International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА АДАПТИВНА СИСТЕМА С ИГРОВИ ЕЛЕМЕНТИ ЗА ПОДПОМАГАНЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

Йордан Балталийски

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“, ул. „Цар Асен“ 24, Пловдив, България
**кореспондиращ автор: yordan.baltaliyski@uni-plovdiv.bg*

CONCEPTUAL MODEL OF AN ADAPTIVE SYSTEM WITH GAME ELEMENTS FOR SUPPORTING THE LEARNING OF GEOMETRIC OPTICS

Yordan Baltaliyski

Paisii Hilendarski University of Plovdiv, 24 Tsar Assen Str., Plovdiv, Bulgaria
**Corresponding author: yordan.baltaliyski@uni-plovdiv.bg*

Abstract
The article presents a conceptual model of an adaptive system with game elements to support the learning of geometric optics in the 7th grade by providing personalized questions, tasks and help. The system is intended to monitor knowledge mastery and the presence of misconceptions related to the propagation, reflection, and refraction of light, as well as the construction and determination of the properties of images in mirrors and lenses. Depending on the identified difficulties, the system will adapt the type, sequence, and difficulty of the questions and tasks. To substantiate the conceptual model, a literary and didactic analysis was conducted, including: (1) a study of the architectural models of adaptive educational systems; (2) a didactic analysis of the educational content of the "Optics" section for the 7th grade. Based on the results, a domain model, a student model, and an adaptation mechanism were developed. Adaptive behaviour will be implemented through rule-based mechanisms and machine learning algorithms. The integration of game elements is aimed at maintaining student motivation and engagement. The proposed model envisages the use of the system both in the school environment and for students' independent study.

Keywords: adaptive learning; adaptive educational system; game elements; geometric optics learning.

ВЪВЕДЕНИЕ

Адаптивните образователни системи представляват учебни среди, които динамично изменят определени компоненти на обучението с цел по-добро съответствие с индивидуалните потребности на обучаемия [1]. Адаптацията може да обхваща учебното съдържание, темпото на работа, последователността на учебните дейности и предоставяната обратна връзка, като решенията се основават на непрекъснат анализ на представянето и взаимодействията на ученика със системата [2]. Развитието на методи, базирани на изкуствен интелект (ИИ), през последните години допълнително разшири възможностите на адаптивните образователни системи за персонализация чрез адаптиране на учебното съдържание, учебния път и оценяването въз основа на натрупаните данни за обучаемия [3]. Подобна степен на индивидуализация трудно може да бъде осигурена в рамките на традиционната класно-урочна организация, особено при работа с ученици с различно ниво на подготовка и темп на учене [4]. Използването на адаптивни образователни системи извън класната стая

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

обаче може да даде възможност учениците да упражняват учебното съдържание със собствено темпо и да получават задачи и подкрепа, съобразени с техните конкретни затруднения и напредък. Такава индивидуализирана подкрепа е особено приложима в обучението по физика, която често се възприема от учениците като един от най-трудните учебни предмети [5].

В рамките на обучението по физика геометричната оптика представлява подходяща област за прилагане на адаптивен подход. На пръв поглед тя изглежда като сравнително достъпен и привлекателен за учениците раздел от физиката. Възможността за пряко наблюдение на някои оптични явления, възможността за провеждане на разнообразни експерименти и демонстрации със светлина могат да стимулират интереса на учениците от прогимназиалния етап. Същевременно ежедневният опит и интуитивното тълкуване на наблюдаваните явления могат да доведат до формирането на предварителни представи, които невинаги съответстват на научното им обяснение. Някои от тези представи се оказват устойчиви и продължават да влияят върху начина, по който учениците интерпретират и усвояват новото учебно съдържание. Изследванията показват наличие на погрешни представи и затруднения у учениците при разбирането на явления като отражение и пречупване на светлината, построяването на образи при огледала и лещи [6][7]. Поради това своевременното установяване на подобни погрешни представи и затруднения и предоставянето на подходящи учебни дейности са важна предпоставка за тяхното преодоляване.

Настоящата статия има за цел да представи концептуален модел на адаптивна система с игрови елементи, която да подпомага обучението по геометрична оптика в 7. клас (13 годишни ученици) в българското училище чрез предоставяне на персонализирани учебни задачи и помощ. Системата ще проследява степента на овладяване на конкретни знания и умения, свързани с разпространение на светлината, отражение и пречупване на светлината, както и с построяване и определяне на свойствата на образи при огледала и лещи. В зависимост от установените затруднения тя ще адаптира вида, последователността и трудността на предлаганите задачи и тестови въпроси. Системата ще включва и игрови механики, които ще подпомогнат поддържането на мотивацията и ангажираността на учениците при системното упражняване и прилагане на знанията по геометрична оптика.

ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

1. АДАПТИВНО ОБУЧЕНИЕ

Съвременното разбиране за адаптивно обучение се оформя в началото на XXI век с развитието на онлайн обучението. То се основава на технологии, които динамично приспособяват нивото, вида и представянето на учебното съдържание към индивидуалните способности и степента на овладяване на знанията и уменията на обучаемия [8]. Практическата реализация на адаптивното обучение се осъществява чрез адаптивни образователни системи, които събират и анализират данни за обучаемия и въз основа на тях динамично променят учебното съдържание и други елементи на учебната среда [9]. Адаптацията може да обхваща учебното съдържание, нивото на трудност на задачите, последователността на учебните дейности, начина на представяне на информацията, темпото на работа, както и вида на предоставяната помощ и обратна връзка [2]. Адаптивното обучение е тясно свързано с развитието и приложението на изкуствения интелект в обучението, тъй като методите на ИИ разширяват възможностите за автоматизирано събиране, обработване и анализ на данни за обучаемия [8]. Чрез тях могат да се откриват закономерности в неговото представяне, да се оценява текущото ниво на знания и умения, както и да се идентифицират затруднения и потребности от допълнителна подкрепа [3]. Въз основа на тази информация сис-

темата може да определя и прилага подходящи адаптации на учебното съдържание спрямо знанията и потребностите на обучаемия.

2. АРХИТЕКТУРА НА АДАПТИВНА СИСТЕМА

2.1.Основни компоненти

Архитектурата на една адаптивна образователна система включва три основни компонента: модел на потребителя (user model), модел на предметната област (domain model) и модел на взаимодействието/адаптацията (interaction/adaptation model) [10]:

- Моделът на потребителя, наричан в различни изследвания още модел на ученика (student model) или модел на обучаемия (learner model), съдържа информация за отделния потребител, като: ниво на усвоените знания, предпочитания, стил на учене и други характеристики. Въз основа на събраните при взаимодействието данни, системата прави изводи за характеристиките и текущото ниво на обучаемия и ги използва при вземането на решения за последваща адаптация.
- Моделът на предметната област представя знанията в съответната учебна област и осигурява структура, чрез която могат да бъдат представени знанията на обучаемия. Според [11] най-простият вариант за представяне на модела на предметната област е векторният модел, при който понятията са независими и несвързани помежду си. Той позволява детайлно представяне на знанията на обучаемия по отделни понятия, но не позволява използването на връзки между тях за извеждане на допълнителни заключения за неговите знания. Друг подход представя предметната област като йерархия от образователни цели, при която по-общите цели постепенно се декомпозират на по-конкретни подцели. По-разпространен е мрежовият модел, при който понятията се свързват чрез връзки от тип „предпоставка“ (prerequisite), „е вид“ (is-a) и „е част от“ (part-of) [11].
- Моделът на адаптацията определя начина, по който системата променя учебната среда според характеристиките и текущото състояние на обучаемия. Адаптацията може да бъде осъществена в следните направления [12][13]:
  - адаптивно съдържание – предоставяне на различни учебни материали според характеристиките и потребностите на обучаемия;
  - адаптивно представяне - допълване или промяна на учебното съдържание чрез допълнителни, предварителни или сравнителни обяснения;
  - адаптивна навигация - насочване на обучаемия в учебния процес чрез подходяща последователност и избор на учебни дейности;
  - адаптивна подкрепа за сътрудничество - подпомагане на груповата работа чрез формиране на подходящи групи според характеристиките на обучаемите.

2.2. Модел на потребителя

Моделът на потребителя съдържа информация за обучаемия, която се използва от адаптивната система за персонализиране на учебния процес. При неговото изграждане е необходимо да се решат два основни въпроса – как да бъде създаден първоначалният модел на новия потребител и как той да бъде актуализиран в процеса на взаимодействие със системата. За тази цел се определят и проследяват различни характеристики на обучаемия.

Характеристики на потребителя

Съвременните адаптивни образователни системи използват различни характеристики на обучаемия при изграждането на потребителския модел и реализирането на механизмите за адаптация. Авторите в [14] идентифицират 17 характеристики, като тези, които най-често се използват за адаптация, са стилът на учене, предварителните знания, когнитивният стил, предпочитанията към определени видове учебни материали и мотивацията. Изборът на конкретни характеристики за включване в потреби-

телския модел зависи от целите на адаптивната система и от това кои данни са необходими за реализиране на предвидената адаптация.

Създаване на първоначален модел на потребителя

При включването на нов потребител системата разполага с ограничена информация за неговите знания и характеристики. Поради това е необходимо да се избере подход за инициализиране на потребителския модел. Авторите в [15] описват три подхода за първоначално изграждане на модела на ученика:

1. Системата може да приеме, че новият потребител няма предварителни знания по предметната област.
2. Предварителните знания на потребителя могат да бъдат установени чрез входен тест при регистрация в системата.
3. Системата може да използва сходства между потребителите, за да групира потребители с подобни характеристики в определени категории, например начинаещи, средно напреднали и напреднали (стереотипен модел).

Независимо от избрания подход, първоначалната информация за обучаемия служи като отправна точка за последващото актуализиране на потребителския модел и реализиране на адаптацията.

Модел на знанията на потребителя

Моделът на знанията представя текущото състояние на знанията и уменията на ученика в конкретна предметна област. В [11] и [16] се разглеждат различни подходи за моделиране на знанията на ученика, сред които overlay model (модел на наслагване) и perturbation model (модел на погрешните представи).

При overlay модела знанията на ученика се разглеждат като подмножество на знанията, представени в модела на предметната област [11]. За всеки отделен елемент от предметната област overlay моделът съхранява оценка за степента, в която потребителят е овладял съответното знание. Тази оценка може да бъде числова, вероятностна, категорийна или векторна.

При perturbation моделите се приема, че наред с правилните знания ученикът може да има и определени погрешни представи [11]. Неправилните му отговори могат да бъдат резултат от прилагането на погрешна представа вместо съответното правилно знание. Поради това моделът на ученика включва както част от знанията, представени в модела на предметната област, така и част от множеството възможни погрешни представи.

3. КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА АДАПТИВНА СИСТЕМА С ИГРОВИ ЕЛЕМЕНТИ ЗА ПОДПОМАГАНЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА В 7. КЛАС

3.1. Дидактически анализ на учебното съдържание от раздел „Оптика“ в учебника „Физика и астрономия“ за 7. клас

Учебното съдържание от раздел „Оптика“ се изучава в учебниците „Физика и астрономия” за 7. и 10. клас. В учебника „Човекът и природата“ за 5. клас има включен един урок „Светлина“, в който учениците се запознават с различните видове източници на светлина и с праволинейното разпространение на светлината. Дава се обяснение и на сянка: „светлинните лъчи не могат да проникват в пространството зад непрозрачните тела – затова там се получава сянка“.

Ще разгледаме учебното съдържание на раздел „Оптика“ от учебника „Физика и астрономия“ за 7. клас с автори Максим Максимов и Галя Русева [17]. В 7. клас се изучава само геометричната оптика. Разглеждат се явленията отражение и пречупване на светлината, пълно вътрешно отражение, засяга се спектъра на светлината и разлагането на бялата светлина, обръща се внимание на причината за цвета на телата и закономерностите при смесване на цветовете. Изучават се само някои образи от плоски, сферични огледала и лещи, някои приложения на геометричната оптика в оптичните уреди и разглеждане на устройството и свойствата на човешкото око от гледна точка на физиката.

В урок "Отражение на светлината" чрез демонстрации с оптичния кръг се формулира закона за отражение на светлината, според който ъгълът на отражение е равен на ъгъла на падане. Законът за пречупване на светлината се разглежда в урока "Пречупване на светлината", но само в качествен аспект, поради факта че учениците все още не са запознати с тригонометричните функции. В рамките на същия се въвежда и явлението "пълно вътрешно отражение", като отново не се използват формули, а се описват явлението и условията за получаването и приложенията му.

В уроците „Плоско огледало“ и „Образ на предмет в плоско огледало“ чрез експериментални демонстрации учениците установяват основните характеристики на образа, получен от плоско огледало и решават задачи, свързани с построяването на образ на обект в плоско огледало.

Построяването на образи на предмети при сферични огледала и лещи се разглежда в съкратен вид. В урока „Сферични огледала“ учениците се запознават със свойствата на вдлъбнатото и изпъкналото огледало съответно да събират и разсейват светлинните лъчи. Въвежда се и понятието фокусно разстояние на сферичното огледало. Характеристиките на образа, получен от изпъкнало огледало, се разглеждат чрез анализ на готов чертеж, без от учениците да се изисква самостоятелното му построяване. Установява се, че независимо от положението на предмета образът е винаги недействителен, прав и умален. По аналогичен начин, чрез готов чертеж, при вдлъбнатото огледало се разглежда само случаят, при който предметът е разположен между фокуса и огледалото. При това положение полученият образ е недействителен, прав и увеличен.

В урока „Лещи“ учениците се запознават с основните характеристики на събирателните и разсейвателните лещи, като се въвежда и понятието „оптична сила на леща“. Построяването на образите обаче е ограничено само до случаите, свързани със събирателни лещи. В уроците „Построяване на образ на предмет от събирателна леща“ и „Наблюдаване и изследване на образ на предмет от събирателна леща“ се разглеждат различните случаи на получаване на образ в зависимост от положението на предмета спрямо лещата. Учениците извършват построения и анализират характеристиките на получените образи.

В последните два урока от учебника се разглеждат човешкото око като оптична система и принципът на действие на основни оптични уреди — лупа, фотоапарат и телескоп.

3.2. Модел на предметната област

Моделът на предметната област представя структурата на знанията и връзките между тях и служи като основа за моделиране на текущото състояние на знанията на ученика и за вземане на решения относно последващите учебни дейности. Въз основа на анализа на учебното съдържание по геометрична оптика от учебника по Физика и астрономия за 7. клас е предвидено изграждането на мрежов модел на предметната област, в който отделните елементи на знанието са представени като възли, а отношенията и зависимостите между тях – чрез връзки. При този подход учебното съдържание се декомпозира на по-малки елементи на знанието, които могат да бъдат проследявани самостоятелно. Това позволява да се установи кои конкретни елементи от учебния материал са овладени от конкретния ученик и при кои са налице затруднения.

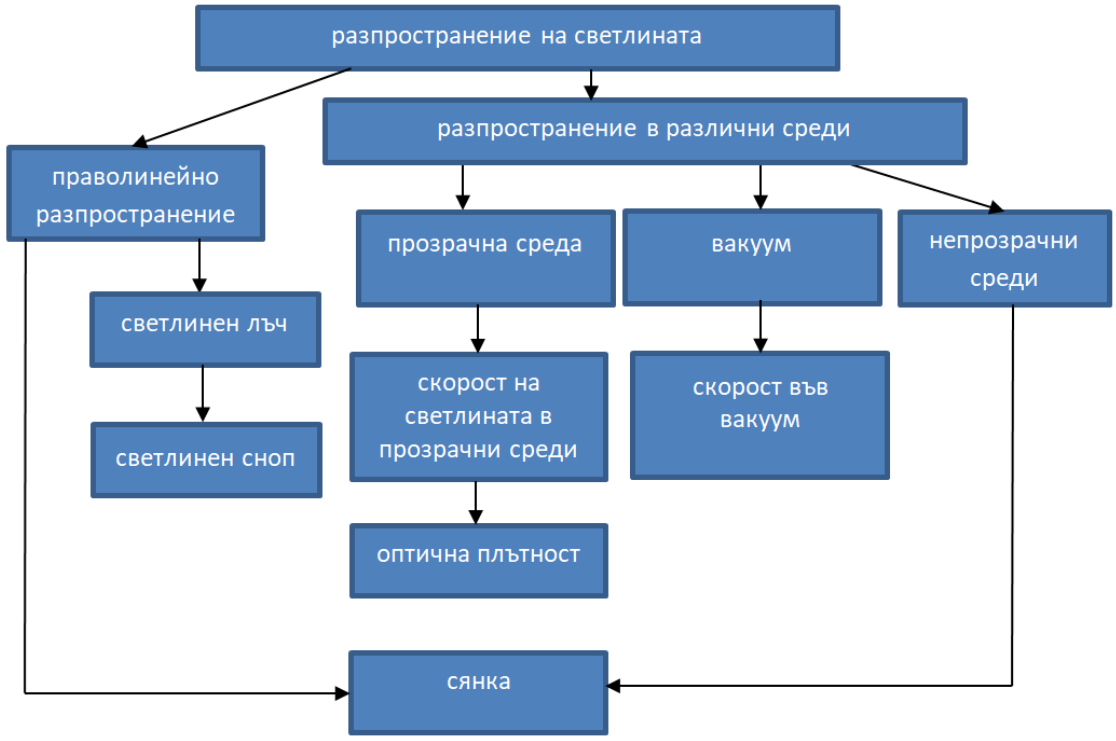
В Таблица 1 е представен моделът на концептуалните знания за урок „Светлина“, а на фигура 1 е показано графичното представяне на част от елементите на модела и връзките между тях. Моделът включва знания, свързани с източниците на светлина, разпространението на светлината, видовете среди, скорост на светлината, оптичната плътност и други.

Някои от елементите на знанието изпълняват ролята на обобщаващи възли. Например „разпространение на светлината“ обединява знанията за праволиней-

ното разпространение и за разпространението на светлината в различни среди, докато възелът „разпространение в различни среди“ обединява знанията за прозрачните среди, вакуума и непрозрачните среди. Обобщаващите възли се използват за структуриране на свързани елементи на знанието и за представяне на отношенията между различните нива на детайлност в предметния модел.

Таблица 1. Основни понятия в урок „Светлина“

Знание	Описание
източник на светлина	Тяло, което излъчва собствена светлина.
топлинен източник на светлина	Нагрети тела с температура над 500°C, които излъчват светлина във видимия спектър
студен източник на светлина	Източници, чието светене не е пряко свързано с температурата
разпространение на светлината	Обобщаващ възел- разпространение на светлината
разпространение на светлината в различни среди	Обобщаващ възел- разпространение на светлината в различни среди
вакуум	Светлината може да се разпространява във вакуум
прозрачни среди	Прозрачна среда, през която може да премине светлина.
непрозрачни среди	Непрозрачните среди не пропускат светлината през себе си.
праволинейно разпространение на светлината	Светлината се разпространява праволинейно
светлинен лъч	Права линия със стрелка, представяща посоката на разпространение на светлината.
светлинен сноп	Съвкупност от светлинни лъчи наричаме светлинен сноп.
скорост на светлината във вакуум	Числената стойност е 300 000 km/s = 3.10^8 m/s.
скорост на светлината в прозрачни среди	В прозрачна среда скоростта на светлината е по-малка от тази във вакуума и зависи от средата.
оптична плътност	Прозрачните среди се характеризират с оптична плътност, свързана със скоростта на разпространение на светлината в тях.
сянка	Тъй като светлината се разпространява праволинейно, зад непрозрачни тела се образува видима сянка.



Фиг. 1. *Връзки и зависимости между основните понятия в урок „Светлина“*

3.3. Модел на потребителя

За моделирането на знанията на потребителя се предвижда използването на комбиниран подход, включващ stereotype model (стереотипен модел), overlay model (модел на наслагване) и perturbation model (модел на погрешните представи). Стереотипният модел ще бъде използван за първоначалното инициализиране на модела на нов потребител. В началото на съответния урок ученикът ще изпълнява входен тест (претест), чрез който ще бъде направена първоначална оценка на неговите знания. Въз основа на резултатите ученикът ще бъде отнесен към предварително определен профил на знанията, който ще се използва за задаване на начални стойности на отделните елементи в индивидуалния му модел.

След началното определяне на нивото ще се използва overlay модел, чрез който ще се проследява степента на овладяване на отделните знания и умения от предметния модел. За всеки елемент ще се съхраняват отделни оценки за текущото състояние на ученика. Моделът ще се актуализира въз основа на действията на ученика при работа със системата. Данните ще включват верността на отговорите, броя на опитите, използване на помощ, вида на допуснатите грешки. Получената информация ще служи като основа за промяна на оценката за степента на овладяване на съответните знания и умения.

За представяне на конкретни погрешни представи ще се използва perturbation модел. За определени елементи от предметната област предварително могат да бъдат дефинирани характерни погрешни представи, чието наличие системата ще оценява въз основа на поведението и отговорите на ученика. Например за урок „Светлина“ могат да бъдат включени погрешните представи „Сянката е материален обект“ и „Сянка съществува и без светлина“.

3.4. Модел на адаптацията

Моделът на адаптацията определя по какъв начин системата ще използва информацията от модела на ученика, за да взема решения относно следващите учебни дейности. В разработваната система адаптацията ще бъде насочена основно към вида, последователността и трудността на въпросите и задачите. При установена ниска степен на овладяване на определено знание системата ще предлага задачи и въпроси с по-ниска трудност или такива, насочени към усвояване на предварително необходимо знание. При постепенно подобряване на представянето могат да бъдат предлагани по-сложни задачи и въпроси. Системата адаптира следните елементи:

– последователност на задачите/ въпросите;
– избор на вид задачи/въпроси;
– трудност на задачите/въпросите.

Последователността на задачите определя реда, в който те се представят на ученика. В зависимост от текущото му представяне системата може да осигурява:

- повторно изпълнение на определена задача или отговор на определен въпрос;
- преминаване към конкретна задача/въпрос;
- връщане към задача/въпрос, свързани с предварително необходимо знание;
- преминаване към следваща, по-сложна задача/въпрос при достатъчна степен на овладяване.

Избор на въпросите/задачите. Моделът за адаптация позволява преминаване към въпрос или задача, които отговаря на определени изисквания. Такива изисквания могат да бъдат например:

- да са свързани с конкретно знание от предметна област;
- да съответстват на определено ниво на трудност или когнитивно ниво от таксономията на Блум;
- да бъдат от определен тип, например с множествен избор, вярно/невярно, съотнасяне на понятия и примери и др.;

- да не са били представяни до момента на съответния ученик;
- да са свързани с установено от системата затруднение.

Трудността на задачите и въпросите може да бъде адаптирана чрез избор на задачи/въпроси с различно предварително определено ниво на трудност. Допълнително тя може да бъде повлияна от количеството предоставяна помощ и подсказки, както и от времето, с което ученикът разполага за изпълнението им. Преминаването към следващо ниво на трудност ще се определя въз основа на предварително зададен праг за степента на овладяване на необходимите знания и умения. Първоначалната стойност на този праг ще бъде определена въз основа на експертна оценка, а впоследствие може да бъде променяна въз основа на резултатите от апробацията на системата.

За реализиране на адаптивния избор всеки въпрос/задача ще бъде описан чрез набор от метаданни, включващи свързани знания и умения от модела на предметната област, ниво на трудност, когнитивно равнище, тип на задачата, прогнозно време за изпълнение, предварително необходими знания и други характеристики. Въз основа на тези метаданни и информацията от модела на ученика системата ще определя коя задача или въпрос са най-подходящи за конкретния момент от обучението.

3.5. Включване на игрови елементи

Включването на игрови механики има за цел да подпомогне поддържането на мотивацията и ангажираността на учениците при системното упражняване и прилагане на знанията по геометрична оптика. В системата ще бъдат използвани механики като точки за опит, нива на трудност, значки, отключване на нови задачи и визуализиране на напредъка. Точки за опит ще се присъждат при правилно изпълнение на учебните задачи, като натрупването им ще отразява активността и постигнатите резултати на ученика. Броят на точките ще зависи от трудността на задачата/въпроса, от това дали е ползвана или не помощна информация. Значка ще се присъжда при достигане на предварително определена степен на овладяване на знанията и уменията от даден урок. Например значка „Светлина“ може да бъде получена след овладяване на основните елементи на знанието, включени в урока „Светлина“. Получаването на значката ще отключва допълнителна задача с изследователски характер. Особено значение има визуализирането на напредъка, чрез което ученикът ще получава информация за постигнатите резултати и развитието си в системата. Чрез показване на достигнатото ниво, натрупаните точки, получените значки и овладените знания и умения ученикът ще може по-ясно да проследява собственото си развитие.

3.6. Реализация на системата

Следващ етап от изследването е реализацията и експерименталната апробация на разработената система. Системата ще бъде реализирана като уеб-базирано приложение, достъпно чрез браузър. Информацията, необходима за функционирането на системата, ще се съхранява в база данни, включваща данни за потребителите и техния учебен напредък, учебните задачи и свързаните с тях метаданни, елементите и връзките в модела на предметната област, историята на взаимодействията на учениците със системата, както и данни, свързани с игровия компонент. За реализиране на адаптивното поведение на системата ще се използва комбиниран подход, включващ rule-based механизми и алгоритми за машинно обучение, чрез които ще се осъществява избора на подходящи задачи и актуализирането на модела на ученика.

Предвижда се ефективността на системата да бъде оценена чрез педагогически експеримент с експериментална и контролна група. Чрез входно и изходно оценяване ще бъде проследен учебният напредък на учениците, а резултатите на двете групи ще бъдат сравнени с цел да се установи дали използването на систе-

мата води до статистически значимо подобрение в овладяването и прилагането на знанията и уменията по геометрична оптика

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е разгледан концептуален модел на адаптивна система с игрови елементи за подпомагане на обучението по геометрична оптика от учебника по „Физика и астрономия“ за 7. клас. Системата ще проследява степента на овладяване на конкретни знания и умения, свързани с разпространение на светлината, отражението и пречупването на светлината, както и с построяване и определяне на свойствата на образи при огледала и лещи. Въз основа на данните, получени от взаимодействията на ученика със системата, ще се изгражда и актуализира индивидуален модел на неговите знания и умения. Адаптацията ще се реализира чрез промяна на вида, последователността и трудността на предлаганите задачи. В системата ще бъдат интегрирани игрови елементи с цел повишаване и поддържане на мотивацията и ангажираността на учениците в процеса на упражняване и прилагане на знанията по геометрична оптика. Предвижда се системата да бъде използвана както в училище, така и при самостоятелната подготовка на учениците извън класната стая. Следващ етап от изследването е реализацията и експерименталната апробация на разработената система.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Shute, V. & Zapata-Rivera, D. (2012). Adaptive Educational Systems. Adaptive Technologies for Training and Education. 7-27. 10.1017/CBO9781139049580.004.

[2] Na, I., Hegelheimer, V. (2025). Adaptive Learning Systems. In: McCallum, L., Tafazoli, D. (eds) The Palgrave Encyclopedia of Computer-Assisted Language Learning. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51447-0_1-1

[3] Sun, S., Cheng, Z. (2026). AI-Driven Adaptive Education Systems: A Comprehensive Review of Concepts, Models, and Future Possibilities, Computer Applications in Engineering Education 34 (2026): e70215, https://doi.org/10.1002/cae.70215.

[4] Rahnev, A., Terzieva, T., Angelova, E., Arnaudova, V. (2017). Adaptivni sistemi za elektronno obuchenie. Natsionalna nauchna konferentsiya „Obrazovanie i nauka – za lichnostno i obshtestveno razvitie“, Smolyan, 27–28 oktomvri 2017 g

[5] Abiasen, J. Reyes, G. (2021). Computer Simulation Integration in Secondary Physics: Understanding its Nature, Impacts, and Challenges. International Journal of Asian Education. 2. 480-492. 10.46966/ijae.v2i4.185.

[6] Ceuppens, S., Deprez, J., Dehaene, W., De Cock, M. (2018). Tackling misconceptions in geometrical optics, Phys. Educ. 53 045020, DOI 10.1088/1361-6552/aac604)

[7] Hadi, A., Purwanto, R. (2025). Analysis of students' misconceptions using a three-tier diagnostic test on geometric optics material at the junior high school level, JIFE 1 (1) (2025) 1-6, https://ejournal.inercys.id/index.php/JIFE/article/view/1

[8] Capuano, N., Caballé, S. (2020). Adaptive Learning Technologies, AI Magazine 41(2):96-98, DOI: 10.1609/aimag.v41i2.5317.

[9] Khosravi, H., Sadiq, S., Gasevic, D.(2020).Development and Adoption of an Adaptive Learning System: Reflections and Lessons Learned. SIGCSE '20: Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education, Pages 58 – 64, https://doi.org/10.1145/3328778.3366900

[10] Ademi, N., Loshkovska, S., Chorbev, I. (2020). USER MODELING APPROACHES IN ADAPTIVE LEARNING SYSTEMS IBU International Journal of Technical and Natural Sciences 1 (2020) 35-42

[11] Brusilovsky, P., Millan, E. (2007).User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems, In: Brusilovsky Peter, Kobza Alfred, Nejdl Wolfgang (Eds). The Adaptive Web, Methods and Strategies of Web Personalization, Springer, DOI: 10.1007/978-3-540-72079-9_1

[12] Adetunji, A., Ademola, A. (2014). A Proposed Architectural Model for an Automatic Adaptive E-Learning System Based on Users Learning Style. International Journal of

Advanced Computer Science and Applications, 5(4). https://doi.org/10.14569/IJACSA.2014.050401

[13] Saul, C. Wuttke H.-D. (2013). An Adaptation Model for Personalized E-Assessments, iJET – Volume 8, Special Issue 2: "EDUCON2013",http://dx.doi.org/10.3991/ijet.v8iS2.2734

[14] Nakic, J. , Granić, A. , Glavinic, V.(2014). Anatomy of Student Models in Adaptive Learning Systems: A Systematic Literature Review of Individual Differences from 2001 to 2013. Journal of Educational Computing Research. 51. 459-489. 10.2190/EC.51.4.e.

[15] Tsiriga, V., Virvou, M. (2003). Initializing student models in Web-based ITSs: A generic approach. Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, DOI: 10.1109/ICALT.2003.1215023

[16] Chrysafiadi, K., Virvou, M. (2013) Student modeling approaches: A literature review for the last decade, Expert Systems with Applications 40(11):4715–4729, DOI: 10.1016/j.eswa.2013.02.007

[17] Maksimov, M., Ruseva, G. (2024). Fizika i astronomiya za 7. Klas, izdatelstvo „KLET BALGARIYA“. ISBN 978-954-18-1749-0.