

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБУЧЕНИЯ ТЕМАМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ДИДАКТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Холиков Курбонбой Туйчиевич, доцент кафедры физики Самаркандского государственного педагогического института, Самарканд, Республика Узбекистан.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6916-7314>

Аннотация: Темы, связанные с магнитным полем, относятся к числу наиболее сложных и концептуально трудных разделов физического образования. Международные исследования, посвящённые обучению физике, показывают наличие у студентов устойчивых неправильных представлений о магнитной индукции, силе Лоренца, магнитном поле вокруг проводника с током и движении заряженной частицы в магнитном поле.

В данной статье на основе анализа 30 ведущих международных исследований рассматриваются основные когнитивные, дидактические и методические проблемы обучения темам магнитного поля. В результате анализа выявленные проблемы были сгруппированы в четыре основные категории: абстрактность понятия поля, трудности векторного и пространственного мышления, преобладание математического формализма над концептуальным пониманием, а также ограниченность традиционных методов обучения.

Для преодоления указанных проблем предлагается дидактическая модель, основанная на интегрированном использовании визуализации с обратной связью, обучения, основанного на исследовательской деятельности, концептуального обсуждения и виртуальных лабораторий.

Ключевые слова: физическое образование, магнитное поле, сила Ампера, сила Лоренца, концептуальное понимание, исследовательское обучение, дидактическая модель.

ANALYSIS OF PROBLEMS IN TEACHING MAGNETIC FIELD TOPICS AND DIDACTIC MODEL

Kholikov Kurbonboy Tuychievich, Associate Professor, Department of Physics, Samarkand State Pedagogical Institute, Samarkand, Republic of Uzbekistan.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6916-7314>

Abstract: Topics related to the magnetic field are among the most complex and conceptually difficult sections of physics education. International research on physics teaching shows that students have persistent misconceptions about magnetic induction, the Lorentz force, the magnetic field around a current-carrying conductor, and the motion of a charged particle in a magnetic field.

This article, based on an analysis of 30 leading international studies, examines the main cognitive, didactic and methodological problems of teaching

magnetic field topics. As a result of the analysis, the identified problems were grouped into four main categories: the abstractness of the field concept, the difficulties of vector and spatial thinking, the predominance of mathematical formalism over conceptual understanding, and the limitations of traditional teaching methods.

To overcome these problems, a didactic model based on the integrated use of visualization with feedback, inquiry-based learning, conceptual discussion, and virtual laboratories is proposed.

Key words: physics education, magnetic field, Ampere force, Lorentz force, conceptual understanding, inquiry learning, didactic model.

1. Введение

Понятие магнитного поля является центральным элементом раздела электромагнетизма и представляет собой не только одно из фундаментальных понятий физики, но и основу современных техники и технологий. Электродвигатели, генераторы, трансформаторы, магнитно-резонансная томография, ускорители частиц, а также многие компоненты современных информационных технологий непосредственно основаны на явлениях магнитного поля. В связи с этим эффективное преподавание тем, связанных с магнитным полем, является одной из стратегических задач общего физического образования.

Международные исследования, посвящённые преподаванию физики, показывают, что понятие магнитного поля остаётся одной из наиболее трудных для усвоения тем студентами [1-3]. Согласно результатам эмпирических исследований, обучающиеся часто путают магнитное поле с понятием силы, интерпретируя его не как самостоятельный физический объект, а как непосредственную причину воздействия на движение заряженной частицы, а также понимают связь между силой Лоренца, направлением поля и траекторией движения частиц преимущественно на формульном уровне, испытывая затруднения в глубоком осмыслении её физического содержания [1]. Данная ситуация, прежде всего, объясняется тем, что магнитное поле не воспринимается непосредственно органами чувств, то есть является абстрактным физическим понятием, обладающим пространственным характером [2]. Кроме того, представление понятия поля в традиционном обучении в основном через уравнения и расчётные задачи приводит к формированию у студентов устойчивых концептуальных ошибок [2,3].

Методические исследования показывают, что для эффективного усвоения подобных абстрактных понятий особое значение имеют подходы, основанные на активной познавательной деятельности студентов, включающей постановку вопросов, выдвижение гипотез, сбор доказательств посредством эксперимента или симуляции и анализ полученных результатов [2,3]. Наряду с этим интерпретация физических знаний не как совокупности формул, а как системы моделей и смыслов, то есть интегрированное

использование визуальных моделей, векторных представлений и математических выражений, обеспечивает глубокое и устойчивое формирование понятия магнитного поля [3]. При этом студенты нередко трактуют магнитное поле как «невидимую силу», непосредственно воздействующую на тело, в результате чего понятия силы и поля оказываются смешанными [4].

В исследованиях по физическому образованию отмечается, что обучающиеся часто воспринимают магнитное поле не как самостоятельную физическую реальность, а как свойство магнита или проводника с током. Такой подход серьёзно препятствует полному пониманию пространственного распределения поля, его векторного характера и причинно-следственных связей. В результате такие ключевые понятия, как вектор магнитной индукции, направление силы Лоренца и движение заряженной частицы в магнитном поле, формируют у студентов устойчивые и долговременно сохраняющиеся неправильные представления [5-7]. Эти ошибочные представления особенно ярко проявляются при разграничении понятий поля и силы, определении направлений и смыслов векторных величин, а также при физическом объяснении траекторий движения частиц.

Кроме того, существенной дидактической проблемой при обучении темам магнитного поля является доминирование математического формализма. Во многих образовательных практиках раздел электромагнетизма излагается преимущественно с ориентацией на формулы и алгоритмы вычислений, при этом физический смысл этих формул, их связь с моделью поля и пространственная интерпретация раскрываются недостаточно. В результате студенты адаптируются к механическому решению задач, однако не способны концептуально или вербально объяснить физическую сущность магнитных явлений [8,9]. Данная ситуация указывает на наличие разрыва между применением формул и формированием понимания, что приводит к низкому уровню концептуального усвоения.

Преобладание традиционных лекционных и доско-ориентированных методов обучения дополнительно усугубляет указанные проблемы, поскольку такие подходы не позволяют в полной мере отразить динамический и пространственный характер явлений магнитного поля. Исследования в области физического образования показывают, что пассивные методы обучения в разделе электромагнетизма непосредственно связаны с низким уровнем концептуального усвоения, сохранением неправильных представлений и неспособностью переноса знаний в новые ситуации [10-12]. В связи с этим в последние годы значительно возрос интерес к активным методам обучения темам магнитного поля, основанным на визуализации, исследовательском обучении, концептуальном обсуждении и виртуальных лабораториях.

В то же время, несмотря на то что в современной литературе по физическому образованию широко освещены концептуальные трудности усвоения понятия магнитного поля, устойчивые неправильные представления

и ограничения формульно-ориентированного обучения, до настоящего времени недостаточно разработана и эмпирически обоснована практическая модель, интегрирующая визуализацию, исследовательскую деятельность, математическое обобщение и рефлексии в единую дидактическую систему с механизмами обратной связи. Данное обстоятельство и составляет основную научную лакуну настоящего исследования.

В связи с этим целью данной статьи является системный анализ основных когнитивных и дидактических проблем обучения темам магнитного поля, а также научно-методическое обоснование интегрированной дидактической модели, основанной на обратной связи и направленной на преодоление указанных проблем с опорой на результаты исследований в области физического образования.

2. Анализ литературы: проблемы обучения магнитному полю

2.1. Абстрактность понятия поля

Абстрактность понятия магнитного поля является одной из наиболее часто отмечаемых концептуальных проблем в физическом образовании. Результаты диагностических тестов по электромагнетизму, разработанных Малони и соавторами, показывают, что студенты относят магнитное поле наряду с электрическим полем к числу наиболее неправильно интерпретируемых понятий [1]. Согласно результатам исследований, обучающиеся воспринимают магнитное поле не как самостоятельную физическую реальность, а лишь как «свойство», принадлежащее магниту или источнику тока.

Гисасола и соавторы, проведя качественный анализ представлений студентов университетов о магнитном поле, установили, что большинство из них рассматривает магнитное поле не как физический объект, существующий в пространстве, а как явление, ограниченное областью расположения магнитных тел [5]. В исследовании на основе интервью и письменных заданий зафиксировано, что студенты воспринимают линии магнитного поля как реальные физические объекты, интерпретируя их в виде «видимых путей». Данное явление объясняется недостаточным разъяснением моделирующего характера линий магнитного поля.

В литературе по исследованиям в области физического образования также подчёркивается, что пространственное распределение магнитного поля представляет для студентов особую трудность. Обучающиеся испытывают затруднения в понимании изменения величины магнитной индукции от точки к точке, принципа суперпозиции и существования поля независимо от источника. Данная проблема особенно ярко проявляется при анализе магнитного поля, создаваемого несколькими проводниками с током или в сложных геометрических конфигурациях [3,5].

По моему мнению, данная проблема обусловлена не только абстрактностью магнитного поля, но и недостаточным закреплением «модели поля» в практике преподавания. Во многих случаях на занятиях линии магнитного поля представляются в виде готовых схем, при этом не

раскрывается их модельный характер, то есть не объясняется, что они не являются реальными объектами, а служат средством отображения интенсивности и направления поля. В результате студенты начинают воспринимать магнитное поле как «видимую субстанцию» и не осознают его как непрерывно распределённую в пространстве физическую величину. В связи с этим считаю необходимым при обучении темам магнитного поля формировать понятие поля как самостоятельный и центральный дидактический объект, предшествующий введению понятия силы.

В итоге понятие магнитного поля не формируется у студентов на должном концептуальном уровне, а последующие темы - сила Лоренца, движение заряженных частиц и электромагнитная индукция - усваиваются поверхностно.

2.2. Смещение понятий силы и поля

Одной из широко распространённых проблем при изучении магнитного поля является смешение понятий силы и поля. В исследованиях, проведённых Баньо и Эйлон, отмечается, что студенты часто отождествляют магнитное поле с силой и не принимают идею о существовании поля до возникновения силы [6]. По мнению обучающихся, если действие силы не ощущается, то магнитное поле также не существует.

Данное смешение особенно обостряется при изучении понятия силы Лоренца. Исследования показывают, что студенты испытывают затруднения в понимании того, что при движении заряженной частицы в магнитном поле сила возникает вследствие движения, тогда как само поле существует независимо от этого движения [7]. В результате у них формируются ошибочные причинно-следственные представления типа «магнитное поле воздействует на частицу» и «магнитное поле порождается частицей».

В исследованиях пространственного воображения, проведённых Торнквистом и соавторами, установлено, что студенты часто представляют магнитное поле вокруг проводника с током как силу, направленную вдоль направления тока [8]. Это приводит к неправильному применению правила правой руки и ошибкам в определении направлений векторов. Обучающиеся не способны чётко различить вектор магнитного поля и вектор силы Лоренца.

В литературе по исследованиям в области физического образования данная проблема также связывается с исторически и методически некорректной последовательностью введения понятий силы и поля. Если в процессе обучения понятие силы занимает центральное место, а понятие поля вводится как вторичное, то в сознании студентов поле формируется как «производная» силы [6,9]. Такой подход противоречит современной полевой концепции электромагнетизма.

Согласно нашим аналитическим выводам, смешение понятий силы и поля является одной из наиболее методически опасных проблем в разделе магнитного поля, поскольку оно приводит к искажённому формированию всех последующих понятий. Если обучающийся ориентируется не на вопрос

«откуда возникает сила?», а на вопрос «какое поле существует в пространстве и при каких условиях оно порождает силу?», то причинно-следственные связи формируются значительно более устойчиво. В связи с этим считаю необходимым при обучении темам магнитного поля закрепить дидактический принцип последовательности «поле \rightarrow взаимодействие \rightarrow сила». Такой подход не только углубляет концептуальное понимание студентов, но и формирует у будущих преподавателей методическое мышление, основанное на современной полевой концепции.

2.3. Проблемы векторного и пространственного воображения

Одной из наиболее «устойчивых» трудностей при изучении тем магнитного поля является корректное представление векторных величин (B , v , F) и их пространственных взаимосвязей. В исследованиях по физическому образованию неоднократно отмечается, что при определении направления силы Лоренца (правило правой руки, $v \times B$) студенты не в полной мере осознают взаимную перпендикулярность векторов и «одновременное пространственное расположение трёх векторов» [8-10]. Данная проблема, как правило, проявляется в двух типичных ситуациях:

- *Ошибка пространственной ориентации*: студенты воспринимают направления векторов в плоскости рисунка, тогда как магнитное поле часто задаётся направленным «в плоскость страницы» или «из плоскости страницы»;

- *Подмена ролей векторов*: отождествление B и F либо формирование ошибочного правила о том, что «сила направлена вдоль линий магнитного поля» [8,9].

Торнквист и соавторы отмечают, что при решении задач на определение направления магнитного поля и силы Лоренца студенты часто опираются на механическое запоминание правил, однако из-за отсутствия концептуального понимания условий и смысла их применения ошибки носят систематический характер [8]. Планинич также указывает, что трудности работы с векторами обусловлены не только недостаточной математической подготовкой, но и дефицитом наглядно-визуальных моделей [9]. В ряде других исследований подчёркивается, что при отсутствии множественных представлений одного и того же явления (диаграммы, графики, словесное объяснение, симуляция) студенты испытывают значительные затруднения в его понимании [10,11].

Использование двумерных рисунков для объяснения трёхмерного движения дополнительно усугубляет данную проблему [11]. В частности, если в практике обучения не закрепляется семантика символов \bullet и \times (направление из плоскости и в плоскость страницы), студенты пытаются «вращать» векторы в плоскости рисунка, что приводит к увеличению количества ошибок при определении направления вектора $v \times B$ [10,11].

По нашим наблюдениям, аналогичная проблема сохраняется и у будущих учителей физики: они помнят правило правой руки, однако, не связывая его с осмысленной визуальной моделью, теряются при изменении

условий задачи (знак заряда, направление скорости или ориентация вектора B относительно плоскости страницы). В связи с этим считаю необходимым при изучении раздела «Магнитное поле» использовать не только заучивание правил, но и интеграцию трёхмерной визуализации (симуляций), множественных представлений и физических моделей (рука, ручка, картонные макеты). Такой подход создаёт методически устойчивую опору и для самого преподавателя.

2.4. Доминирование математического формализма

Одним из распространённых методических перекосов при обучении электромагнетизму является доминирование математического формализма над концептуальным содержанием. В работах Редиша, а также представителей школы Макдермотт показано, что электромагнетизм нередко преподаётся как «система формул», в результате чего студенты умеют вычислять, но не способны объяснять физический смысл явлений [12,13]. Такая практика приводит к преобладанию алгоритмического, пошагового подхода к решению задач [14].

В исследованиях Хеллера и Райфа, посвящённых когнитивной модели решения задач, также отмечается, что студенты часто стремятся решать задачи по «знакомому шаблону», не выстраивая физическую структуру ситуации, то есть модель явления [14]. В разделе магнитного поля это проявляется, в частности, следующим образом:

- студент умеет применять формулу $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}$, но не может обосновать направление магнитного поля;
- использует выражение $F = qvB\sin\theta$, но испытывает затруднения при объяснении того, почему сила перпендикулярна скорости;
- не понимает физического смысла множителя $\sin\theta$, отражающего влияние только перпендикулярной компоненты скорости [12-14].

Результаты исследований в традиции Макдермотт и Шаффера показывают, что введение математических выражений без предварительного построения концептуального содержания часто приводит к «номинальному усвоению»: студенты могут получить правильный численный ответ, но не способны объяснить логику физического явления [13]. Редиш интерпретирует данное явление как разрыв между формой (математическим выражением) и смыслом (физической моделью) [12].

По нашему мнению, в разделе магнитного поля необходимо не сокращать использование математики, а правильно встроить её в концептуальную последовательность: сначала модель (поле → взаимодействие → направление), затем визуальное доказательство (симуляция или эксперимент), и лишь после этого – математическое обобщение. В высшем образовании, особенно при подготовке будущих учителей, формула должна выступать как «итоговая краткая запись», опирающаяся на ранее сформированное физическое содержание. В противном случае возрастает риск того, что будущий преподаватель будет

представлять формулы в учебном процессе как «готовые рецепты», лишённые концептуального основания.

2.5. Неэффективность традиционных методов обучения

В литературе, посвящённой преподаванию физики, неоднократно отмечается, что обучение электромагнетизму в традиционном (пассивном) лекционном формате часто приводит к низким показателям концептуального усвоения. Хейк, сравнивая интерактивные подходы с традиционными методами, показал, что первые, как правило, обеспечивают значительно более высокий уровень концептуального прироста знаний [15]. Виман и Перкинс также указывают, что ключевыми драйверами трансформации физического образования являются активное обучение, концептуальное обсуждение, оперативная обратная связь и использование симуляций [16]. В случае таких «невидимых» и динамических явлений, как магнитное поле, пассивное объяснение оказывается заведомо недостаточным: студенту трудно «построить» в сознании то, что он не может наблюдать напрямую, опираясь лишь на словесное изложение и записи на доске [17].

Согласно анализу Мельцера, при традиционных методах обучения студенты чаще достигают лишь кратковременного усвоения материала, при этом уровень концептуальной устойчивости остаётся низким; в условиях активного обучения, напротив, значительно усиливаются связи между понятиями [17]. В разделе магнитного поля данная проблема проявляется особенно отчётливо: если студент не видит пространственное распределение поля, не «проживает» взаимосвязи между векторами и не имеет возможности обсуждать и корректировать собственные ошибки, знания сохраняются не в виде целостной модели, а как набор разрозненных фактов [15-17].

Наши наблюдения в процессе работы с будущими учителями показывают, что в темах магнитного поля традиционная лекция может способствовать запоминанию отдельных элементов содержания, однако этого недостаточно для формирования компетенций преподавания. В профессиональной деятельности учитель вынужден не только излагать материал, но и визуализировать, объяснять и демонстрировать физические явления. В связи с этим при обучении разделу «Магнитное поле» представляется необходимым систематическое и взаимосвязанное использование визуализации (раскрытие пространственной структуры и векторного характера поля с помощью симуляций и анимаций), исследовательской деятельности, основанной на проблемных вопросах (почему наблюдается именно такое явление, при каких условиях результат изменяется), а также концептуального обсуждения.

Данная триада переводит учебный процесс из пассивного лекционного формата в активный познавательный процесс, в котором студенты выступают не как пассивные получатели готовых формул, а как активные участники, понимающие и объясняющие физические явления. В результате у обучающихся формируются не только устойчивые концептуальные знания по магнитному полю, но и компетенции, необходимые для будущей

педагогической и методической деятельности, включая умения ставить вопросы, давать объяснения и вести обсуждение на основе научной логики.

3. Научно обоснованные решения по преодолению выявленных проблем

3.1. Визуализация и симуляции

При изучении физических явлений, которые не могут быть непосредственно наблюдаемы с помощью органов чувств, таких как магнитное поле, средства визуализации обладают важным дидактическим значением. В частности, исследования, основанные на использовании интерактивных симуляций PhET, показывают, что динамическая и интерактивная демонстрация линий магнитного поля, вектора магнитной индукции и траекторий движения заряженных частиц существенно повышает уровень концептуального понимания у студентов [18-20]. Эти симуляции позволяют воспринимать магнитное поле не как статичное изображение или набор формул, а как непрерывно распределённую в пространстве физическую величину, чувствительную к изменению параметров.

В последние годы в исследованиях по физическому образованию широко обсуждается эффективность интерактивных и активных подходов к обучению, при этом особое внимание уделяется роли симуляций типа PhET в формировании концептуального понимания. Интерактивные симуляции PhET, разработанные Перкинсом и соавторами, рассматриваются как методическое решение, направленное на визуальное и интуитивное представление невидимых и абстрактных понятий физики [18]. Авторы подчёркивают, что данные симуляции трансформируют обучающихся из пассивных наблюдателей в активных субъектов исследовательской деятельности и являются более эффективным средством развития концептуального понимания по сравнению с формульно-ориентированным изложением. Несмотря на то, что в указанной работе магнитное поле не анализируется как отдельный эмпирический объект, решающая роль визуализации в обучении физическим понятиям, не поддающимся прямому восприятию, обоснована научно.

В исследовании Финкельштейна и соавторов анализируется сравнительная эффективность интерактивных компьютерных симуляций и реальных лабораторных экспериментов [19]. Результаты показывают, что симуляции предоставляют студентам возможность изучать физические процессы в безопасной, воспроизводимой среде с возможностью свободного изменения параметров. Авторы отмечают, что симуляции играют особенно важную роль в понимании причинно-следственных связей, поскольку позволяют наблюдать не только результат, но и сам процесс в динамике. Данный вывод косвенно подтверждает методическую обоснованность использования симуляций при обучении таким пространственным и динамическим явлениям, как магнитное поле.

Адамс и соавторы эмпирически показывают, что образовательная эффективность интерактивных учебных сред определяется не столько

уровнем технологической оснащённости, сколько качеством педагогического дизайна и целенаправленной интеграцией в учебный процесс [20]. По мнению авторов, если симуляции не сочетаются с исследовательской деятельностью, проблемными вопросами и концептуальным обсуждением, они могут превратиться в очередное средство пассивного обучения. Напротив, при интеграции интерактивных сред с подходом *обучение, ориентированное на исследование* концептуальное понимание студентов углубляется, а способность переноса знаний в новые ситуации значительно возрастает.

Настоящее исследование опирается на конструктивистскую теорию обучения, согласно которой знания формируются обучающимися в процессе активной когнитивной деятельности. Результаты квазиэкспериментального исследования показывают, что студенты, обучавшиеся в интерактивной и симуляционно-ориентированной среде, демонстрируют более высокие результаты при решении концептуальных задач и применении знаний в новых контекстах по сравнению с их сверстниками, обучавшимися в условиях традиционного лекционно-центрированного подхода. В соответствии с выводами авторов, определяющим фактором эффективности обучения является не сама технология, а её целенаправленная интеграция с исследовательски ориентированными педагогическими практиками.

Полученные результаты методически обосновывают необходимость использования интерактивных моделей и симуляций при обучении таким пространственным, динамическим и требующим визуализации темам, как электромагнетизм и магнитное поле. Хотя исследования [18-20] не содержат прямого эмпирического анализа понятия магнитного поля, они теоретически и экспериментально подтверждают общую дидактическую эффективность визуализации, исследовательского обучения и концептуального обсуждения при преподавании подобных тем. В этом контексте данные источники служат важной теоретической основой для интерпретации интегрированной дидактической модели обучения магнитному полю как методически обоснованного и научно легитимного подхода.

В сущности, визуализация в разделе «Магнитное поле» должна рассматриваться не как вспомогательное средство, а как основной дидактический опорный элемент. Традиционные досочные изображения не способны в полной мере отразить трёхмерную и динамическую природу магнитного поля. Поэтому симуляции целесообразно использовать не только как демонстрационный инструмент, но и как исследовательскую среду, в которой студент может самостоятельно изменять параметры, наблюдать результаты и анализировать их. Особенно для будущих учителей физики такой опыт становится прочной методической опорой, позволяющей в дальнейшем эффективно объяснять явления магнитного поля в собственной педагогической практике.

3.2. Обучение, основанное на исследовательской деятельности

Подход, основанный на исследовательском обучении, широко признаётся в литературе как эффективная педагогическая стратегия для преодоления концептуальных трудностей, возникающих при изучении магнитного поля. Эткина и соавторы подчёркивают, что в модели исследовательски ориентированного обучения студент выступает не как пассивный получатель готовых законов и формул, а как активный участник образовательного процесса, формулирующий вопросы, выдвигающий гипотезы и делающий выводы на основе результатов экспериментов или наблюдений [21]. Авторы показывают, что данный подход особенно важен при изучении таких абстрактных понятий, как поле, сила и энергия, и эмпирически доказывают, что концептуальное понимание значительно углубляется в тех случаях, когда физические законы осваиваются студентами в процессе их «открытия». Эти результаты указывают на необходимость отказа от исключительно формульного изложения магнитного поля и перехода к его изучению как системы моделей и причинно-следственных связей.

Исследования, проведённые Холмсом и соавторами, анализируют роль исследовательски ориентированных лабораторных занятий в развитии научного мышления студентов [22]. Авторы показывают, что в рамках таких лабораторных работ обучающиеся активно развивают навыки сбора доказательств, анализа данных и формулирования выводов. Хотя в данном исследовании магнитное поле не рассматривалось как отдельный объект анализа, полученные выводы полностью применимы к разделу электромагнетизма, в частности к теме магнитного поля. Это обусловлено тем, что магнитное поле является типичным объектом исследовательской деятельности, требующим выявления причинно-следственных связей, анализа направлений векторов и обоснования физических явлений на основе экспериментальных данных. Результаты, полученные Холмсом и его коллегами, свидетельствуют о том, что обучение магнитному полю через исследовательскую деятельность способствует развитию не только уровня знаний, но и научного мышления.

Принс и Фелдер, обобщая исследования по исследовательскому и активному обучению в контексте инженерных и естественных наук, эмпирически и на основе метаанализа обосновывают преимущество данных подходов по сравнению с традиционными лекционно-центрированными методами обучения [23]. Авторы показывают, что образовательные среды, основанные на активном участии студентов, постановке вопросов и обсуждении, значительно повышают уровень концептуального понимания и способность переноса знаний в новые ситуации. Эти выводы подтверждают методическую обоснованность использования исследовательского обучения при преподавании таких сложных и абстрактных понятий, как магнитное поле.

Результаты указанных исследований свидетельствуют о том, что студенты, обучавшиеся в условиях исследовательски ориентированного

подхода, воспринимают магнитное поле не как совокупность формул, а как физическую модель и систему причинно-следственных связей [21,22]. Особенно эффективной оказывается исследовательская деятельность, организованная вокруг вопросов типа: «Как изменится траектория заряженной частицы при изменении её скорости?» или «В каком направлении изменится сила Лоренца при изменении направления магнитного поля?». Такие вопросы способствуют логическому и устойчивому формированию понятия магнитного поля.

По нашему мнению, раздел «Магнитное поле» является особенно благоприятным для реализации исследовательского обучения, поскольку в процессе его изучения у студентов естественным образом возникают вопросы типа «почему?» и «как?». Если преподаватель превращает эти вопросы в движущую силу учебного процесса, усвоение магнитного поля переходит от механического запоминания к логически-конструктивному построению знаний. В высшем образовании, особенно при подготовке будущих учителей физики, исследовательское обучение выступает важным педагогическим средством формирования методического мышления, а также основы для последующего проектирования эффективных уроков и глубокого объяснения физических понятий.

3.3. Концептуальные вопросы и обсуждение

В литературе неоднократно обосновано, что концептуальные вопросы и дискуссионный подход являются эффективным средством выявления и коррекции устойчивых неправильных представлений по темам магнитного поля [24-26]. В дискуссионном подходе студент сначала формулирует индивидуальный ответ на вопрос, затем аргументированно обсуждает его в малой группе и, в завершение, пересматривает собственную позицию. Такой процесс вынуждает обучающихся искать не столько «правильный ответ», сколько «обоснованное объяснение» [24]. Эмпирические результаты показывают, что в курсах, где используется обсуждение, возрастает уровень концептуального усвоения и способность мышления в проблемных ситуациях; при этом именно взаимное обсуждение студентов позволяет быстрее сделать неправильные представления «видимыми» и доступными для коррекции [25]. Так, Крауч и Мазур на основе многолетних данных учебной практики показали, что дискуссия существенно укрепляет концептуальное мышление и повышает уровень понимания у студентов [25].

В разделе «Магнитное поле» концептуальные вопросы специально конструируются для диагностики устойчивых ошибок понимания. В литературе описано, что при изучении электромагнитных понятий студенты часто опираются на упрощённые логические «эвристики», в результате чего неверно выстраивают связь между полем, силой и движением. В частности, трудности в понимании взаимодействия зарядов с магнитным полем подробно задокументированы Малони и его последователями, при этом показано, что данные трудности связаны с наличием альтернативных концепций. Также отмечается, что студенты начального уровня

демонстрируют низкие результаты в тестах по электромагнитному полю, а их объяснительные модели часто склоняются к интерпретации поля как свойства объекта, а не как самостоятельной физической реальности.

В этом контексте концептуальные вопросы по разделу «Магнитное поле» направлены на выявление таких типичных неправильных представлений, как: отождествление линий магнитного поля с траекторией движения заряженной частицы; представление направления силы Лоренца как совпадающего с направлением магнитного поля (игнорирование векторного произведения и перпендикулярности); убеждение в том, что магнитное поле существует только в момент воздействия на частицу (трактовка поля не как независимой пространственной реальности, а как явления, возникающего лишь при взаимодействии) [26]. При постановке подобных вопросов в формате обсуждения студент вынужден аргументировать свою позицию перед группой. Именно эта «необходимость обоснования» способствует более быстрому выявлению и исправлению ошибочных представлений. В банках концептуальных вопросов, предложенных Мазуром, представлены задания по магнетизму, в том числе направленные на понимание силы Лоренца.

В действительности в разделе «Магнитное поле» концептуальные вопросы не должны рассматриваться исключительно как инструмент оценивания; напротив, они должны выполнять функцию механизма обучения непосредственно в ходе занятия. Если студент переходит от установки «какой ответ правильный?» к вопросу «почему этот ответ является правильным?», знания о магнитном поле формируются значительно более устойчиво. Элементы обсуждения имеют особое значение при подготовке будущих учителей, поскольку в дальнейшей профессиональной деятельности им предстоит организовывать культуру обсуждения, постановку концептуальных вопросов и аргументированное объяснение на уроках школы или колледжа.

В результате проведенного анализа можно заключить, что литература указывает на невозможность эффективного преодоления концептуальных трудностей обучения магнитному полю с помощью одного-единственного метода. Наиболее результативным является сочетание визуализации, исследовательской деятельности и концептуального обсуждения [24-26]. Обсуждение делает концептуальные ошибки «видимыми» и обеспечивает механизм их оперативной коррекции; исследовательская деятельность позволяет студентам самостоятельно выстраивать причинно-следственные связи; визуализация облегчает восприятие пространственной и динамической природы поля. Именно эта триада образует теоретическую основу интегрированной дидактической модели, предлагаемой в следующем разделе.

4. Предлагаемая интегрированная дидактическая модель

Для эффективного обучения таким абстрактным и высокотeorетическим понятиям, как магнитное поле, традиционные

линейные подходы оказываются недостаточно результативными. В связи с этим в рамках настоящего исследования была разработана интегрированная дидактическая модель, основанная на механизмах обратной связи и опирающаяся на эффективные педагогические элементы, рекомендованные в исследованиях по преподаванию физики (рис. 1).

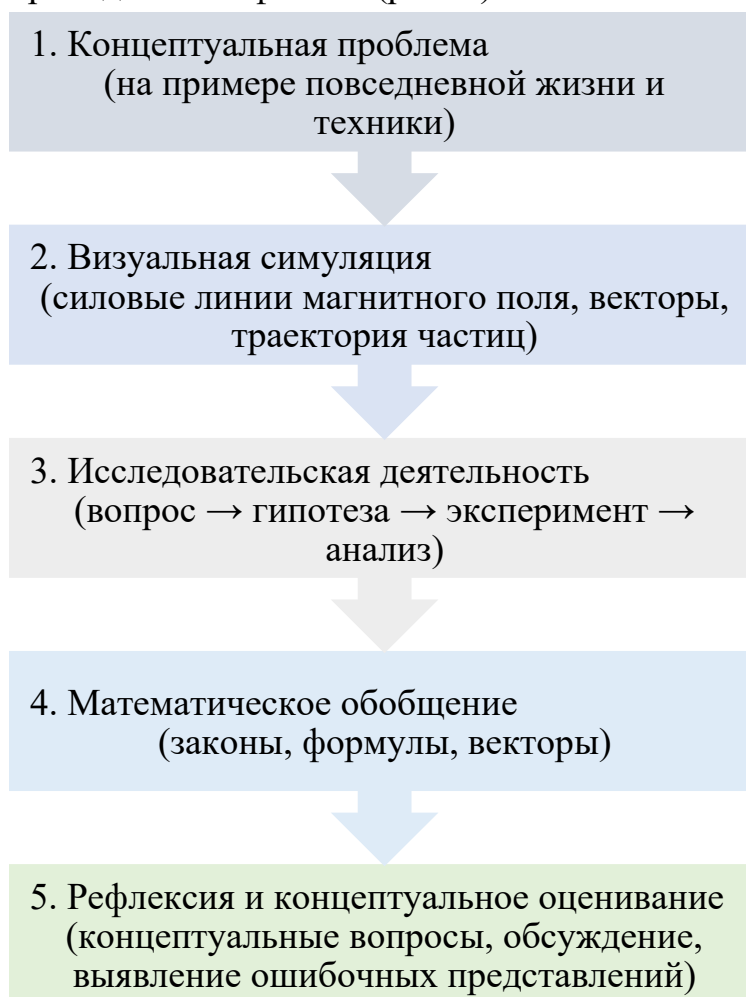


Рисунок 1. Интегрированная дидактическая модель.

Данная модель рассматривает обучение не как процесс передачи готовых знаний, а как активную познавательную деятельность студента. Она организует обучение в виде циклического процесса, объединяющего в единую дидактическую систему концептуальное понимание, визуальное восприятие, исследовательскую деятельность, математическое обобщение и рефлексия.

Первым компонентом модели является *концептуальная проблема*, которая формируется на основе реальных ситуаций, связанных с повседневной жизнью и техникой. На данном этапе активизируются предварительные знания студентов, создаётся когнитивный конфликт и формируется внутренняя мотивация к изучению новой темы.

Второй компонент - *визуальная симуляция* - предполагает динамическое представление линий магнитного поля, векторов и траекторий движения частиц с помощью моделей. Этот этап переводит абстрактное понятие поля в наглядную форму и способствует снижению ошибок,

связанных с пространственным и векторным восприятием. Как показано на рисунке, данный этап напрямую связан с исследовательским процессом посредством механизма обратной связи.

Третий компонент представляет собой *исследовательскую деятельность*, в рамках которой студенты самостоятельно формируют знания через постановку вопросов, выдвижение гипотез, проведение экспериментов или симуляций и анализ полученных результатов. В случае если полученные результаты оказываются непонятными или противоречивыми, студент возвращается к этапу визуальной симуляции и повторяет исследование. Данный механизм отражает важную когнитивную обратную связь, заложенную в модели.

Четвёртый компонент - *математическое обобщение* - направлен на соотнесение концептуальных и экспериментальных результатов с физическими законами и математическими формулами. На этом этапе формулы интерпретируются не как готовая информация, а как логически обобщённое выражение понятий, сформированных на предыдущих этапах. В случае возникновения несоответствия между математической моделью и пониманием физического содержания осуществляется возврат к исследовательскому этапу для уточнения результатов.

Заключительным этапом модели является *рефлексия и концептуальное оценивание*, обеспечивающее оценку уровня понимания студентов посредством концептуальных вопросов, обсуждений и выявления ошибочных представлений. Именно на этом этапе формируется новая концептуальная проблема, после чего учебный процесс переходит к следующему циклу. Таким образом, модель обеспечивает непрерывный и развивающийся процесс обучения.

В целом предлагаемая интегрированная дидактическая модель объединяет в единую систему концептуальную проблему, визуализацию, исследовательскую деятельность, математическое обобщение и рефлексия, аккумулируя все ключевые элементы, признанные эффективными в проанализированной научно-методической литературе [27-30].

5. Заключение и рекомендации

Проведённый анализ и эмпирические результаты показывают, что основные трудности в обучении темам магнитного поля связаны не столько с выполнением математических вычислений, сколько с осмыслением физического смысла понятия поля, при этом данные проблемы носят преимущественно концептуальный и методический характер. В ходе исследования было установлено, что студенты допускают устойчивые ошибки при определении направления магнитной силы, пространственном представлении векторных величин, а также при соотнесении выражения силы Лоренца с реальными физическими процессами. Данная ситуация согласуется с результатами международных исследований и свидетельствует о том, что традиционное, формульно-ориентированное обучение является недостаточным для преодоления указанных затруднений.

Интегрированная, визуальная и исследовательски ориентированная дидактическая модель, предложенная в рамках данного исследования, позволила системно устранить выявленные проблемы. Результаты экспериментальной группы показали, что после проведения занятий на основе данной модели у студентов значительно улучшилось концептуальное понимание магнитных силовых линий, направлений векторов и движения частиц. В частности, по результатам концептуального тестирования средние показатели экспериментальной группы стабильно превышали показатели контрольной группы, при этом выявленные различия оказались статистически значимыми. Кроме того, возросла активность студентов в процессе обсуждения и рефлексии, сформировались умения самостоятельного выявления и коррекции ошибочных представлений.

Использование визуальных симуляций и виртуальных лабораторий позволило перевести понятие поля с абстрактного уровня на уровень пространственного и динамического восприятия, что способствовало активизации научного мышления студентов. Исследовательская деятельность, в свою очередь, обеспечила развитие у обучающихся компетенций постановки вопросов, выдвижения гипотез и формулирования выводов на основе доказательств. Этап математического обобщения способствовал более глубокому пониманию содержания формул и переходу от их механического применения к осознанному использованию.

На основе полученных результатов можно сформулировать ряд практических рекомендаций по обучению темам магнитного поля. Прежде всего, целесообразно преподавать данные темы не только через алгебраические формулы и расчётные задачи, но и на основе моделей поля, силовых линий и векторных представлений. Такой подход способствует формированию у студентов пространственного мышления и понимания причинно-следственных связей. Во-вторых, виртуальные лаборатории и компьютерные симуляции следует внедрять в учебный процесс не как вспомогательное средство, а как обязательный и системный компонент обучения. Такая среда создаёт условия для безопасного, воспроизводимого эксперимента с возможностью свободного изменения параметров. Наконец, в процессе оценивания рекомендуется не ограничиваться тестами, основанными исключительно на вычислениях, а использовать концептуальные вопросы, графический анализ и развернутые пояснительные ответы. Это позволяет более точно определить реальный уровень понимания студентов и оценить их способность к переносу усвоенных знаний в новые ситуации.

В целом интегрированный, визуальный и исследовательски ориентированный подход демонстрирует высокую эффективность в обучении темам магнитного поля, способствуя не только улучшению учебных результатов, но и формированию у студентов устойчивого научного мышления и глубокого понимания физических явлений. В связи с этим

представляется целесообразным широкое внедрение данной модели при преподавании раздела электромагнетизма в высших учебных заведениях.

Использованная литература

1. Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(S1), S12-S23. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1371296>
2. McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. *American Journal of Physics*, 60(11), 994-1003. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.17003>
3. Redish, E. F. (2003). *Teaching physics with the physics suite*. Wiley. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471440007>
4. Viennot, L. (2001). *Reasoning in physics: The part of common sense*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-1677-5>
5. Guisasola, J., Almudí, J. M., & Zubimendi, J. L. (2004). Difficulties in learning the introductory magnetic field theory. *Science Education*, 88(3), 443-464. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.10119>
6. Bagno, E., & Eylon, B. (1997). From problem solving to a knowledge structure: An example from electromagnetism. *American Journal of Physics*, 65(8), 726-736. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.18652>
7. Törnkvist, S., Pettersson, K.-A., & Tranströmer, G. (1993). Confusion by representation: On students' comprehension of the electric field concept. *American Journal of Physics*, 61(4), 335-338. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.17268>
8. Singh, C. (2006). Student understanding of symmetry and Gauss's law. *American Journal of Physics*, 74(10), 923-936. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.2218357>
9. Planinic, M. (2006). Assessment of difficulties of some conceptual areas from electricity and magnetism using CSEM. *Physical Review Physics Education Research*, 2, 010103. <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPER.2.010103>
10. Scaife, T. M., & Heckler, A. F. (2010). Interference between electric and magnetic concepts. *Physical Review Physics Education Research*, 6, 010106. <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPER.6.010106>
11. Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2006). Effects of representation on students solving physics problems. *Physical Review Physics Education Research*, 2, 010111. <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPER.2.010111>
12. Redish, E. F., & Smith, K. A. (2008). Looking beyond content: Skill development for engineers. *American Journal of Physics*, 76(10), 970-977. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.2952271>
13. McDermott, L. C. (1991). What we teach and what is learned-Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301-315. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.16539>

14. Heller, P., & Reif, F. (1984). Prescribing effective human problem-solving processes. *Cognitive Science*, 8(2), 175-209.
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1207/s15516709cog0802_2
15. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.18809>
16. Wieman, C. E., & Perkins, K. K. (2005). Transforming physics education. *Physics Today*, 58(11), 36-41.
<https://pubs.aip.org/physicstoday/article/58/11/36/387022>
17. Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains. *American Journal of Physics*, 70(12), 1259-1268.
<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1514215>
18. Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., & Wieman, C. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18-23. <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.2150754>
19. Finkelstein, N. D., et al. (2005). When learning about the real world is better done virtually. *Physical Review Physics Education Research*, 1, 010103.
<https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPER.1.010103>
20. Adams, W. K., et al. (2008). A study of educational simulations Part I. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 397-419.
<https://www.learntechlib.org/p/24200/>
21. Etkina, E., Murthy, S., & Zou, X. (2006). Using introductory labs to engage students in experimental design. *Physics Education*, 41(1), 1-7.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/41/1/001>
22. Holmes, N. G., Wieman, C. E., & Bonn, D. A. (2015). Teaching critical thinking. *Physical Review Physics Education Research*, 11, 010116.
<https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPER.11.010116>
23. Prince, M., & Felder, R. (2006). Inductive teaching and learning methods. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123-138.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
24. Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's manual*. Prentice Hall.
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/peer-instruction/P200000006245>
25. Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1374249>
26. Lasry, N., Mazur, E., & Watkins, J. (2008). Peer instruction: From Harvard to the two-year college. *American Journal of Physics*, 76(11), 1066-1069.
<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.2978182>
27. Hestenes, D. (2010). Modeling theory for math and science education. *American Journal of Physics*, 78(9), 965-980.
<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.3497599>
28. Duit, R., & Treagust, D. F. (2012). *Conceptual change: A powerful framework*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-2153-8>

29. Freeman, S., et al. (2014). Active learning increases student performance. PNAS, 111(23), 8410-8415. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1319030111>
- Mulhall, P. J., & Gunstone, R. F. (2012). Views about learning physics held by physics teachers with differing approaches to teaching physics. Journal of Science Teacher Education, 23(5), 429-449. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10972-012-9291-2>