разбиране на представите, свързани с химичното равновесие, е необходимо предварително да са разбрани голям брой базови понятия от области като *Строеж на веществото, Величини и зависимости, Свойства на газове, Химични процеси, Химична кинетика и термодинамика*, изучавани по предметите *Човек и природа, Физика и астрономия, Химия и опазване на околната среда*. Погрешните ученически представи, свързани с химичното равновесие, могат да се дължат както на липса на тези базови знания, така и на погрешни връзки и аналогии, направени с представи от други учебни предмети или от ежедневието.

Важна причина за затрудненията на учениците при изучаване на химичното равновесие е необходимостта то да се разглежда едновременно на три познавателни нива: макро-, субмикро- и символно ниво. От макроскопска гледна точка, равновесието е статично състояние, в което концентрациите на реагенти и продукти остават постоянни. Това обръква учениците и за тях е трудно да отчетат, че в състояние на равновесие протичат едновременно две противоположни реакции с еднакви скорости или с равни вероятности, т.е. равновесието е динамично. За да вникнат в тази същност, трябва да се премине на субмикрокоскопско ниво, където това да бъде обяснено с помощта на теорията на активните удари. Разграничаването между това, което се случва на микрокоскопско ниво, и това, което се наблюдава на макроскопско ниво, ще помогне на учащите ясно да разберат спонтанността и динамичното равновесие (Silverberg, 2015).

С оглед намаляване на грешките на учениците се препоръчва въвеждането на химичното равновесие да стане чрез термодинамичния подход, а не чрез

кинетичния (Toshev, 1996; 2013; Toshev & Peteva, 2011; van Driel, & Gräber, 2002; Quílez, 2004).

Решаването на задачи, свързани с химично равновесие, изисква от учениците да осмислят задълбочено основните химични идеи. Често грешките, които те допускат, се дължат на повърхностен анализ на проблема. В повечето случаи изричната промяна на една променлива е свързана имплицитно с промяна на друга променлива, която не се взема предвид и това води до грешен отговор (García-Lopera et al., 2014). Препоръчва се за качествена оценка за влиянието на фактори върху равновесния състав на химична система да се използва принципът на Льо Шателие – Браун в случаите, когато се засяга само една променлива или повече от една променливи, предизвикващи изменение на системата в равновесие една и съща посока. Когато засегнатите променливи действат в противоположни посоки, е по-удачно количествено сравняване на стойностите на реакционния коефициент (Q) и равновесната константа (K).

Разбирането на понятията и закономерностите, свързани с химичното равновесие, изисква от учениците пренос на знания и умения между различни мащаби и начини на представяне (графично, таблично, символно), което предполага високи нива на мислене.

Резултатите, показващи ученическите погрешни схващания, свързани с химичното равновесие, и направените изводи за трудностите на учениците могат да намерят своето практическо приложение. Те могат да бъдат използвани за съставяне на по-ефективни учебни програми и за целесъобразен подбор на съдържание, методи и средства за обучение, чрез които да се минимизират, избегнат или коригират алтернативните концепции на учениците и да се изгради у тях научно вярна картина на света.

Като продължение на настоящата проблематика би могло да бъде едно бъдещо проучване на ефективността на методи и средства за концептуална промяна на алтернативните концепции, свързани с химичното равновесие. Интересни биха били и диагностични изследвания на погрешните представи на българските ученици в области като кинетика, строеж на веществото, органична химия и др.

БЕЛЕЖКИ

1. <https://www.sace.sa.edu.au/>

REFERENCES

- Allsop, R.T. & George, N.H. (1982). Redox in Nuffield advanced chemistry. *Educ. Chem.*, 19, 57 – 59.

- Banerjee, A.C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, 13, 487 – 494.
- Banerjee, A.C. (1995). Teaching chemical equilibrium and thermodynamics in undergraduate general chemistry classes. *J. Chem. Educ.*, 72, 879 – 881.
- Bergquist, W. & Heikkinen, H. (1990). Students ideas regarding chemical equilibrium. *J. Chem. Educ.*, 67, 100 – 103.
- Buell, R.R. & Bradley, G.A. (1972). Piagetian studies in science: chemical equilibrium understanding from study of solubility: a preliminary report from secondary school chemistry. *Sci. Educ.*, 56, 23 – 29.
- Camacho, M. & Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. *J. Res. Sci. Teaching*, 26, 251 – 272.
- Cheung, D. (2009). The adverse effects of Le Châtelier's principle on teacher understanding of chemical equilibrium. *J. Chem. Educ.*, 86, 514 – 518.
- Chu, H.E., Treagust, D.F. & Chandrasegaran, A.L. (2009). A stratified study of students' understanding of basic optics concepts in different contexts using two-tier multiple-choice items. *Res. Sci. & Tech. Educ.*, 27, 253 – 265.
- De Jong, O. & Taber, K. (2014). The many faces of high school chemistry (pp. 457 – 480). In: Lederman, N.G. & Abell, S.K. (Eds.). *Handbook of research on science education*, vol. 2. New York: Routledge.
- Dhindsa, H. & Treagust, D. (2009). Conceptual understanding of Bruneian tertiary students: chemical bonding and structure. *Brunei Int. J. Sci. & Math. Educ.*, 1, 33 – 51.
- Driscoll, D.R. (1960). The Le Chatelier principle. *Australian Sci. Teachers J.*, 6, 7 – 15.
- Finley, F.N., Stewart, J. & Yarroch, W.L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Sci. Educ.*, 66, 531 – 538.
- García-Lopera, R., Calatayud, M.L. & Hernández, J. (2014). A brief review on the contributions to the knowledge of the difficulties and misconceptions in understanding the chemical equilibrium. *Asian J. Educ. & e-Learning*, 2, 448 – 463.
- Garnett, P.J., Garnett, P.J. & Hackling, M.W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Stud. Sci. Educ.*, 25, 69 – 95.
- Griffiths, A.K. (1994). A critical analysis and synthesis of research on students' chemistry misconceptions. *Proc. Int. Symposium Problem Solving*, pp. 70 – 99.
- Hackling, M.W. & Garnett, P.J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *Eur. J. Sci. Educ.*, 7, 205 – 214.

- Karpudewan, M., Treagust, D.F., Mocerino, M., Won, M. & Chandrasegaran, A. L. (2015). Investigating high school students understanding of chemical equilibrium concepts. *Int. J. Environ. & Sci. Educ.*, 10, 845 – 863.
- Kousathana, M. & Tsaparlis, G. (2002). Students' errors in solving numerical chemical-equilibrium problems, *Chem. Educ. Res. Practice*, 3, 5 – 17.
- Maskill, R. & Cachapuz, A F. (1989). Learning about chemistry topic of equilibrium: the use of word association tests to detect developing conceptualizations. *Int. J. Sci. Educ.*, 11, 57 – 69.
- Nakhleh, M.B. (1992). Why some students don't learn chemistry: chemical misconceptions. *J. Chem. Educ.*, 69, 191 – 196.
- Quílez-Pardo, J. & Solaz-Portolés, J.J. (1995). Students' and teachers' misapplication of le Chatelier's principle: implications for the teaching of chemical equilibrium. *J. Res. Sci. Teaching*, 32, 939 – 957.
- Odom, A.L. & Barrow, L.H. (1995). Development and application of two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *J. Res. Sci. Teaching*, 32, 45 – 61.
- Özmen, H. (2008). Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: a review of research and the case of Turkey. *Chem. Educ. Res. Practice*, 9, 225 – 233.
- Pedros, M. A. & Dias, M.H. (2000). Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium, and student alternative conceptions, *Chem. Educ.: Res. & Practice Europe*, 1, 227 – 236.
- Quílez, J. (2004). Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibria: Students' and teachers' misunderstandings. *Chem. Educ. Res. Practice*, 5, 281 – 300.
- Silverberg, L.J. (2015). Are the concepts of dynamic equilibrium and the thermodynamic criteria for spontaneity, nonspontaneity, and equilibrium compatible. *J. Chem. Educ.*, 92, 655 – 659.
- Solaz, J.J. & Quílez, J. (2001). Changes of extent of reaction in open chemical equilibria. *Chem. Educ. Res. Practice Europe*, 2, 303 – 312.
- Solomonidou, C. & Stavridou, H. (2001). Design and development of a computer learning environment on the basis of students' initial conceptions and learning difficulties about chemical equilibrium. *Educ. & Inf. Tech.*, 6, 5 – 27.
- Sözbilir, M., Pınarbaşı, T. & Canpolat, N. (2010). Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. *Eurasia J. Math. Sci. & Tech. Educ.*, 6, 111 – 120.
- Taber, K.S. (2002). *Chemical misconceptions: prevention, diagnosis and cure: vol. 1*. London: RSC.

- Taber, K.S. (2009). Challenging misconceptions in the chemistry classroom: resources to support teachers. *Educ. Quim.*, 4, 13 – 20.
- Tafrova-Grigorova, A. (2007). *Designing tests for chemistry education*. Sofia: Pedagog 6 [In Bulgarian].
- Toshev, B.V. (1996). Methodological remarks on the chemistry high-school curriculum: mass action law. *Chemistry*, 5, 28 – 31 [in Bulgarian].
- Toshev, B.V. (2013). Remarks on the school chemistry in Bulgaria: chemical thermodynamics and chemical equilibrium. *Chemistry*, 22, 369 – 379 [In Bulgarian].
- Toshev, B.V. & Peteva, Z. (2011). Avoiding misunderstandings in school teaching by acquainting with historical texts: mass action law. *Chemistry*, 20, 266 – 276 [In Bulgarian].
- Treagust, D.F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *Int. J. Sci. Educ.*, 10, 159 – 169.
- Tsui, C.Y. & Treagust, D.F. (2010). Evaluating Secondary students' scientific reasoning in genetics using a two-tier diagnostic instrument. *Int. J. Sci. Educ.*, 32, 1073 – 1098.
- Tyson, L., Treagust, D.F. & Bucat, R. B. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *J. Chem. Educ.*, 76, 554 – 558.
- Van Driel, J.H., De Vos, W. & Verloop, N. (1999). Introducing dynamic equilibrium as an explanatory model. *J. Chem. Educ.*, 76, 559 – 561.
- Van Driel, J.H. & Gräber, W. (2002). The teaching and learning of chemical equilibrium (pp. 271 – 292). In: Gilbert, J.K., de Jong, O., Treagust, D.F. & van Driel, J.H. (Eds.). *Chemical education: towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer.
- Voska, K.W. & Heikkinen, H.W. (2000). Identification and analysis of student conceptions used to solve chemical equilibrium problems. *J. Res. Sci. Teaching*, 37, 160 – 176.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of chemical Education*, 64(8), 695.

HIGH-SCHOOL STUDENTS' MISCONCEPTIONS ABOUT CHEMICAL EQUILIBRIUM

Abstract. Chemical equilibrium is one of the most important and difficult topics in a high-school chemistry curriculum. The determination of the nature of students' misconceptions (alternative conceptions) related to this topic, their detection and

identification are important for both Science Education theory and its practical application. The purpose of the present research is to identify misconceptions about chemical equilibrium of Bulgarian high-school students who study a subject Chemistry and Environmental protection at an advanced level. A diagnostic test consisting of 21 questions was used as a main tool, in which most of the questions were two-tire. A semi-structured interview with students was also used as a support tool for the research. The final version of the test had been validated by experts. The reliability of the test is 0,8. A total of 400 students ($N = 400$) aged 17 – 19 took the test, of which 226 girls and 174 boys. In 34% of high-school students were identified 16 misconceptions related to chemical equilibrium, which were grouped in 6 areas: definition and establishment of chemical equilibrium; changes in equilibrium conditions; heterogeneous equilibrium; catalyst function; equilibrium constant expression; confusion of kinetics and chemical thermodynamics.

Keywords: misconceptions; alternative conceptions; chemical equilibrium; learning problems; high-school students

✉ **Mr. Kiril Atanasov, PhD student**
Dr. Alexandria Gendjova

Research Laboratory on Chemistry Education and History and Philosophy of Chemistry
Faculty of Chemistry & Pharmacy
University of Sofia
1, James Bourchier Blvd.
1164 Sofia, Bulgaria
E-mail: kiril_atanasov@abv.bg
E-mail: agendjova@chem.uni-sofia.bg