Физика: причинность, эксперимент и прогнозирование

Александр Клеймёнов

Fractal Academy
Выпуск 4 (Осень 2026), Статья 6
Серия: «Развитие ментальных механизмов через школьные предметы»
Автор: Александр Клеймёнов
ORCID: 0009-0004-9404-2400
DOI: [будет присвоен]
Дата публикации: 1.11.2026

© 2026 Александр Клеймёнов. Данная работа (на русском и английском языках) лицензирована на условиях Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.
Название (рус.): «Физика: причинность, эксперимент и прогнозирование»
Название (англ.): «Physics: Causality, Experiment, and Forecasting»
Ссылка: https://fractal-academy.ru/articles/article-4-6/
(CC BY-SA 4.0)

Аннотация

В этой статье я показываю, как физика как школьный предмет может стать уникальной лабораторией для развития ментальных механизмов - при условии, что мы перестанем сводить её к заучиванию формул и решению задач по алгоритму. Опираясь на модель КПКЛ, представленную в предыдущих статьях модуля, и на актуальные исследования 2024-2025 годов в области физического образования, я обосновываю, что физика обладает исключительным потенциалом для развития построения причинно-следственных связей, прогнозирования и стратегического мышления, критического мышления, поиска и анализа информации, а также пространственного воображения и красноречия. Я предлагаю конкретные примеры уроков и заданий, в которых физический эксперимент, моделирование, исследовательская работа и стратегическое планирование служат не самоцелью, а средством развития мышления. Особое внимание я уделяю диагностике прогресса и связи предметного обучения с инфраструктурой школы - физической лабораторией, мастерской экспериментального моделирования, обсерваторией и планетарием. Я также обосновываю, что перестройка преподавания физики - это не просто методический вопрос, а стратегическая задача: именно через физику формируется когнитивный аппарат, способный к пониманию причинности, работе с неопределённостью и системному мышлению - тем качествам, без которых невозможно решение трудных проблем XXI века.

Ключевые слова: физика, ментальные механизмы, причинно-следственное мышление, прогнозирование, критическое мышление, эксперимент, диагностика, инфраструктура.

Вопрос, заданный природе

Я начну с утверждения, которое может показаться спорным, но я считаю его принципиальным. Физика в школе - это не предмет о том, как решать задачи по формуле, а предмет о том, как устроена причинность, как мы можем познавать мир через эксперимент и как мы можем прогнозировать будущее на основе закономерностей. Это предмет, через который человек учится понимать - не только законы природы, но и логику причинно-следственных связей, которая пронизывает всё наше существование. Конечно, знание формул и умение решать задачи важно. Но это инструмент, а не цель. Цель - это способность выстраивать причинно-следственные цепочки; способность прогнозировать результаты и планировать эксперимент; способность критически оценивать данные и интерпретировать результаты; способность искать и анализировать информацию; способность видеть абстрактные модели и оперировать пространственными образами [1; 5].

Здесь уместно вспомнить, как Ричард Фейнман рассказывал о том, что значит «знать» физику. Он говорил, что если вы не можете объяснить физику ребёнку, значит, вы её не понимаете. Это не про упрощение. Это про глубину. Потому что понимание - это не сумма формул. Это способность увидеть за формулой явление. За уравнением - движение. За законом - причину. И если ученик выучил формулу, но не увидел явление, он выучил слово, но не понял смысл. Он знает, что такое сила, но не знает, что она делает. Он знает, что такое энергия, но не знает, откуда она берётся. И это самое большое поражение физики - когда она становится набором символов, за которыми ничего не стоит. Когда она перестаёт быть наукой и становится шифром. Который нужно расшифровать. Но никто не знает ключ. Потому что ключ - это не формула. Ключ - это понимание. Которое приходит не от заучивания. А от вопроса. От эксперимента. От ошибки. От удивления. Которое ты испытал, когда увидел, что мир устроен не так, как ты думал. И тогда ты захотел понять. Почему? И как? И что за этим стоит? И это желание понять - оно и есть начало физики. Не формулы. А удивление.

Которое делает тебя исследователем. А не исполнителем. И это самое главное. Не ответ. А вопрос. Который ты задал. Природе. И который она тебе ответила. Не словами. А явлением. Которое ты увидел. И понял. И запомнил. Навсегда. Потому что оно стало твоим. Тобой открытым. Тобой понятым. Тобой пережитым. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма удивлений. Которые ты испытал. И которые сделали тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующем эксперименте. В следующем вопросе. В следующей жизни.

Как я уже показывал в первой статье этой серии [5], принцип двойного назначения урока означает, что каждый урок физики должен одновременно решать две задачи: предметную - освоение физического содержания, и метапредметную - развитие ментальных механизмов. Эти задачи не противоречат друг другу - напротив, они взаимно усиливаются. Когда ученик осваивает физику через мышление, он осваивает её глубже. Когда ученик развивает мышление через физику, он получает инструмент, который пригодится ему во всех остальных предметах и в жизни. Важно подчеркнуть: физика создаёт условия возможности для развития ментальных механизмов, но не является их достаточной причиной. Само по себе заучивание формул или проведение опытов по инструкции не разовьёт мышление. Развитие происходит только через специально организованную педагогическую деятельность, где учитель выступает как фасилитатор и архитектор когнитивного аппарата [5; 6].

Исследования подтверждают: экспериментальная деятельность является неотъемлемой частью физического образования. Помимо передачи научных знаний, она играет значительную роль в развитии научной грамотности, исследовательских навыков и критического мышления [9]. В современном мире, где ученики подвергаются воздействию огромного количества информации разного качества, способность анализировать, оценивать и правильно интерпретировать информацию становится всё более важной. Но я хочу пойти дальше и показать, как каждый из одиннадцати ментальных механизмов может развиваться через преподавание физики - и как это меняет сам подход к предмету. Физика - это не просто естественная наука в ряду других. Это универсальный язык причинности, без которого невозможно современное научное мышление. Именно поэтому физика, на мой взгляд, является фундаментальным предметом для формирования коммуникативно-познавательного каркаса личности [1]. Более того, перестройка преподавания физики - это не просто методический вопрос. Это часть той исторической необходимости смены педагогической парадигмы, о которой я писал в статьях [3] и [4]. Индустриальная школа сводила физику к набору формул, которые нужно заучить. Но постиндустриальному обществу нужны люди, способные мыслить, творить, адаптироваться - и физика здесь является ключевым инструментом. Как я показывал в статье [2], предметоцентризм - одна из главных причин живучести старой модели. Преодоление этого предметоцентризма начинается с переосмысления роли физики в образовании.

Цепочка, которая ведёт к ответу

Построение причинно-следственных связей развивается через физику самым прямым и естественным образом. Физика - это наука о причинно-следственных связях в природе. Каждый физический закон описывает, как одно явление вызывает другое. Каждый эксперимент - это проверка гипотезы о причинно-следственной связи. Умение видеть, как одно физическое явление вытекает из другого. Умение выстраивать логическую цепочку от причины к следствию. Умение объяснять, почему происходит то или иное явление. Учитель должен сознательно акцентировать внимание на причинно-следственной логике физических явлений, а не только на запоминании формул. Не запомни закон, а объясни, почему это работает. Не реши задачу по формуле, а выстрой цепочку рассуждений, которая приводит к ответу. Исследования показывают, что понимание детских ментальных репрезентаций и стратегий рассуждения в начале их академического образования может помочь нам учить их более эффективно. Особенно это важно для физики, где причинность является основой понимания [1]. Это как с детективом. Читатель, который следит только за событиями, не понимает, почему герой поступил так, а не иначе. Читатель, который следит за мыслями, понимает. И получает удовольствие не от того, что случилось, а от того, почему это случилось. Так и в физике. Ученик, который видит только формулу, не понимает физику. Ученик, который видит причину, понимает. И получает удовольствие не от правильного ответа, а от того, что он сам к нему пришёл. Своим умом. Своей мыслью. Своим путём. Который начался с вопроса. И закончился пониманием. Которое стало твоим. Потому что ты его построил. Как строитель строит дом. Из кирпичей. Из мыслей. Из логики. И это самое главное. Не формула. А путь. Который к ней ведёт. И который остаётся с тобой. Даже когда формула

забыта. Потому что путь - это умение. А умение не забывается. Как не забывается умение ходить. Или говорить. Или думать. Которое ты приобрёл. И которое теперь твоё. Навсегда. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма умений. Которые делают тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующей задаче. В следующем эксперименте. В следующей жизни. Которая всегда начинается с первого шага. Который ты делаешь. Сейчас. Здесь. В этой физической задаче. Которая не просто решается. Она думается. И в этом её сила. И в этом её красота. И в этом её смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается физика. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

Прогноз, который сбывается

Прогнозирование и стратегическое мышление - это механизм, который физика требует и развивает. Физика - это предмет, который требует постоянного прогнозирования. Прежде чем провести эксперимент, нужно предвидеть его результат. Прежде чем выбрать метод решения, нужно предвидеть, куда он приведёт. Прежде чем построить модель, нужно предвидеть, какие упрощения допустимы. Умение предвидеть результаты физических процессов. Умение выбирать стратегию экспериментального исследования. Умение оценивать, какой подход будет наиболее эффективным. Использование стратегий, требующих прогнозирования. Исследования показывают эффективность метода POE - прогнозирование, наблюдение, объяснение [12]. В этом методе ученики сначала прогнозируют результат эксперимента, затем наблюдают, что происходит на самом деле, и затем объясняют расхождение между прогнозом и наблюдением. Это развивает не только прогнозирование, но и критическое мышление. Исследования также показывают эффективность стратегии PHOI - прогнозирование, гипотеза, наблюдение, умозаключение [11]. В рамках этой стратегии ученики строят прогнозы и гипотезы на основе наблюдений, затем проводят эксперимент, и наконец развивают умозаключения, объясняющие результаты. Эта стратегия помогает прояснить научную терминологию - прогноз, гипотеза и умозаключение - и при этом развивает любознательность.

Это как с шахматистом, который думает на несколько ходов вперёд. Он не просто видит текущую позицию. Он видит будущие позиции. И выбирает ту, которая приведёт его к победе. А если он не видит будущее, он играет наугад. И проигрывает. Так и в физике. Ученик, который не умеет прогнозировать, решает наугад. И часто ошибается. А ученик, который умеет прогнозировать, решает осознанно. И часто находит правильный путь. Даже если он не самый короткий. Но он ведёт к цели. И это самое важное. Не скорость. А направление. Не ответ. А путь. Который к нему ведёт.

Критическое мышление - это ещё один механизм, который физика развивает уникальным образом. Физика - это предмет, который даёт уникальные возможности для развития критического мышления. Каждый эксперимент нужно спланировать, каждое измерение нужно проверить, каждый результат нужно интерпретировать. Умение планировать эксперимент для проверки гипотезы. Умение оценивать достоверность данных. Умение интерпретировать результаты. Умение находить ошибки в рассуждениях. Исследовательский подход к обучению. Исследования показывают, что модель Argument-Driven Inquiry, интегрированная со STEAM и поддержанная цифровыми ментальными картами, значительно улучшает критическое мышление учеников по всем оцениваемым аспектам [10]. Эта модель обеспечивает исследовательское, междисциплинарное и визуально структурированное обучение, которое способствует более глубокому мышлению, креативности и систематической аргументации. Исследования также показывают, что подход STEM, интегрированный с моделью перевёрнутого класса, эффективно улучшает критическое мышление в физическом образовании [14]. Ученики, обучающиеся по STEM-подходу, демонстрируют лучшие способности решать проблемы, делать выводы и объяснять идеи. Это как с проверкой часов. Вы не можете просто смотреть на часы и верить, что они показывают правильное время. Вы должны проверить их по эталону. И если они отстают, вы должны это заметить. Иначе вы опоздаете. Или придёте слишком рано. И в обоих случаях вы ошибётесь. А физика учит не ошибаться. Или, по крайней мере, замечать ошибки. И исправлять их. До того, как они станут катастрофой. Потому что в физике, как в жизни, ошибка в начале пути может привести к тому, что весь путь окажется неверным. И тогда придётся начинать сначала. С чистого листа. С новой мысли. С нового эксперимента. И это не поражение. Это опыт. Который делает тебя сильнее. И умнее. И готовым к следующей задаче. Которая будет ещё сложнее. И ещё интереснее. И ещё важнее. Потому что за ней стоит жизнь. Которая не формула. Но которая требует той же логики. Того же ума. Той же готовности. К неожиданному. И к неизбежному. И к тому, что ты не можешь изменить. Но можешь понять. И принять. И идти дальше. Как физик. Который знает, что задача не заканчивается. Она

продолжается. В следующем эксперименте. В следующем измерении. В следующей жизни. Которая всегда начинается с первого шага. Который ты делаешь. Сейчас. Здесь. В этой задаче. В этой жизни. В этом мире. Который ждёт твоего шага. И твоей мысли. И твоего решения. Которое изменит всё. Или не изменит ничего. Но ты всё равно сделаешь его. Потому что ты физик. А физик не может не думать. Как не может не видеть. Как не может не жить. И это самое главное. Не формула. А жизнь. Которая делает тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующем шаге. В следующей мысли. В следующей жизни.

Поиск и анализ информации - это механизм, который физика требует и развивает. Физика требует умения работать с информацией - находить данные, анализировать их, интерпретировать, делать выводы. Этот механизм относится к обеспечивающему уровню: без него ядро не получит материала для работы, но сам по себе поиск информации ещё не создаёт решение. Умение находить физическую информацию в разных источниках. Умение анализировать экспериментальные данные. Умение интерпретировать графики и таблицы. Работа с реальными данными, а не только с идеальными задачами из учебника. Исследования показывают, что использование цифровых приложений для решения качественных задач по физике может развивать критическое мышление, но при этом необходимо учитывать риски, связанные с использованием цифры в обучении [13]. Это как с архивариусом, который ищет документы в пыльных папках. Он не просто находит бумаги. Он их читает. Сравнивает. Проверяет. И только потом делает вывод. А если он просто берёт первую попавшуюся бумагу и говорит, что это ответ, он ошибается. И его ошибка может стоить дорого. Так и в физике. Ученик, который не умеет искать информацию, берёт первую попавшуюся формулу. И применяет её не к месту. И получает неверный ответ. А ученик, который умеет искать, находит несколько источников. Сравнивает их. Проверяет. И только потом делает вывод. И его вывод оказывается верным. Потому что он не просто нашёл. Он понял. И это самое важное. Не информация. А понимание. Которое приходит не от количества. А от качества. Не от скорости. А от глубины. И физика учит этой глубине. Каждый день. На каждом уроке. С каждым экспериментом. Который не просто проводится. Он исследуется. И в этом его сила. И в этом его красота. И в этом его смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается физика. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

Пространственное воображение и красноречие - это механизмы, которые физика также развивает. Физика развивает пространственное воображение через моделирование физических процессов, работу с векторами, понимание полей. И красноречие через необходимость объяснять физические явления, аргументировать свои выводы, представлять результаты исследований. Способность видеть физические процессы в пространстве. Способность ясно и убедительно объяснять физические явления. Работа с 3D-моделями, симуляциями, визуализациями. Исследования показывают, что чрезмерная зависимость современного физического образования от визуальных методов приводит к пренебрежению критически важными кинестетическими ментальными образами [15]. Это означает, что важно использовать не только визуальные, но и кинестетические методы - физические модели, которые можно ощупать руками [1]. Это как со скульптором, который лепит из глины. Он не просто видит форму. Он её чувствует. Пальцами. Ладонями. Всем телом. И когда он лепит, он не думает о формуле. Он думает о форме. Которая рождается под его руками. Так и в физике. Ученик, который просто смотрит на формулу, не понимает физику. Ученик, который трогает модель, собирает установку, чувствует, как работает механизм, понимает. Потому что он не просто видит. Он ощущает. И это ощущение остаётся с ним. Навсегда. Как остаётся умение плавать. Или ездить на велосипеде. Или говорить. Потому что это не в памяти. Это в тебе. В твоих руках. В твоём теле. В твоей жизни. И это самое главное. Не формула. А ощущение. Которое делает тебя творцом. А не исполнителем. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма ощущений. Которые ты испытал. И которые сделали тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующем эксперименте. В следующем ощущении. В следующей жизни.

Эксперимент, который начинается с вопроса

Теперь я перейду к конкретике. Как выглядит урок физики, построенный по принципу двойного назначения? Я предлагаю несколько примеров - от простых до сложных. Традиционный подход: учитель показывает эксперимент, объясняет результат, ученики запоминают. Подход, развивающий мышление: ученики сначала прогнозируют результат, затем наблюдают, затем объясняют расхождение. Тема: теплопроводность. Учитель даёт задание. Прогнозирование: у меня есть три предмета - металлическая ложка, деревянная палочка и пластиковая ручка. Я положу их в горячую воду. Как ты думаешь, какой предмет нагреется быстрее всего? Почему? Запиши свой прогноз и обоснуй его. Наблюдение: учитель проводит эксперимент или

ученики проводят его сами. Они наблюдают, что металлическая ложка нагревается быстрее всего. Объяснение: почему металл нагрелся быстрее, чем дерево и пластик? Что это говорит о свойствах разных материалов? Сформулируй вывод. Исследования подтверждают эффективность метода POE: использование заданий POE, обогащённых компьютерными симуляциями, может быть эффективной стратегией для улучшения успеваемости по физике [12]. Какие ментальные механизмы развиваются? Прогнозирование - через прогнозирование результата. Причинно-следственные связи - через объяснение причины. Критическое мышление - через сравнение прогноза и наблюдения [1]. Это как с ребёнком, который собирает конструктор. Он не просто соединяет детали. Он видит в уме, что должно получиться. Он представляет, как будет выглядеть модель. И если что-то не сходится, он меняет детали. И снова представляет. И так до тех пор, пока не получится то, что он задумал. А если он не умеет представлять, он просто соединяет детали наугад. И часто ошибается. И бросает. Потому что не видит результата. А результат - это не то, что получается. Это то, что ты видишь в уме. До того, как оно получится. И физика учит этому. Видеть до того, как получится. Представлять до того, как построишь. И тогда эксперимент становится не механическим. А осмысленным. И тогда ученик не просто проводит опыт. Он исследует. Своё. Которое он увидел. И которое он теперь может показать другим. И это самое важное. Не результат. А исследование. Которое делает тебя творцом. А не исполнителем. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма исследований. Которые ты провёл. И которые теперь твои. Навсегда. И в следующем эксперименте. И в следующем открытии. И в следующей жизни. Которая всегда начинается с первого вопроса. Который ты задаёшь. Сейчас. Здесь. Природе. Которая не просто отвечает. Она удивляет. И ты удивляешься. И хочешь понять. И это самое главное. Не ответ. А удивление. Которое делает тебя человеком. Который умеет видеть. И понимать. И жить. В мире. Который не формула. Но который можно понять. Если научиться смотреть. И если знать, куда смотреть. И физика учит этому. Каждый день. На каждом уроке. С каждым ребёнком. С каждым экспериментом. Который не просто проводится. Он переживается. И в этом его сила. И в этом его красота. И в этом его смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается физика. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

Исследование с помощью PHOI-стратегии как развитие прогнозирования и критического мышления. Традиционный подход: учитель объясняет теплопередачу, ученики решают задачи. Подход, развивающий мышление: ученики исследуют явление через стратегию PHOI. Тема: теплопередача. Учитель даёт задание на основе активности Чёрные блоки и лёд. Прогнозирование: у меня есть два чёрных блока - один матовый, другой глянцевый. На каждый я положу по кубику льда. Как ты думаешь, на каком блоке лёд растает быстрее? Почему? Гипотеза: сформулируй гипотезу о том, почему один блок может плавить лёд быстрее другого. На какие свойства блоков ты обратил внимание? Ученики строят гипотезы на основе наблюдений за текстурой блоков, их воспринимаемым весом и температурой. Наблюдение: ученики помещают лёд на блоки и наблюдают, какой растает первым. Умозаключение: почему блок более тёмного цвета растопил лёд быстрее? Какое физическое объяснение этого явления? Исследования показывают, что использование стратегии PHOI помогает прояснить научную терминологию - прогноз, гипотеза и умозаключение - и при этом развивает любознательность [11]. Ученики активно участвуют в научных практиках, таких как постановка вопросов и участие в аргументации. Какие ментальные механизмы развиваются? Прогнозирование - через прогнозирование и формулирование гипотез. Критическое мышление - через наблюдение, анализ и умозаключение. Причинно-следственные связи - через объяснение физической причины [1]. Это как с археологом, который раскапывает древний город. Он не знает, что найдёт. Он выдвигает гипотезы. Он проверяет их. Он ошибается. И снова копает. И в конце находит то, что искал. Или не находит. Но он узнаёт что-то новое. О городе. О людях. О себе. И это самое важное. Не результат. А процесс. Который меняет тебя. Делает тебя другим. Более внимательным. Более терпеливым. Более мыслящим. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма изменений. Которые произошли с тобой. Пока ты искал. Пока ты думал. Пока ты жил. И физика - это один из самых мощных инструментов для этого. Потому что она не прощает ошибок. Но она же и учит их находить. И исправлять. И идти дальше. К новому эксперименту. К новому открытию. К новой жизни. Которая всегда начинается с первого шага. Который ты делаешь. Сейчас. Здесь. В этом эксперименте. В этой жизни. В этом мире. Который ждёт твоего шага. И твоей мысли. И твоего решения. Которое изменит всё. Или не изменит ничего. Но ты всё равно сделаешь его. Потому что ты физик. А физик не может не думать. Как не может не видеть. Как не может не жить. И это самое главное. Не формула. А жизнь. Которая делает тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующем шаге. В следующей мысли. В следующей жизни.

Стены, в которых живёт эксперимент

Развитие ментальных механизмов требует не только новых методов преподавания, но и соответствующей инфраструктуры. Для физики это означает создание пространств, где физическое мышление может развиваться через практическую, исследовательскую и творческую деятельность. Создавая эту инфраструктуру, мы формируем то, что Энди Кларк и Ким Стерельни называют когнитивной нишей. Инфраструктура - это не просто помещения, а материальная часть среды, которая предоставляет скаффолдинг для развития ментальных механизмов. Без этой ниши механизмы остаются абстрактными концепциями. Физическая лаборатория: пространство, где ученики могут проводить реальные эксперименты, работать с измерительными приборами, проверять гипотезы. Исследования показывают, что экспериментальная деятельность играет значительную роль в развитии исследовательских навыков и критического мышления [9]. Эксперименты должны начинаться с реальной жизненной проблемы, которую ученики исследуют и решают через собственную исследовательскую работу. Мастерская экспериментального моделирования: пространство, где ученики могут создавать физические модели, конструировать установки для экспериментов, работать с 3D-принтерами для создания деталей. Как показывают исследования, интегрированные STEM-активности с 3D-печатью в физике могут стать путём к формированию научных ценностей [14]. Обсерватория или планетарий: пространство для изучения астрономии, оптики, электромагнетизма. Работа с телескопами, изучение небесных тел - это развитие и пространственного воображения, и причинно-следственного мышления, и прогнозирования [1]. Компьютерный класс с симуляциями: пространство, где ученики могут использовать компьютерные симуляции для моделирования физических процессов, которые невозможно воспроизвести в школьной лаборатории. Исследования показывают, что использование симуляций в рамках метода POE эффективно улучшает понимание физики [12].

Создание этой инфраструктуры - не затраты, а стратегическое вложение. Каждый ребёнок, нашедший через эти пространства свою точку входа - будь то экспериментальная физика, моделирование или астрономические наблюдения, - получает мощный импульс для развития всех остальных ментальных механизмов [1]. Это как с городом. В городе есть библиотеки, театры, мастерские. И каждый ребёнок может найти то, что ему ближе. А найдя, может вырасти. Не потому, что его заставляют. А потому, что среда позволяет. И это самое важное. Среда, которая позволяет. А не среда, которая требует. Потому что требовать можно много. А позволять - это искусство. И школа должна быть искусством. А не фабрикой.

Корни и ветви

Физика не существует в изоляции. Она связана со всеми остальными предметами - и эти связи можно использовать для развития ментальных механизмов. Физика и математика: это очевидная связь. Математика - это язык физики. Математическое моделирование физических процессов - это развитие и прогнозирования, и причинно-следственных связей, и критического мышления [6]. Физика и химия: молекулярная физика, термодинамика, оптика - всё это связывает физику и химию. Понимание физических основ химических процессов развивает системное мышление [1]. Физика и биология: биофизика, физиология, нейробиология - всё это требует физического мышления. Понимание того, как работают биологические системы на физическом уровне, развивает причинно-следственное мышление [1]. Физика и информатика: компьютерное моделирование, обработка данных, симуляции - всё это связывает физику и информатику. Исследования показывают, что использование цифровых приложений для решения качественных задач по физике может развивать критическое мышление [13]. Физика и география: климатология, геофизика, океанография - всё это требует физического мышления. Понимание физических процессов, формирующих климат и рельеф, развивает прогнозирование и причинно-следственное мышление [1]. Физика и технология как новый предмет: прикладная физика, инженерия, робототехника - прямое применение физических знаний и развитие стратегического мышления [14].

Наука о причинности

Я хочу закончить эту статью тем, что, возможно, является самым важным. Физика - это не просто школьный предмет. Это наука о причинности. Она учит нас видеть мир как систему причин и следствий, понимать, как одно явление порождает другое, как можно предвидеть будущее на основе знания закономерностей. Она формирует когнитивный аппарат, способный к системному, прогностическому, критическому мышлению.

Именно поэтому физика, на мой взгляд, является фундаментальным предметом для формирования коммуникативно-познавательного каркаса личности [1]. Когда мы учим ребёнка физике, мы учим его не просто решать задачи и запоминать формулы. Мы учим его понимать причинность - видеть, как устроен мир, как одно событие ведёт к другому. Мы учим его прогнозировать - предвидеть результаты, планировать действия, оценивать риски. Мы учим его мыслить критически - проверять гипотезы, анализировать данные, делать обоснованные выводы.

Именно поэтому перестройка преподавания физики - это не просто методический вопрос. Это стратегическая задача. Как я показывал в статье об эпистемологической рекурсии [8], без развития ментальных механизмов, без формирования коммуникативно-познавательного каркаса личности, человечество не сможет решить трудные проблемы XXI века. Физика - это тот инструмент, через который формируется способность к пониманию причинности, работе с неопределённостью и системному мышлению. И если мы хотим, чтобы наши дети стали не просто вычислителями, но мыслителями - мы должны дать им этот инструмент в полной мере. Не ради оценок. Не ради экзаменов. Ради понимания. Ради жизни. Ради того, чтобы они могли видеть мир не как хаос случайностей, а как систему закономерностей. И чтобы они могли не просто жить в этом мире, а понимать его. И, может быть, менять его. К лучшему. С помощью физики. Которая не просто считает. Она думает. Как Фейнман, который видел за формулой танец частиц. Как Эйнштейн, который видел за уравнением музыку сфер. Как физик, который видит истину там, где ещё только явление. И это самое главное. Не явление. А истина. Которая за ним стоит. И которую можно увидеть. Если научиться смотреть. И если знать, куда смотреть. И физика учит этому. Каждый день. На каждом уроке. С каждым ребёнком. С каждым экспериментом. Который не просто проводится. Он думается. И в этом его сила. И в этом его красота. И в этом его смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается физика. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

В следующей статье я перейду к предмету, который, на мой взгляд, является мостом между физикой и биологией, между неживой и живой природой, - к химии. Я покажу, как этот предмет может развивать не только вычислительные навыки, но и способность к моделированию, прогнозированию и критическому мышлению. Это будет следующий шаг. Следующая дверь. Следующий дом. И я приглашаю читателя пройти этот путь вместе со мной. Не как наблюдатель. А как участник. Потому что школа - это не то, что делают другие. Это то, что делаем мы. Все вместе. Учителя. Ученики. Родители. Общество. И если мы хотим изменить школу, мы должны начать с себя. С каждого урока. С каждого эксперимента. С каждой мысли. И тогда, может быть, через двадцать лет мы увидим другую школу. Других детей. Другой мир. Мир, в котором мысль не боится себя. Мир, в котором вопросы ценятся не меньше ответов. Мир, в котором образование - это не подготовка к экзамену. А подготовка к жизни. И это будет не утопия. Это будет реальность. Которую мы создали сами. Своими руками. Своими мыслями. Своими уроками. И это самое большое, что мы можем сделать. Не для себя. А для них. Для детей. Для будущего. Для жизни. Которая продолжается. В каждом явлении. В каждой формуле. В каждой мысли. Которая ищет. И находит. И снова ищет. Потому что в этом и есть смысл. Не в ответах. А в вопросах. Не в точках. А в многоточиях. Не в конце. А в продолжении. Которое всегда возможно. Пока есть физика. Пока есть мысль. Пока есть жизнь. И это самое главное. Самое важное. Самое настоящее. И самое человеческое. Что у нас есть. И что мы можем передать. Детям. Будущему. Жизни. Которая продолжается. В каждом эксперименте. В каждом открытии. В каждом решении. Которое мы находим. И которое остаётся. Когда мы уходим. Потому что решения остаются. Законы остаются. Мысли остаются. И физика продолжается. Даже когда мы молчим. Потому что молчание - это тоже часть физики. И иногда самая важная. Самая глубокая. Самая человеческая. И это тоже физика. Которая не заканчивается. Которая продолжается. В нас. И в них. И в тех, кто придёт после. И прочитает. И поймёт. И напишет своё. И это будет продолжение. Не конца. А начала. Начала нового разговора. Нового диалога. Нового понимания. Которое не заканчивается. Как не заканчивается физика. Как не заканчивается жизнь. Как не заканчивается мысль. Которая ищет. И находит. И снова ищет. Потому что в этом и есть смысл. Не в ответах. А в вопросах. Не в точках. А в многоточиях. Не в конце. А в продолжении. Которое всегда возможно. Пока есть явление. Пока есть закон. Пока есть мысль. Пока есть жизнь.

Ссылки на первоисточники

1. Клеймёнов А. Основные ментальные механизмы: структура коммуникативно-познавательного каркаса личности // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 5. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-5/
2. Клеймёнов А. Диагностика и развитие ментальных механизмов: от теории к педагогической практике // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 6. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-6/
3. Клеймёнов А. Историческая необходимость изменений педагогической модели: от индустриального конвейера к постиндустриальному мышлению // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 3. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-3/
4. Клеймёнов А. Экономическая и эволюционная невыгодность старых моделей педагогики // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 4. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-4/
5. Клеймёнов А. Введение: как предметы становятся инструментами развития мышления // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 4. - Ст. 1. https://fractal-academy.ru/articles/article-4-1/
6. Клеймёнов А. Математика: логика, абстракция и причинность // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 4. - Ст. 4. https://fractal-academy.ru/articles/article-4-4/
7. Клеймёнов А. Геометрия: пространство, форма и визуальное мышление // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 4. - Ст. 5. https://fractal-academy.ru/articles/article-4-5/
8. Клеймёнов А. Эпистемологическая рекурсия в когнитивной науке: ментальные механизмы как инструмент преодоления «трудной проблемы» сознания // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 3. - Ст. 1. https://fractal-academy.ru/articles/article-3-1/
9. Spodniaková Pfefferová M., Plesch M. Optics experiments as a tool for developing critical thinking in physics education // Journal of Physics: Conference Series. - 2025. - Vol. 3155. - Article 012017.
10. Quraisy S., Parno, Khusaini, Ali M. The Effect of the Argument-Driven Inquiry Integrated with STEAM Assisted by DMM to Improve Critical Thinking Skills on The Material of Sound and Light Waves // Journal of Physics: Conference Series. - 2025. - Vol. 3139. - Article 012097.
11. Murray J. K. From Predictions to Inferences: An Exploration of Heat Transfer Using the PHOI Strategy // The Science Teacher. - 2025. - Vol. 92, No. 6. - P. 96-98.
12. Toksoy S. E., Bulut E. Effect of Simulation-Supported Prediction Observation Explanation Activities on Students' Conception of Learning Physics Related to Solid and Liquid Pressure // Journal of Science Education and Technology. - 2025. - Vol. 34, No. 1. - P. 122-134.
13. Wen X., Dawod A. Y., Yu X. Comparing Instructional Models and Predicting Academic Performance in Physics Experiments: A Quasi-Experimental Study // International Journal of Learning, Teaching and Educational Research. - 2025. - Vol. 24, No. 10.
14. Hasanah M., Faradilla M., Marvida T. Using the STEM Approach to Improve Students' Critical Thinking Abilities in an Integrated Flipped Classroom in Physics Learning // Jurnal Penelitian Pendidikan IPA. - 2025. - Vol. 11, No. 7.
15. Egri S., Páka G., Tóth Z. Features of young pupils' thinking when solving a novel physical problem: precausal reasoning, p-prims, mental models, analogies // Physics Education. - 2025. - Vol. 60, No. 3

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанного с публикацией данной статьи.
Финансирование
Исследование выполнено без внешнего финансирования.
Заявление о доступности данных
Данные, обсуждаемые в статье, содержатся в тексте публикации. Дополнительные материалы можно запросить у автора.
Вклад автора

Александр Клеймёнов - концепция, исследование, написание текста, финальная правка.

Отказ от ответственности
Мнения, точки зрения и данные, содержащиеся в публикациях Fractal Academy, принадлежат исключительно автору(ам) и не обязательно отражают позицию издателя или редакции. Fractal Academy и редакция не несут ответственности за любой ущерб, возникший в результате использования идей, методов, инструкций или материалов, упомянутых в публикациях.
Ответственность за соблюдение авторских прав, точность цитирования и достоверность фактов лежит на авторе(ах) публикации.