

УДК37.016:53

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-139-152

ИЗУЧЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Синявина А.А.¹, Озерова Е.Н.²

¹*Московский государственный областной университет
105005, Москва, ул. Радио, д. 10а, Российская Федерация*

²*МОУ «Онуфриевская СОШ»*

*143573, Московская область, Истринский район, село Онуфриево, ул. Центральная,
д.4*

Аннотация. В статье проанализированы некоторые исторические аспекты возникновения статистического метода на примере научных трудов известных учёных-физиков. Отражены этапы ознакомления со статистическим методом при изучении различных разделов курса физики основной и профильной школы, а также его значение в формировании вероятностного стиля мышления обучающихся. Показана последовательность изучения статистического метода с использованием приёмов, характерных для него, и теоретической схемы, включающей факты, модель, понятия, закономерности, практические применения, идеи естественнонаучной картины мира. Приведены примеры способов деятельности обучающихся на уровне учебных действий как средства достижения результатов освоения статистического метода в курсе физики средней школы.

Ключевые понятия. случайное событие, вероятность, микросостояние, макросостояние, закон статистического распределения, способы деятельности, учебные действия.

THE STUDY OF STATISTICAL METHODS IN PHYSICS COURSES AT SECONDARY SCHOOL

A. Sinyavina¹, E. Ozerova²

¹*Moscow State Regional University,
ul. Radio 10a, 105005 Moscow, Russia*

²*Municipal educational institution "Onufrievskaya Secondary School",
ul. Tsentral'naya 4, 143753 Onufriev village, Istra municipal district, Moscow region,
Russia*

Abstract. We analyze some historical aspects of the emergence of the statistical method by example of research papers of famous physicists. We consider the stages of familiarization with the statistical method for the study of various topics of physics at general and specialised schools, as well as its importance in the formation of the probabilistic style of thinking of students. We show the sequence of study of the statistical method with the use of characteristic techniques, and a theoretical scheme that includes facts, models, concepts, regularities, practical applications, and ideas of the natural-scientific picture of the world. Examples are presented of students' activities at the level of educational activities as a means of mastering the statistical method in physics at a secondary school.

Keywords: random event, the probability, microstate, macrostate, law of statistical distribution, ways of activity, educational actions.

Федеральные государственные образовательные стандарты основного и среднего (полного) общего образования ориентированы на становление личностных характеристик выпускника, отражающих направленность на образование и самообразование в течение всей своей жизни. Примером таких характеристик являются владение основами научных методов познания окружающего мира, мотивированность на творчество и современную инновационную деятельность. Действительно, любой метод познания является одним из факторов творческой деятельности человека, которая включает в себя и другие факторы, например, глубину воображения исследователя, его способность к интуиции. Поэтому изучение методов познания природы становится актуальной проблемой при изучении курса физики средней школы [5; 6].

В философии метод трактуется как способ деятельности, совокупность приёмов, применяемых исследователем для получения определённого результата. Как определённый вид деятельности метод включает объект, субъект, цель познания, средства познания, условия познания, результат познавательной деятельности. Основательность метода обусловлена глубиной и адекватностью знаний об объекте, так как любое знание выступает, во-первых, как информация об объекте, а, во-вторых, как метод познания. Наиболее глубоким основанием научного метода является теория [1].

Основная функция метода состоит в организации и регулировании процесса познания или практического преобразования объекта исследования. Метод представляет собой систему правил, предписаний, которые служат средствами

дальнейшего познания и изменения действительности, и направлен на выявление способов и механизмов его исследования [2].

С.П. Капица, отмечая вклад американского физика-теоретика Дж. Гиббса в становление и развитие статистического метода, писал: «Метод, развитый Гиббсом в термодинамике, стал основным методом статистической физики, и появление позднее квантовой механики и квантовой статистики сохранило и лишь развило подход, указанный Гиббсом» [3]. Однако сам Дж. Гиббс в предисловии к своей работе «Элементарные принципы статистической механики» утверждает: «Такие исследования Максвелл называл *статистическими*. Они принадлежат к отрасли механики, обязанной своим происхождением стремлению объяснить законы термодинамики, исходя из механических принципов, и основанной главным образом Клаузиусом, Максвеллом и Больцманом. <...> В дальнейшем статистические исследования были распространены на фазы (или состояния по конфигурации и скорости), сменяющие одна другую в данной системе с течением времени. Явное рассмотрение большого числа систем, их распределения по фазам и постоянства или изменения этого распределения с течением времени приведено в статье Больцмана «О связи между теоремой об отношении теплоёмкости многоатомных молекул газа и принципом последнего множителя Якоби» [3].

Современная естественнонаучная картина мира основана на фундаментальном вероятностном принципе обобщения закономерностей.

Статистические законы формулируются на языке вероятностных распределений и проявляются как законы массовых явлений на базе больших чисел. Считается, что их действие обнаруживается там, где на фоне множества случайных причин существуют глубокие необходимые связи. Они не дают абсолютной повторяемости, однако, в общем случае правомерна их оценка как закономерностей постоянных величин [4; 7].

Статистический метод используется при рассмотрении систем, состоящих из большого числа частиц, ансамблей частиц. Статистический ансамбль относится к понятиям статистической физики, изучающей свойства макроскопических систем, состоящих из очень большого числа одинаковых частиц, обладающих определёнными свойствами и взаимодействующих друг с другом. Статистическая физика применяет к решению физических задач методы теории вероятностей.

Новым качественным скачком познавательной деятельности учащихся основной школы является переход от усвоения динамических закономерностей, отражающих причинно-следственные связи механических явлений (законы Ньютона), к особенностям статистических закономерностей. Такими закономерностями, например, являются пропорциональная зависимость между давлением газа и числом молекул в единице объёма, средней кинетической энергии движения молекул; между средней кинетической энергией поступательного хаотического движения молекул газа и абсолютной температурой.

Ознакомление со статистическим методом при изучении курса физики основной школы начинается с изучения броуновского движения, что позволяет ввести представление о беспорядочном (хаотическом) движении молекул вещества. Движение броуновских частиц может быть использовано как модель теплового движения молекул.

На рис. 1 приведены примеры использования статистического метода при изучении основных вопросов молекулярной физики в основной школе.

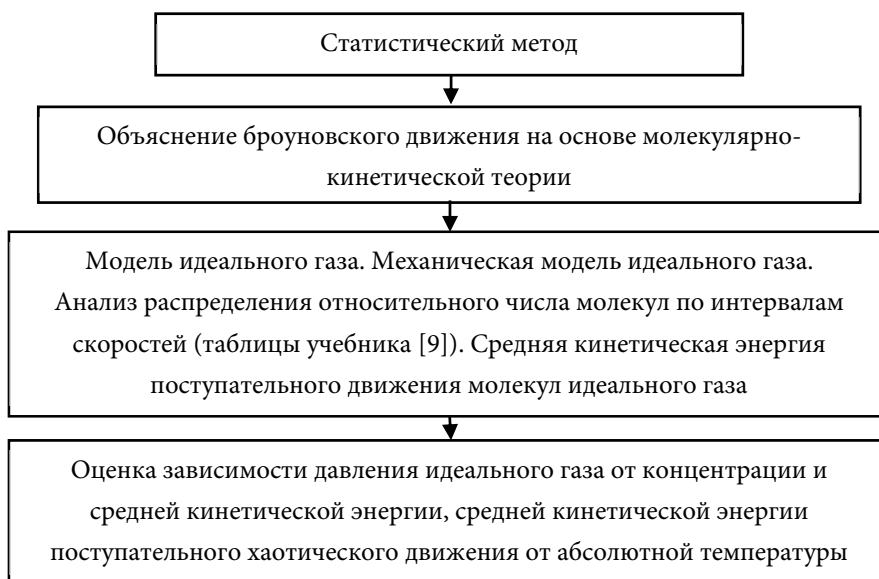


Рис. 1

Одним из важнейших понятий при изучении статистического метода является понятие случайного события. В физике под событием понимают

явление, происходящее в данный момент времени и в данной точке пространства. При этом какое-либо событие может произойти, а может и не произойти по тем или иным причинам. Такие события принято называть случайными. Так, столкновение молекул газа – случайное событие. Появление того или иного события часто бывает непредсказуемо. Направление скоростей молекул газа и их модули можно рассматривать как случайные величины.

Для изучения свойств реального газа в курсе физики используется физическая модель – идеальный газ. Эта модель удовлетворяет определённым условиям, например, предполагается, что расстояния между молекулами много больше их размеров, средняя кинетическая энергия частиц много больше энергии их взаимодействия. В ней направления и значения скоростей молекул имеют случайный непредсказуемый характер. Представление о распределении скоростей теплового движения молекул газа в курсе физики восьмого класса формируются на основе анализа данных таблицы [9], в которой приведены интервалы скоростей и относительное число молекул, движущихся с соответствующими этим интервалам скоростями. Из анализа таблицы следует, что для описания свойств макроскопических тел важно знать не поведение отдельных молекул, а средний результат их совокупного движения. Система из большого числа молекул характеризуется средними величинами: средним квадратом скорости и средней кинетической энергией молекул газа. Физическая величина – давление идеального газа – связана со средней кинетической энергией движения молекул, а абсолютная температура рассматривается как мера средней кинетической энергии молекул. Таким образом, учащиеся при изучении курса физики восьмого класса знакомятся с элементами статистического метода [9; 10].

В курсе физики десятого класса большое внимание уделено изучению методов познания природы, в том числе статистическому методу. Развивая понятие случайного события, рассматривается его характеристика – вероятность случайного события, определяемая как количественная мера возможности его появления. Вероятность случайного события – исходное понятие, поэтому нельзя указать родовое понятие, к которому оно принадлежит, формально-логическое определение дать невозможно. Вероятность относится к общенаучным понятиям.

Различают вероятность термодинамическую и вероятность математическую. Под термодинамической вероятностью понимают число способов, которыми может быть реализовано данное состояние макроскопической системы. Известно, что в термодинамике состояние физической системы характеризуется определёнными значениями величин, например, плотности, давления, температуры, которые определяют её макросостояние. Микросостояние системы зависит от распределения её частиц, например, по объёму. Вероятность термодинамическая определяется числом микросостояний, поэтому она всегда больше или равна единице. Вероятность того, что данный исход произойдёт, на шкале вероятностей лежит между 0 и 1. Если вероятность по шкале ближе к нулю, менее вероятно, что данный исход произойдёт, а если ближе к 1 – более вероятно [8].

Существует несколько подходов к определению вероятности случайного события как количественной меры того, что событие произойдёт или не произойдёт. Наиболее доступным для обучающихся является частотное определение, применимое для равновесных систем. При этом рассматривается идеальный газ, заключённый в некотором сосуде объёмом V . Допускается, что можно отследить перемещение одной молекулы газа. Определяется вероятность появления молекулы в некотором малом объёме ΔV , являющемся частью объёма V , как их отношение. Затем понятие вероятности используется для характеристики распределения частиц газа по объёму сосуда. Для этого проводится серия мысленных экспериментов по распределению молекул идеального газа в двух равных частях сосуда. Сначала предполагается, что в сосуде находится одна частица, затем – две, четыре. Изучение способов размещения молекул идеального газа между двумя частями сосуда позволяет сделать два ключевых вывода: 1) каждое макросостояние системы может быть реализовано определённым числом различных микросостояний; 2) равномерное распределение молекул газа в сосуде является наиболее вероятным состоянием. В качестве примера предлагается таблица, в которой приведены интервалы скоростей молекул кислорода и вероятность микросостояний молекул кислорода, имеющих скорости в данных интервалах [8]. Анализируется распределение молекул кислорода по скоростям с помощью графиков зависимостей вероятности того, что число молекул кислорода находится в данном интервале, от интервалов скоростей. Это позволяет сделать вывод, что

распределение молекул газа по скоростям зависит от температуры. При повышении температуры кривая смещается в область больших значений скоростей.

Наглядно статистическую закономерность распределения молекул можно проиллюстрировать с помощью механической модели – доски Гальтона. Если всыпать в воронку дробинку и предоставить ей возможность падать в отсеки сквозь заслон гвоздей, то она будет испытывать множество столкновений с гвоздями и, в конце концов, попадёт в одну из ячеек. Предсказать, в какую ячейку попадёт частица, невозможно из-за множества случайных факторов, влияющих на её движение. Можно лишь утверждать, что попадание частицы в центральные ячейки более вероятно, чем в крайние. Если насыпать в воронку множество частиц, то оказывается, в центральные ячейки попадает наибольшее число частиц, а в крайние – наименьшее. При очень большом числе частиц, прошедших через воронку, наблюдается статистическая закономерность распределения их по ячейкам. Процесс распределения случайных отклонений координаты дробинки от некоторого среднего значения подчиняется закону распределения.

Изучая основы термодинамики, обучающиеся на примере явления диффузии двух газов знакомятся с необратимыми процессами при переходе термодинамической системы из упорядоченного состояния в неупорядоченное, характеризующееся взаимным проникновением молекул и отсутствием границ между молекулами разных газов. При этом трактуется, что система самостоятельно переходит из менее вероятного состояния в более вероятное состояние. Это позволяет ознакомить обучающихся со вторым законом термодинамики как статистическим законом необратимых процессов. Второй закон термодинамики является фундаментальным законом природы, охватывающим многочисленные явления окружающего мира [11].

Развитие знаний о статистическом методе осуществляется при изучении других разделов курса физики. Так, при изучении понятия электронной проводимости металлов вводится физическая величина – средняя скорость упорядоченного движения электронов под действием электрического поля – скорость дрейфа.

При изучении физики атомного ядра обучающиеся усваивают, что радиоактивный распад является самопроизвольным процессом, который носит

статистический характер. В нём нельзя предсказать, какие именно ядра атомов в радиоактивном образце, состоящем в начальный момент времени из определённого числа радиоактивных атомов, распадутся за указанное время. Любое из ядер с одинаковой вероятностью может распасться в любой момент времени. Физический смысл имеют утверждения о поведении в среднем большой совокупности атомов. Закон радиоактивного распада определяет среднее число атомов, распадающееся за данный интервал времени. Однако всегда имеются неизбежные отклонения от среднего значения.

Если поднести радиоактивный образец с малой активностью к счётчику Гейгера, то звуковые сигналы (щелчки) будут следовать один за другим нерегулярно, хаотически. Это означает, что один из большой совокупности атомов образца самопроизвольно взрывается, выбрасывая быструю частицу. Щелчки, следуя друг за другом беспорядочно, хаотически, на опыте непосредственно подтверждают вероятностный характер распада.

При изучении волновых свойств частиц, анализируя дифракцию фотонов, обучающиеся знакомятся с тем, что при их движении невозможно заранее установить, в какую точку после дифракции на узкой щели попадёт фотон. В этом случае можно лишь говорить о вероятности попадания фотона в окрестность определённой точки. При ознакомлении с двойственной природой света, показано, как с учётом волновых свойств микрочастиц немецкий физик В. Гейзенберг пришёл к выводу о том, что невозможно одновременно с заданной точностью измерить координату частицы и проекцию её импульса на ту же ось. Результат опыта можно предсказать только в вероятностной форме [12].

Вероятностные представления формируются при выполнении лабораторных работ. Каждая лабораторная работа включает формулировку гипотезы исследования, а гипотеза – это всегда вероятностное знание, она может подтвердиться, а может и не подтвердиться. Кроме того, в каждой лабораторной работе, в которой необходимо измерить физическую величину, результат измерения записывается с учётом максимальной абсолютной погрешности, а это означает, что никакое измерение не даёт точного значения измеряемой величины. Оно находится в некотором интервале, границами которого служит эта погрешность [10; 11].

Таким образом, при изучении статистического метода в курсе физики средней школы можно выделить следующую последовательность: факты →

модель → понятия → закономерности → практические применения → идеи естественнонаучной картины мира (рис. 2).



Рис. 2

Федеральные государственные образовательные стандарты включают в себя требования к результатам освоения основных образовательных программ. Так, при изучении молекулярно-кинетической теории идеального газа в курсе физики основной школы обучающиеся освоят следующие элементы статистического метода. Они научатся:

- распознавать и объяснять основные свойства тепловых явлений, например, таких, как диффузия, большая сжимаемость газов, испарение, конденсация, кипение;

- описывать свойства тел и тепловые явления, используя физические величины: температура, среднее значение квадрата скорости молекул идеального газа, средняя кинетическая энергия молекул идеального газа;
- анализировать тепловые явления, используя статистический метод познания природы;
- формулировать основные признаки физических моделей, например, модель теплового движения молекул вещества (броуновское движение), модель идеального газа.

Принимая за основу системно-деятельностный подход, обеспечивающий формирование готовности к саморазвитию, активную познавательную деятельность учащихся, при ознакомлении со статистическим методом в курсе физики основной школы можно выделить следующие способы деятельности на уровне учебных действий [10]:

- ознакомиться со статистическим методом исследования огромной совокупности частиц;
- наблюдать движение броуновских частиц на модели;
- изучать модель идеального газа;
- оценивать средние значения величин, характеризующих тепловое движение молекул;
- анализировать зависимости относительного числа молекул идеального газа от интервала скоростей с помощью таблиц;
- вычислять средний квадрат скорости и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул одноатомного газа;
- наблюдать зависимость давления идеального газа от концентрации молекул с помощью механической модели;
- объяснять зависимости давления идеального газа от средней кинетической энергии молекул и температуры от средней кинетической энергии молекул идеального газа.

Учитывая преемственность основных образовательных программ основного общего и среднего общего образования по физике и их вариативность [13], развитие знаний о статистическом методе в курсе физики средней школы осуществляется в соответствии с планируемыми результатами. Так, выпускник средней школы научится:

- анализировать модель идеального газа, исходя из термодинамического и статистического методов исследования;
- наблюдать и объяснять на механической модели броуновское движение, зависимость давления газа от концентрации и средней кинетической энергии движения молекул;
- устанавливать связи между макроскопическими параметрами термодинамической системы и её микроскопическими параметрами;
- изучать понятия случайного события, вероятности случайного события и использовать их для характеристики распределения частиц газа по объёму сосуда;
- различать макросостояния и микросостояния термодинамической системы;
- анализировать графики распределения молекул по скоростям при разных температурах;
- наблюдать и объяснять распределение молекул газа по скоростям с помощью механической модели – доски Гальтона;
- анализировать результаты опыта Перрена – график зависимости распределения броуновских частиц в эмульсии от высоты;
- анализировать результаты опытов Штерна и пользоваться соответствующим графиком распределения молекул по скоростям при определённой температуре;
- исследовать зависимость давления от средней кинетической энергии движения молекул газа и его концентрации на механической модели;
- обсуждать понятие температуры как меры средней кинетической энергии движения частиц вещества;
- устанавливать формулу пропорциональной зависимости средней кинетической энергии поступательного хаотического движения молекул идеального газа и абсолютной температуры;
- обсуждать границы применимости модели идеального газа;
- различать среднюю квадратичную и среднюю скорости молекул;
- выводить формулу связи среднего квадрата проекции скорости молекул и среднего квадрата скорости;
- объяснять результаты опытов Штерна, исходя из закона распределения числа молекул по скоростям, полученного теоретически Дж. Максвеллом;

объяснять с помощью статистического метода второе начало термодинамики.

Изучение статистического метода имеет большое практическое значение, так как вероятностные методы широко используются не только наукой о природе, но и об обществе, где также исследуются сложные системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачёв В.В. Концепции современного естествознания: учеб. пособие для студентов вузов. М.: ООО «Издательство Оникс»; ООО «Издательство «Мир и образование», 2008, 704 с.
2. Иллюстрированный словарь. Математика / Пер. с англ. А. Банкрашкова. М.: АСТ: Астрель, 2007. 127 с.
3. Капица С.П. Жизнь науки. Москва: Издательский дом ТОНЧУ, 2008. 592 с.
4. Кохановский В.П. Основы философии науки: Учебное пособие для аспирантов. Изд. 2-е. Ростов-на Дону: Феникс, 2005. 608 с.
5. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего (полного) общего образования [Электронный ресурс]. URL: <http://standart.edu.ru/>. (дата обращения: 15.11.14).
6. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации». М.: Ось – 89. 2013. 208 с. (Федеральный закон).
7. Физика: Энциклопедия. Под ред. Ю.В. Прохорова. М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. 944 с.
8. Хижнякова Л.С., Синявина А.А. Физика: 8 класс: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений. М.: Вентана-Граф, 2011. 224 с.
9. Хижнякова Л.С. Физика: 8 класс: методика и технологии обучения: методическое пособие. М.: Вентана-Граф, 2012. 232 с.
10. Хижнякова Л.С., Синявина А.А., Холина С.А., Кудрявцев В.В. Физика: 9 класс: методическое пособие. М.: Вентана-Граф, 2013. 280 с.
11. Хижнякова Л.С. Физика: 10 класс: базовый и углублённый уровни: учебник для учащихся общеобразовательных организаций. М.: Вентана-Граф, 2014. 400 с.
12. Хижнякова Л.С. Физика: 11 класс: базовый и углублённый уровни: учебник для учащихся общеобразовательных организаций. М.: Вентана-Граф, 2014. 408 с.
13. Хижнякова Л.С., Синявина А.А., Кудрявцев В.В. и др. Физика: программы: 7–9 классы, 10–11 классы. М.: Вентана-Граф, 2014. 288 с.

REFERENCES

1. Gorbachev V.V. Kontseptsii sovremennogo estestvoznaniya: ucheb. posobie dlya studentov vuzov [The concept of modern science: proc. textbook for University students]. M., OOO «Izdatel'stvo Oniks»; OOO «Izdatel'stvo «Mir i obrazovanie», 2008. 704 p.
2. Illyustrirovannyi slovar'. Matematika [An illustrated dictionary. Mathematics] / Transl. from English by A. Bankrashkov. M., AST: Astrel', 2007. 127 p.
3. Kapitsa S.P. ZHizn' nauki [Life science]. M., Izdatel'skii dom TONCHU, 2008. 592 p.
4. Kokhanovskii V.P. Osnovy filosofii nauki: uchebnoe posobie dlya aspirantov [The foundations of the philosophy of science: a textbook for graduate students]. Ed. 2nd. Rostov-on-Don, Feniks, 2005. 608 p.
5. Federal'nyi gosudarstvennyi obrazovatel'nyi standart srednego (polnogo) obshchego obrazovaniya [Elektronnyi resurs]. [Federal state educational standard of secondary (complete) General education [E-source]]. URL: <http://standart.edu.ru/> (request date 15.11.2014)
6. Federal'nyi zakon «Ob obrazovanii v Rossiiskoi Federatsii» [Federal law "On education in Russian Federation"]. M., Os'-89, 2013. 208 p.
7. Fizika: Entsiklopediya [Physics: Encyclopedia] / Ed. by Yu.V. Prokhorov. M., Bol'shaya Rossiiskaya entsiklopediya, 2003. 944 p.
8. Khizhnyakova L.S., Sinyavina A.A. Fizika: 8 klass: uchebnik dlya uchashchikhsya obshcheobrazovatel'nykh uchrezhdenii [Physics: grade 8: textbook for students of educational institutions]. M., Ventana-Graf, 2011. 224 p.
9. Khizhnyakova L.S. Fizika: 8 klass: metodika i tekhnologii obucheniya: metodicheskoe posobie [Physics: grade 8: methods and techniques of teaching: a methodological guide]. M., Ventana-Graf, 2012. 232 p.
10. Khizhnyakova L.S., Sinyavina A.A., Kholina S.A., Kudryavtsev V.V. Fizika: 9 klass: metodicheskoe posobie [Physics: 9th grade: manual]. M., Ventana-Graf, 2013. 280 p.
11. Khizhnyakova L.S. Fizika: 10 klass: bazovyi i uglublennyyi urovni: uchebnik dlya uchashchikhsya obshcheobrazovatel'nykh organizatsii [Physics: 10th grade: basic and advanced levels: a textbook for students of educational organizations]. M., Ventana-Graf, 2014. 400 p.
12. Khizhnyakova L.S. Fizika: 11 klass: bazovyi i uglublennyyi urovni: uchebnik dlya uchashchikhsya obshcheobrazovatel'nykh organizatsii [Physics: grade 11: basic and advanced levels: a textbook for students of educational organizations]. M., Ventana-Graf, 2014. 408 p.
13. Fizika: programmy: 7–9 klassy, 10–11 klass [Physics: a program: 7-9 grades and 10-11 grades]. Khizhnyakova L.S. and others M., Ventana-Graf, 2014. 288 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Синявина Анна Афанасьевна – доктор педагогических наук, профессор кафедры методики преподавания физики Московского государственного областного университета;
e-mail: aas_47@mail.ru

Озерова Екатерина Николаевна – учитель информатики МОУ «Онуфриевская СОШ» Истринского района Московской области;
e-mail: ozerovaen@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sinyavina Anna Afanas'evna – doctor of pedagogical sciences, professor of the Department of Methodology of Teaching Physics at the Moscow State Regional University;
e-mail: aas_47@mail.ru

Ozerova Ekaterina Nikolaevna – teacher of informatics, Municipal educational institution “Onufrievskaya Secondary School”, Istra municipal district, Moscow region;
e-mail: ozerovaen@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Синявина А.А., Озерова Е.Н. Изучение статистического метода в курсе физики средней школы // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2016. № 3. С. 139–152.
DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-139-152.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

A. Sinyavina, E. Ozerova The study of statistical methods in physics courses at secondary school // Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics. 2016. no. 3. pp. 139–152.
DOI: 10.18384/2310-7251-2016-3-139-152.