

ФОРМА И СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКНЫХ ЭКЗАМЕНОВ ПО ХИМИИ В США И ВЕЛИКОБРИТАНИИ

Насонов А.Ф.

*Факультет педагогического образования
МГУ имени М.В. Ломоносова*

Совершенствование ЕГЭ по химии требует, в частности, критериев отбора и структурирования содержания и определения формы заданий. С этой точки зрения изучение российского опыта составления заданий ЕГЭ по химии, а также лучших образцов зарубежного опыта может стать основой для разработки усовершенствованных заданий. Ранее нами был проанализирован ЕГЭ по химии, в том числе с точки зрения дидактических принципов [1], а также изучены особенности проведения и содержание выпускного экзамена по химии в штате Нью-Йорк [2]. В данной работе сделана попытка изучить принципы построения содержания и определения формы заданий итогового контроля школьного курса химии в США и Великобритании с целью нахождения потенциально полезных идей для совершенствования ЕГЭ по химии в России; рассмотрена также реализация этих принципов на примере экзамена GCSE (General Certificate of Secondary Education)¹.

В США современные представления о том, как должно выглядеть естественнонаучное образование, берут своё начало со знаменитого доклада 1983 года «Нация в опасности» [3]. В ответ на проблемы,

¹ General Certificate of Secondary Education (общий сертификат о получении среднего образования) – это экзамен по отдельному предмету на последней двухгодичной ступени (key stage 4 – ключевая стадия 4) обязательного одиннадцатилетнего школьного образования в Великобритании. В 2018/2019 учебном году GCSE по химии сдавали 157 995 из 604 907 выпускников, или 26%.

обозначенные в докладе, были последовательно опубликованы работы «Наука для всех американцев» (1989), «Стандарты естественнонаучной грамотности» (1993), «Национальные стандарты естественнонаучного образования» (1996), «Структура содержания школьного естественнонаучного образования» (2012), «Следующее поколение стандартов естественнонаучного образования» (2013) и «Разработка процедур контроля для следующего поколения стандартов естественнонаучного образования» (2014).

«Структура содержания школьного естественнонаучного образования», опубликованная в 2012 году Комитетом по разработке понятной структуры для новых стандартов школьного естественнонаучного образования, состояла из следующих трёх направлений [4]:

- 1) научная и инженерная практика;
- 2) междисциплинарные концепции, которые унифицируют изучение естественных наук и инженерии через применение этих концепций во всех областях знаний;
- 3) ключевые идеи в четырёх предметных областях (физические науки, науки о живом, науки о Земле и Космосе и инженерия, технологии и применение естественных наук).

Как видно, среди предметных областей отсутствует химия, которая растворилась в других областях, большей частью в физических науках, что является, несомненно, физическим редукционизмом и существенным недостатком этой схемы.

В Великобритании последняя волна реформ образования, которая началась в 2012 году, касалась именно экзаменов. В результате реформы появились следующие основные изменения в обучении естественным наукам и соответствующим экзаменам GCSE [5]:

- 1) подразделение требований к обучению и экзаменам на базовом (foundation tier) и повышенном (higher tier) уровнях; последний требуется для продолжения образования на следующей ступени (A-level);
- 2) требование умения работать по образцу науки (working scientifically);

3) структурирование содержания обучения и контроля вокруг ключевых идей (key ideas); ключевые идеи, в свою очередь, формулируются как на общенаучном, так и на конкретно-научном уровне (то есть на уровне химии в нашем случае).

4) содержание обучения отбирается таким образом, чтобы быть на уровне или выше уровня лучших мировых образцов для соответствующей ступени обучения и возраста обучаемых.

При сопоставлении подходов к определению содержания естественнонаучного образования в Великобритании и США можно заметить их сходство (см. таблицу, в которой сходные идеи в США и Великобритании выделены одинаковым шрифтом): «работа по образцу науки» в Великобритании соответствует «научной и инженерной практике» в США, ключевые идеи в Великобритании на общенаучном уровне соответствуют междисциплинарным концепциям в США, а на конкретно-научном уровне отвечают ключевым идеям в четырёх предметных областях в США. По-видимому, это не случайное совпадение, а отражение объективной реальности и насущной потребности естественнонаучного образования. Детали требований к содержанию также во многом совпадают.

Таблица

Подходы к определению содержания естественных наук
в США и Великобритании

| Великобритания, работа по образцу науки | США, научная и инженерная практика |
|--|--|
| <p>1. Развитие научного мышления:</p> <ul style="list-style-type: none"> • понимать, как научные методы и теории развиваются с течением времени; • <i>использовать разнообразные модели... для решения проблем, осуществления предсказаний и для разработки научных объяснений...</i> <p>2. <u>Экспериментальные навыки и подходы.</u></p> | <p>1. Задавать вопросы (в науке) и определять проблемы (в инженерии).</p> <p>2. <i>Разработка и использование моделей.</i></p> <p>3. <u>Планирование и проведение исследований.</u></p> <p>4. <u>Анализ и интерпретация данных.</u></p> <p>5. <u>Использование математического и вычислительного мышления.</u></p> |

| Великобритания, <i>работа по образцу науки</i> | США, научная и инженерная <i>практика</i> |
|---|--|
| <p>3. <u>Анализ и оценка</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>проведение математического и статистического анализа и представление результатов</u>; • <u>предоставление научного обоснования исследований, используемых методов, результатов и обоснованных выводов</u>; <p>4. Научная терминология, физические величины, единицы измерения, символы и номенклатура</p> | <p>6. Конструирование объяснений (в науке) и разработка решений (в инженерии).</p> <p>7. <u>Аргументация на основе опытного свидетельства</u>.</p> <p>8. <u>Получение, оценка и передача информации</u></p> |
| Великобритания, <i>ключевые идеи на общенаучном уровне</i> | США, <i>междисциплинарные концепции</i> |
| <p>1. <i>Использование концептуальных моделей и теорий для извлечения смысла из наблюдаемого разнообразия природных явлений.</i></p> <p>2. Предположение, что каждое следствие имеет одну или больше причин.</p> <p>3. <u>Изменение вызывается различиями между различными объектами и системами при их взаимодействии.</u></p> <p>4. Многие такие взаимодействия осуществляются дистанционно без непосредственного контакта.</p> <p>5. Наука развивается через цикл гипотеза–эксперимент–наблюдение–развитие–пересмотр теории.</p> <p>6. Количественный анализ является центральным элементом как многих теорий, так и научных методов исследования</p> | <p>1. <i>Регулярности.</i></p> <p>2. Причина и следствие: механизм и объяснение.</p> <p>3. Масштаб, соотношение и величина.</p> <p>4. <i>Системы и модели систем.</i></p> <p>5. Энергия и материя: потоки, циклы и сохранение.</p> <p>6. Структура и функция.</p> <p>7. <u>Стабильность и изменение</u></p> |

Как указывается в более поздней работе [6] британского органа надзора в образовании, научное знание можно разделить на материальное (продукты научной деятельности: понятия, законы, теории, модели, факты) и методологическое (процессуальное, т. е. знание того, как добываются научные знания), которое включено в раздел британской программы «работа по научному образцу». Методологические знания включают в себя: 1) знание методов исследования; 2) знание аппаратуры и приёмов проведения эксперимента, включая измерения; 3) знание приёмов анализа данных (включая таблицы и графики); 4) знание о том, как наука использует данные для объяснения природных явлений. Обучение только материальному аспекту науки приводит к наивным представлениям о состоянии науки («наука завершена»), ложным представлениям о научных знаниях (модель атома в учебнике – это и есть атом), а также к неспособности оценить научную информацию из реального мира. Кроме того, делается вывод, что материальная часть эффективной программы обучения должна быть построена вокруг ключевых понятий и отношений между ними, а не сводиться к изучению разрозненных фактов.

Структурирование содержания, по мнению авторов из Великобритании, приводит научные знания в иерархичную структуру и, таким образом, через изучение этой структуры упрощает процесс их усвоения [6]. В США при создании структуры ключевых идей руководствовались, во-первых, задачей отсекающего избыточного содержания и оставления только тех фундаментальных идей, знание которых необходимо каждому американцу. Это обеспечивало бы более глубокое образование в противовес широкому и оставляло бы время на усвоение научного содержания образования. Во-вторых, авторы из США также основывались на представлениях о том, что знания экспертов в любой области структурированы значительно лучше, чем у новичков [4, р. 25].

Важным следствием структурирования содержания обучения для формы аттестационных заданий является требование отражать эту структуру через набор взаимосвязанных вопросов [7, р. 86]. Ещё два

важных требования к содержанию и форме заданий – аутентичность и валидность [8, p. 78, 83].

Ключевые идеи в химии

Что касается непосредственно химического содержания, то ключевые идеи в области химии сформулированы в содержании экзамена GCSE по химии следующим образом [5]:

- материя состоит из мельчайших частиц, называемых атомами; в природе существует около 100 различных видов атомов, называемых элементами;
- элементы связаны между собой периодической зависимостью их химических и физических свойств;
- периодическое изменение свойств элементов может быть объяснено через строение атомов этих элементов;
- атомы связываются друг с другом либо с помощью передачи электронов от одного атома другому, либо посредством обобществления электронов;
- форма молекул (групп атомов, связанных между собой) и способ упорядочения гигантских структур оказывают влияние на их свойства;
- существуют барьеры, препятствующие осуществлению реакций, поэтому реакции протекают с разными скоростями;
- химические реакции могут осуществляться только тремя различными путями:
 - переносом протона,
 - переносом электрона,
 - обобществлением электронов;
- энергия сохраняется в химических реакциях и, таким образом, не может быть создана или разрушена.

Критерии отбора этих ключевых идей не совсем очевидны. Например, в отечественной литературе Г.В. Лисичкиным предложен альтернативный набор ключевых идей [9].

В документе [5] указывается также, что обучающимся нужно показать, как разнообразные явления материального, природного и созданного человеком мира могут быть описаны с помощью этого небольшого числа ключевых идей. К сожалению, не указано, как именно это сделать. Далее всё содержание химии в GCSE сгруппировано вокруг более привычных тематических разделов химии:

1. Строение атома и Периодическая система химических элементов.
2. Структура, химические связи и свойства материи.
3. Химические превращения.
4. Энергетика химических реакций.
5. Скорость и степень протекания химических реакций.
6. Органическая химия.
7. Химический анализ.
8. Химическая промышленность и родственные отрасли.
9. Земля и науки об атмосфере.

В описании содержания каждого раздела представлены не набор понятий, фактов и закономерностей, которые нужно усвоить, а действия, которые необходимо совершить ученикам, чтобы продемонстрировать усвоение этого содержания: описать, объяснить, предсказать, идентифицировать, распознать, различить, интерпретировать, оценить, вычислить и т. д. Этот аспект содержания отвечает требованиям деятельностной теории в педагогической психологии, на которую традиционно опираются в российской педагогике со второй половины XX века. С точки зрения деятельностного подхода, «знать – это всегда выполнять какую-то деятельность или действия, связанные с данными знаниями» [10, с. 15]. Такой подход позволяет более эффективно осуществлять как обучение, так и контроль. В данном случае требование совершить то или иное действие непосредственно влияет на вопросы экзаменационных заданий и форму ответов на них. Важная роль в обучении химии отводится также математике: в конце

каждого тематического раздела имеется параграф под названием «Использование математики».

Анализ содержания варианта экзамена по химии

В США выпускные экзамены в школе организуются отдельно в каждом штате, а общеамериканские выпускные экзамены отсутствуют. При этом менее половины всех штатов проводят какие-либо выпускные экзамены. И только в половине из этой половины имеются экзамены в области естественных наук. А более-менее серьёзный выпускной экзамен по химии проводится лишь в одном штате США – в Нью-Йорке. Однако привести этот экзамен в соответствие с описанными принципами планируется только в 2024 году, то есть на данный момент экзаменационные работы, построенные на основе изложенных в [2] подходов, отсутствуют.

Далее перейдём к анализу содержания выпускного экзамена по химии в Великобритании, который проводился экзаменационной организацией AQA² в виде последовательности двух экзаменационных сессий – в мае 2019 года (Paper 1) и в июне того же года (Paper 2) длительностью по 1 ч 45 мин [11, 12]. Paper 1 и Paper 2 – экзаменационные варианты части 1 и части 2 экзамена GCSE по химии повышенного уровня. Экзамен Paper 1 содержал 9 заданий, а Paper 2 – 10 заданий, которые в свою очередь состояли из нескольких подзаданий, объединённых общим контекстом: Paper 1 состоял из 45 подзаданий, а Paper 2 – из 46 подзаданий.

Важнейшим компонентом процессуальной части научного знания является объяснение явлений окружающего мира. Задания с развёрнутым ответом, в которых необходимо объяснить наблюдаемые закономерности и явления, преобладают в рассматриваемых вариантах GCSE: в Paper 1 таких заданий 8 из 9, а в Paper 2 – 7 из 10. То же

² Экзамены GCSE проводятся в Англии на сегодняшний день четырьмя уполномоченными государственным регулятором проведения экзаменов и аттестации Ofqual экзаменационными организациями: AQA, OCR, Pearson и WJEC Eduqas, из которых AQA является крупнейшей. AQA возникла в 2000 году как Assessment and Qualifications Alliance (Альянс по проведению аттестации и экзаменов).

относится и к подзаданиям: требование «объяснить» присутствует в 15 из 45 подзаданий в Paper 1 и в 16 из 46 подзаданий в Paper 2, то есть примерно в 1/3 всех подзаданий. Подзаданий с выбором ответа совсем мало – в Paper 1 их всего в 5, а в Paper 2 – всего 3.

Процессуальное научное знание в экзамене GCSE отражено в заданиях, в которых описаны экспериментальные научные исследования, используемая при их проведении аппаратура, методика эксперимента, приёмы анализа данных, представленных в том числе в форме таблиц и графиков.

Рассматриваемые варианты GCSE по химии содержат в заданиях таблицы, графики, схемы лабораторных приборов и промышленных установок, схемы экспериментов, рисунки и схемы реальных объектов. В некоторых заданиях графики необходимо достроить или построить самостоятельно. Таблицы, графики или схемы приборов или промышленных установок встречаются 11 раз в 9 заданиях Paper 1 и 8 раз в 10 заданиях Paper 2, то есть практически в каждом задании. Стоит также отметить два подзадания с развёрнутым ответом, в которых требуется составить план (описание) эксперимента, и два задания с историческим контекстом, в которых отражено развитие химической науки.

Примеры заданий экзамена GCSE по химии

Приведём примеры заданий с историческим контекстом.

Пример 1

01. Этот вопрос о Периодической системе химических элементов.

В XIX веке некоторые учёные пытались классифицировать элементы, располагая их в порядке возрастания атомного веса элементов. На рисунке показана Периодическая таблица Менделеева, составленная им в 1869 г. Его Периодическая таблица стала более широко признанной, чем предыдущие версии.

01.1. Атомный вес теллура-128, а атомный вес иода-127. Почему Менделеев поменял эти элементы местами?

01.2. Менделеев оставил в своей таблице пустые места (помеченные звёздочкой), потому что он считал, что там должны находиться

ся неизвестные элементы. Почему Периодическая таблица Менделеева стала более широко признанной, чем предыдущие попытки систематизации элементов?

01.3. Менделеев расположил элементы в порядке возрастания атомного веса. Как сегодня называется «атомный вес»? Отметьте один ответ.

Ответы: а) атомный номер; б) массовое число; в) относительная атомная масса; г) относительная формульная масса.

Пример 2

04. Этот вопрос о строении атома.

04.4. Модель атома менялась с появлением новых экспериментальных данных. Модель сливового пудинга предполагала, что атом представляет собой положительно заряженный шарик, в который вставлены электроны. Экспериментальные данные по рассеянию α -частиц привели к изменению модели атома. Объясните, каким образом.

Примеры заданий, в которых требуется или используется описание эксперимента.

Пример 3

02. Этот вопрос о карбонате лития. Карбонат лития используется в лекарственных средствах.

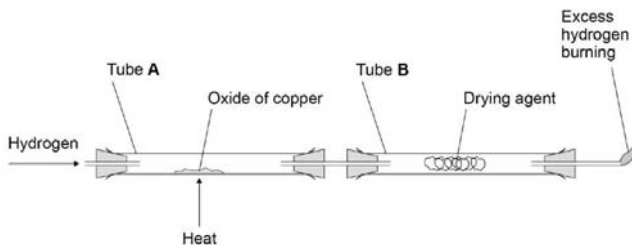
02.1. Карбонат лития содержит ионы лития и карбонат-ионы. Ученик провёл тесты на определение ионов лития и карбонат-ионов в таблетке карбоната лития. Ученик использовал:

- металлическую проволоку
- разбавленную соляную кислоту
- известковую воду.

Составьте план эксперимента, позволяющего продемонстрировать присутствие ионов лития и карбонат-ионов в таблетке. Включите в описание результаты тестов на эти ионы.

Пример 4

Медь образует два оксида: Cu_2O и CuO . Учитель исследовал один из оксидов меди. На рисунке изображена схема прибора.



Ниже приводится использованная методика.

1. Взвесить пустую трубку А.

.....

5. Пропустить водород через прибор и зажечь пламя у конца трубки.

6. Нагреть трубку А в течение 2 мин.

7. Повторно взвесить трубку А и её содержимое.

8. Повторить шаги 5–7 до постоянной массы.

.....

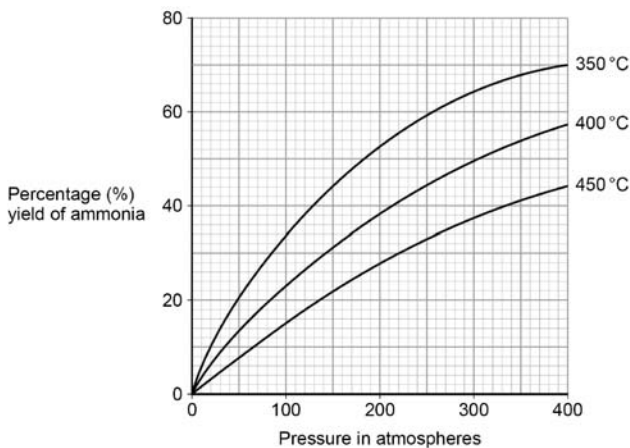
08.1. Предложите одну причину, по которой необходим шаг 8.

08.2. Объясните, почему избыток водорода необходимо сжигать.

Пример задания, для выполнения которого требуется использование графиков.

Пример 5

10. Этот вопрос об обратимых реакциях и равновесии. Водород используется для получения аммиака в процессе Габера.



На рисунке показан выход аммиака в процентах при различных значениях температуры и давления.

Процесс Габера проводится при температуре 450 °С и давлении 200 атм.

10.4. Ученик предположил, что процесс Габера можно было бы проводить при 350 °С и давлении 285 атм. Определите, во сколько раз увеличился бы выход аммиака в этих условиях. Для ответа на вопрос используйте рисунок.

10.5. Процесс Габера осуществляют при давлении 200 атм, но не при 285 атм. Приведите одну причину, которая обуславливает выбор давления 200 атм.

10.6. Используя рисунок, поясните, почему прямая реакция в процессе Габера является экзотермической.

Примеры заданий выпускного экзамена по химии в Штате-Нью-Йорк в США (Regents Examinations: Physical Setting/Chemistry)

В настоящее время выпускной экзамен по химии в штате Нью-Йорк является экзаменом по выбору, который можно выбрать из четырёх экзаменов в области естественных наук, включающих помимо химии физику, науки о Земле и науки об окружающей среде и живых организмах. Экзамен построен на стандартах естественнонаучного образования 1996 года [8] и не учитывает идеи трёх подходов, изложенные выше. Тем не менее, стандарты 1996 года являются прототипом современных стандартов естественнонаучного образования в США.

Варианты экзамена по предмету «Окружающий мир/Химия» содержат 85 заданий, которые нужно выполнить за три часа, то есть в среднем на задание отводится чуть больше двух минут, что явно не предполагает глубоких рассуждений. Формально весь набор заданий делится на 4 части: А, В1, В2, С. Задания частей А и В1 содержат вопросы с выбором одного ответа из четырёх предложенных и содержат в сумме 50 вопросов; задания частей В2 и С требуют краткого самостоятельного ответа и содержат в сумме 35 вопросов.

Приведём примеры заданий, в которых требуется интерпретировать данные, представленные в табличной и графической формах [13].

Задание по химии в штате Нью-Йорк (2014 год, N38):

38 The boiling points, at standard pressure, of four compounds are given in the table below.

Boiling Points of Four Compounds

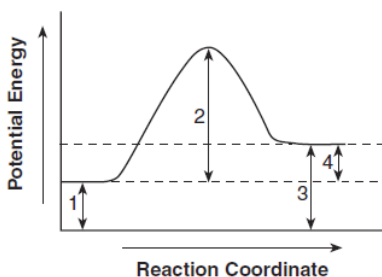
| Compound | Boiling Point (°C) |
|-------------------|--------------------|
| H ₂ O | 100.0 |
| H ₂ S | -59.6 |
| H ₂ Se | -41.3 |
| H ₂ Te | -2.0 |

Which type of attraction can be used to explain the unusually high boiling point of H₂O?

- (1) ionic bonding
- (2) hydrogen bonding
- (3) polar covalent bonding
- (4) nonpolar covalent bonding

Задание по химии в штате Нью-Йорк (2015 год, N47):

47 Given the potential energy diagram for a chemical reaction:



Which numbered interval represents the heat of reaction?

- (1) 1
- (2) 2
- (3) 3
- (4) 4

Очевидно, что в этих заданиях делается попытка диагностировать умение анализировать и интерпретировать данные, представленные в табличной и графической форме. К сожалению, формат заданий на диагностику этого умения – выбор одного ответа из четырёх предло-

женных, что вызывает сомнение в аутентичности и валидности подобных заданий.

Выводы

Таким образом, можно выделить следующие особенности экзаменов в США и Великобритании:

- 1) выделение ключевых идей в содержании, структурирование всего содержания вокруг этих идей;
- 2) выделение материальной и процессуальной части содержания (знаний как продукта научной деятельности и знаний о том, как получить продукт научной деятельности); большое внимание уделяется формулированию объяснений описанных в задании фактов, явлений и пр.;
- 3) деятельностный подход к формулировке вопросов к заданиям.

Отдельные задания представлены в виде набора взаимосвязанных вопросов, аутентичных той деятельности, готовность к которой проверяется данным заданием. Кроме того, система оценивания учитывает умение анализировать данные, представленные в различной форме, а также умение применять математический аппарат.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Насонов А.Ф.* Анализ некоторых аспектов ЕГЭ по химии за двадцать лет: 2002-2021 гг. // *Естественнонаучное образование: проблемы аттестации химиков: методический ежегодник Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова* / под ред. проф. Г.В. Лисичкина. – М.: изд-во МГУ, 2021. Т. 17. – С. 157–182
2. *Насонов А.Ф.* Использование опыта США для совершенствования ЕГЭ по химии // *XI Всероссийская научно-методическая конференция «Актуальные проблемы обучения химии, биологии, экологии и естествознанию в условиях цифровизации образования»*: сб. науч. тр. / под ред. П.А. Оржековского. – М.: МПГУ, 2020. – С. 345–349.
3. *A Nation At Risk: The Imperative For Educational Reform.* / *The National Commission on Excellence in Education.* United States Department of Education. 1983. – URL: <https://web.archive.org/web/2020102922224/https://www2.ed.gov/pubs/NatAtRisk/index.html>
4. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* / *National Research Council.* Washington, DC: The National Academies Press, 2012. DOI: 10.17226/13165.

5. Biology, Chemistry and Physics GCSE subject content / Department for Education. 2015. 52 p. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/gcse-single-science>

6. Research review series: science / Ofsted (Office for Standards in Education, Children's Services and Skills). 2021. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/research-review-series-science/research-review-series-science>.

7. Developing Assessments for the Next Generation Science Standards / National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press, 2014. DOI: 10.17226/18409.

8. National Science Education Standards / National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press, 1996. DOI: 10.17226/4962.

9. *Лисичкин Г.В.* Кризис школьной химии и возможный путь его преодоления // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 20. Педагогическое образование. 2017. №4. – С. 62–71.

10. *Талызина Н.Ф.* Педагогическая психология. – М.: Изд. центр «Академия», 1998. – 288 с.

11. GCSE Chemistry Higher Tier Paper 1. Thursday 16 May 2019 / AQA. 2019. – URL: <https://filestore.aqa.org.uk/sample-papers-and-mark-schemes/2019/june/AQA-84621H-QP-JUN19.PDF>

12. GCSE Chemistry Higher Tier Paper 2. Wednesday 12 June 2019 // AQA. 2019. [Электронный ресурс]. – URL: <https://filestore.aqa.org.uk/sample-papers-and-mark-schemes/2019/june/AQA-84622H-QP-JUN19.PDF>.

13. Science Regents Examinations: Physical Setting/Chemistry. – URL: <https://www.nysedregents.org/chemistry/>.