

Погожих Сергей Анатольевич

Кандидат физико-математических наук, профессор кафедры общей и теоретической физики, Новосибирский государственный педагогического университет, spog@yandex.ru, orcid 0000-0002-9821-2540, Новосибирск

ЦИФРОВИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. Введение. В статье рассматривается проблема цифровизации современного учебного физического эксперимента. Общий подход конкретизируется использованием цифровых измерительных комплексов при измерении характеристик магнитного поля различных источников. Обозначается недостаток современных курсов физики различного уровня: плохо сформированное представление у обучающихся о количественной характеристике магнитного поля – индукции.

Цель статьи – обобщение опыта работы по цифровизации учебного физического эксперимента по измерению магнитного поля.

Методология и методы исследования. На основе системно-деятельностного подхода рассматривается роль учебного эксперимента, в частности цифрового, в усвоении обучающимися основных знаний о природе.

Результаты исследования. На примере использования цифрового измерительного комплекса Casio с датчиком магнитного поля демонстрируется способ решения обозначенной проблемы. Рассматривается сам комплекс, его достоинства и недостатки, возможное место в учебном процессе и способы использования. Описаны особенности датчика магнитного поля, указаны способы его использования. Приведены примеры использования датчика в учебном физическом эксперименте. Рассмотрены классические конфигурации проводников с током, магнитное поле которых можно исследовать, – плоская катушка, длинный соленоид, постоянные магниты, и выводы, которые можно сделать при проведении исследований, подтверждающие теорию и указывающие условия применения теоретических выводов. Кроме того, рассматриваемое оборудование можно применять и для лекционных демонстраций, и в индивидуальной исследовательской деятельности обучающихся.

В заключении делается вывод о том, что комплекс Casio с датчиком магнитного поля пригоден для выполнения множества учебных задач различного уровня, для выполнения индивидуальной исследовательской деятельности и для лекционных демонстраций особенностей магнитного поля в различных системах проводников.

Ключевые слова: учебный физический эксперимент, обучение физике, цифровой измерительный комплекс, Casio, измерение индукции магнитного поля, датчик магнитного поля.

Введение. Постановка проблемы.

В настоящий момент актуальной задачей является цифровизация образования. В стандартах образования различного уровня в той или иной мере присутствуют требования использования компьютерной техники и электронных средств коммуникации при организации учебного процес-

са. Эти требования формально узаконивают результаты работы, которую уже давно проводили преподаватели и производители по внедрению компьютерной техники в учебный физический эксперимент.

Считается, что использование информационно-компьютерных технологий поднимет на новый уровень учебный экс-

перимент и способствует поднятию интереса к этой области знания. Опыт автора показывает, что школьники и студенты с интересом осваивают новые измерительные устройства, выполняя эксперименты, ранее недоступные на другой экспериментальной базе.

Целью настоящей статьи является обобщения опыта работы по цифровизации учебного физического эксперимента при изучении магнитного поля.

Обзор научной литературы по проблеме. В последние 10–15 лет проблема перевода учебного физического (и не только физического) эксперимента на цифровую основу начала обсуждаться в научной литературе. Как правило, обсуждение привязано к существующей приборной базе.

Поступающие в школы и вузы учебные цифровые измерительные комплексы (ЦИК) можно разделить на два типа. Комплексы *первого типа* основаны на использовании полноценного персонального компьютера, оснащенного специализированным программным обеспечением, к которому подключаются различные датчики. ЦИК *второго типа* – автономный мини-компьютер (планшет) с подключаемыми датчиками. Менее удобный в использовании последний тип занимает существенно меньше места и позволяет проводить исследования на открытом воздухе полностью автономно, что открывает новые возможности для индивидуальной исследовательской деятельности.

К ЦИК второго типа относится используемый на кафедре общей и теоретической физики Новосибирского государственного педагогического университета комплекс фирмы Casio на основе графических калькуляторов FX-9860 G II или FX-CG20. В состав этого комплекса входят цифровая лаборатория EA-200 (более современный вариант CLAB) и набор датчиков [5]. Компактность, автономность (может работать от батарей) позволяет использовать эту систему как стационарно, так и мобильно,

в том числе и вне помещений. Многоканальность позволяет записывать данные до трех датчиков одновременно. Одно из ценных качеств ЦИК Casio – возможность измерять и записывать быстропротекающие процессы, что нельзя сделать обычными лабораторными инструментами. В результате получается несколько графиков – зависимостей величин от времени. Может использоваться как при проведении лабораторных работ, так и для исследовательских работ, как школьников [1; 2; 4], так и студентов [6; 7]. За рубежом аналогичные графические калькуляторы используются в основном для решения математических проблем, однако, встречаются и приложения к экспериментальным задачам [10].

Магниты и электромагниты широко применяются в быту, технике и научных исследованиях. Всем хорошо знакомы как сами магниты по внешнему виду, так и действие, оказываемое ими. В нынешнем веке популярность магнитов вышла на новый уровень в связи с широким применением в качестве замков, защелок и просто игрушек сравнительно нового вида магнитов – редкоземельных, на основе неодима, бора и железа.

Однако у изучающих физику (как в школе, так и в вузе, в том числе и физику как основной предмет) наблюдается диспропорция между хорошим представлением явления на качественном уровне и его количественным описанием. Речь идет о силовой характеристике магнитного взаимодействия – индукции магнитного поля B . Хотя эта векторная величина и вводится, но отсутствует эмпирическая основа ее введения. Это обусловлено как трудностью теоретического введения этой величины, в отличие от напряженности электрического поля, так и трудностью количественного ее измерения. В силу того, что невозможно продемонстрировать действие магнитного поля на «элементарный» ток (а магнитных зарядов, как известно, нет), доступно только ориентирующее действие магнитного

поля и демонстрация силовых линий с помощью железных опилок. Даже студенты-физики (а уж тем более школьники) плохо представляют себе масштаб величин. Магнитное поле индукцией в 1 Тл – очень сильное поле, получить которое в учебной лаборатории не так-то просто. В то же время в задачах встречаются магнитные поля в десятки Тл , что в реальности может и не быть. Более полному осознанию этой величины могут послужить эксперименты по количественному исследованию магнитных полей. Однако такие учебные эксперименты в практике преподавания физики различного уровня довольно редки, хотя и описаны в ряде руководств [3; 8; 9].

Методология и методы исследования.

В соответствии с системно-деятельностным подходом в методике преподавания физики различных уровней учебный физический эксперимент рассматривается одновременно и как источник знаний, и как метод обучения, и как вид наглядности. В практику обучения физический практикум вошел с середины XIX в. как метод избежать формализма в обучении. С другой стороны, использование ЦИК позволяет приблизить учебный эксперимент к реалиям современной науке. В то же время, цифровизация поднимает интерес к самому процессу, способствуя главным задачам – усвоению физических знаний о явлениях природы и развитию представлений об экспериментальном методе как основе получения знаний о природе.

Результаты исследования. Обсуждение. Исследования распределения магнитного поля, создаваемого магнитами и электромагнитами в пространстве, не рассматриваются ни в одном руководстве к физическому практикуму. Между тем, картина силовых линий магнитов широко используется для объяснений магнитных явлений, приводится на обложках многих учебников по электродинамике, т. е. стала одним из символов физики. Однако на практике численное исследование обыч-

ными средствами практически невозможно. Для этой цели подходит датчик индукции магнитного поля в составе ЦИК Casio. Он представляет собой длинный пластиковый стержень, в торец которого вмонтирован датчик Холла, ориентированный так, что при измерении линии магнитной индукции должны быть направлены вдоль стержня (рис. 1).



Рис. 1. Калькулятор Casio с датчиком магнитного поля

Это ограничивает его применение – в узком пространстве, где, как правило, и можно получить сильное поле, его нельзя расположить. Чувствительность датчика не позволяет измерять им магнитное поле Земли, он рассчитан на надежную работу от $0,1 \text{ мТл}$, что достаточно для лабораторных условий. Предел измерений – 100 мТл . Главное преимущество ЦИК с датчиком – готовое значение индукции без пересчета, т. е. прямое измерение. Запись изменения значения индукции в зависимости от времени – стандартная функция ЦИК.

Ключевым вопросом при измерениях является калибровка датчиков ЦИК. В качестве эталонного источника магнитного поля наиболее разумным можно считать плоскую тонкую многovitkovую катушку. Хорошо подходит школьная катушка для демонстрации магнитных явлений (см. рис. 1). Катушка диаметром 15 см имеет $N = 160$ витков эмалированного прово-

да диаметром 1 мм. При этих размерах ее можно считать последовательным соединением круговых витков. Имеет подставку и разборный столик, на котором удобно расположить датчик. Индукция магнитного поля в центре катушки вычисляется по известной формуле (R – радиус, I – ток через катушку)

$$B = N \frac{\mu_0}{2R} I.$$

При силе тока 1 а в центре катушки магнитная индукция составляет 1,34 мТл, что превышает магнитное поле Земли, его можно не учитывать. Практика показала, что в качестве источника тока лучше использовать свинцовый аккумулятор 12 в с реостатом. Различные выпрямители без стабилизации дают плохой результат, так как измерительная станция легко фиксирует пульсации магнитного поля, а сама схема испытывает действие наводок.

Еще одно неприятное обстоятельство – по непонятным причинам плавающий нуль. В результате приходится подбирать калибровочные коэффициенты таким образом, чтобы в двух положениях, развернутых относительно друг друга на 180°, датчик давал примерно одинаковые по модулю значения.

В итоге калиброванный датчик имеет погрешность измерения порядка 10%, что соответствует его паспорту. Для учебных задач этого достаточно.

Приведем примеры нескольких экспериментальных задач, выполненных студентами, которые дают не только качественные, но и количественные представления о магнитном поле.

1. Магнитное поле в плоскости кругового витка с током. Из соображений симметрии вектор магнитной индукции должен быть перпендикулярен плоскости витка, т. е. поле в плоскости витка должно быть однородным. Результат измерения датчиком показан на рис. 2.

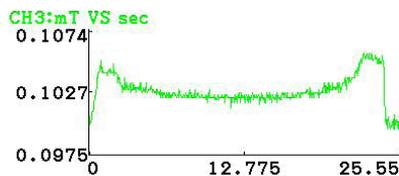


Рис. 2. График-скриншот экрана калькулятора Casio

Дана зависимость индукции (мТл) от времени (с), датчик перемещался по диаметру кольца. Видно, что отклонение от теоретических значений наступает на краях диаметра вблизи провода. В значительной части внутренней области поле постоянно. Хорошо видны шумы датчика, поле достаточно слабое.

2. Зависимости индукции на оси соленоида от времени при перемещении датчика и от расстояния от его края представлены на рис. 3. Краю соленоида соответствует 0, положительное значение – внутри на оси соленоида, отрицательное значение – снаружи. При длине соленоида 240 мм расчетное значение (6,3 мТл) для поля бесконечного соленоида достигается на расстоянии 60–70 мм от края, на ¼ длины. На краю индукция примерно в 2 раза меньше, что соответствует теоретическим предсказаниям.

3. Построение картины магнитных силовых линий постоянного магнита. Направление вектора магнитной индукции можно определить по максимальному значению показаний датчика, поворачивая его измерительный конец вокруг исследуемой точки. На рис. 4а представлены результаты определения направления и значения вектора магнитной индукции в плоскости вокруг составного постоянного неодимового магнита, а на рис. 4б – прорисовка силовых линий.

Магнит составлен из нескольких дисковых разного диаметра. Хорошо видно, что силовые линии начинаются не только на главных полюсах, но и на ступеньках, образованных при состыковке магнитов разного диаметра.

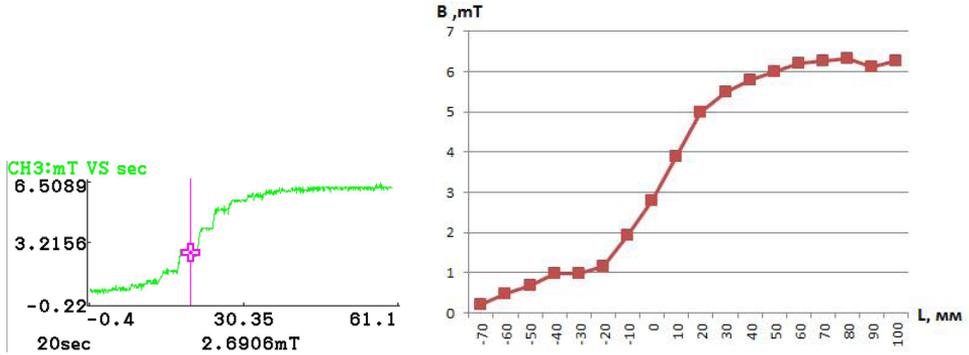


Рис. 3. Зависимость индукции магнитного поля на оси соленоида от времени (справа) и от расстояния от его края (слева)

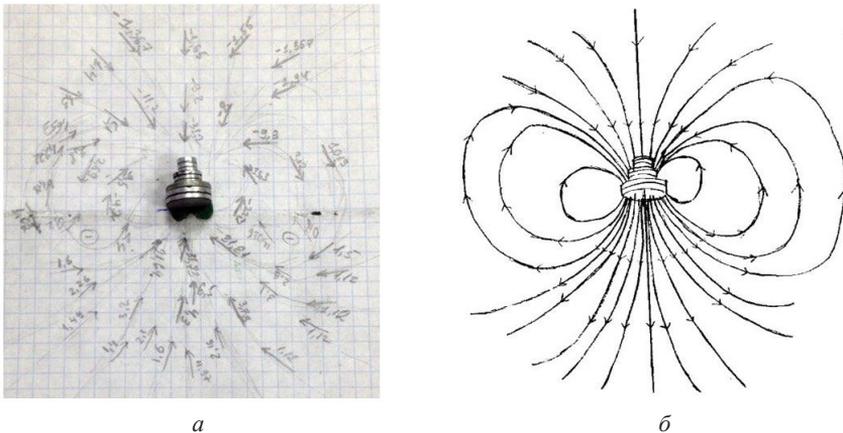


Рис. 4. Силовые линии постоянного магнита

Заключение. Рассмотренные эксперименты могут быть выполнены в «быстром» режиме, чтобы получить качественные представления об исследуемом магнитном поле. В этом случае получается наглядный график распределения величины (справа рис. 3). В «медленном» режиме с тщательным измерением исследуемой величины получается реальное распределение магнитного поля в пространстве, но временные затраты не позволяют выполнять такие эксперименты на занятиях. Предпочтительно подробные измерения выносить на индивидуальные исследова-

тельские работы.

ЦИК Casio может быть подключен в режиме реального времени к проектору или компьютеру с проектором и использоваться для демонстраций в течение занятий. Вышеперечисленные эксперименты с небольшими изменениями можно использовать как лекционные демонстрации, что будет способствовать более качественному усвоению материала.

Таким образом, ЦИК с датчиком магнитного поля пригоден для выполнения множества учебных задач разного уровня и для демонстрации особенностей маг-

нитного поля в различных системах проводников. Что должно сделать изучение темы «Магнитное поле» более интересным

и предметным, способствуя формированию целостной картины понимания законов природы.

Библиографический список

1. *Вострокнутов И. Е., Никифоров Г. Г., Никитина Н. С.* Лабораторный практикум по физике на основе цифрового измерительного комплекса EA-200 – fx9860GII. Вып. 1. – Троицк: Тровант, 2012. – 96 с.
2. *Вострокнутов И. Е., Никифоров Г. Г., Никитина Н. С. и др.* Лабораторный практикум по физике на основе цифрового измерительного комплекса EA-200 – fx-9860GII. Вып. 2. Осциллографические исследования и акустика. – Троицк: Тровант, 2011. – 56 с.
3. *Лабораторный практикум по физике / под ред. А. С. Ахматова.* – М.: Высшая школа, 1980. – 360 с.
4. *Вострокнутов И. Е., Никифоров Г. Г., Никитина Н. С. и др.* Лабораторный практикум по физике на основе цифрового измерительного комплекса EA-200 – fx-9860GII. Вып. 3. Механика / под общ. ред. И. Е. Вострокнутова, Г. Г. Никифорова. – Троицк: Тровант, 2012. – 96 с.
5. *Casio: Лабораторный комплекс [Электронный ресурс].* – URL: <http://edu.casio.ru/products/laboratory/> (дата обращения: 05.09.2019).
6. *Овчинников Ю. Э., Кисилева А. В., Сергеева Е. А.* Лабораторный эксперимент в школе и вузе – новые возможности // Педагогический профессионализм в образовании: сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции (Новосибирск, 18–19 февраля 2016 г.). – Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2016. – Ч. 1. – С. 146–150.
7. *Погожих С. А.* Цифровой измерительный комплекс Casio на основе графического калькулятора // Физическое образование в вузах. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 165–174.
8. *Практикум по общей физике / под ред. В. Ф. Ноздрева.* – М.: Просвещение, 1971. – 311 с.
9. *Физический практикум. Электричество и оптика / под ред. В. И. Ивероновой.* – М.: Наука, 1968. – 816 с.
10. *Madden Seán P., Wilson Wayne, Dong Aichun, Geiger Lynn, Mecklin Christopher J.* Multiple linear regression using a graphing calculator. Applications in biochemistry and physical chemistry // J. Chem. Educ. – 2004. – Vol. 81, № 6. – С. 903–907.

Поступила в редакцию 19.09.2019

Pogozhikh Sergey Anatolevich

Cand. Sci. (Physico-mathem.), Prof., Novosibirsk State Pedagogical University Department of General and Theoretical Physics, spog@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9821-2540, Novosibirsk

DIGITALIZATION OF EDUCATIONAL PHYSICAL EXPERIMENT ON THE EXAMPLE OF MAGNETIC FIELD STUDY

Abstract. Problem and Aim. The article deals with the problem of digitization of modern educational physical experiment. The general approach is concretized by the use of digital measuring systems for measuring the characteristics of the magnetic field of different sources. The lack of modern physics courses of various levels is indicated-a poorly formed idea of the quantitative characteristic of the magnetic field – induction.

The aim of the article is to generalize the experience of digitization of educational physical experiment on magnetic field measurement.

Methodology. On the example of using a digital measuring complex Casio with a magnetic field sensor demonstrates a way to solve this problem. The complex itself, its advantages and disadvantages, possible place in the educational process and ways of use are considered. The features

of the magnetic field sensor are described, the ways of its use are indicated. Examples of using the sensor in a training physical experiment are given. Classical configurations of conductors with current, the magnetic field of which can be investigated – a flat coil, a long solenoid, permanent magnets. The conclusions following from the results of measurements confirming the theory and indicating the conditions of application of theoretical conclusions are considered. In addition, the equipment can be used for lecture demonstrations and individual research activities of students.

In conclusion, it is concluded that the Casio complex with a magnetic field sensor is suitable for performing a variety of educational tasks at different levels, for performing individual research activities and for lecture demonstrations of the magnetic field in various conductor systems.

Keywords: educational physical experiment, physical education, digital measuring complex, Casio, measurement of magnetic field induction, the magnetic field sensor.

References

1. Vostroknutov, I. E., Nikiphorov, G. G., Nikitina, N. S., 2012. Laboratory workshop on physics based digital measuring complex EA-200 – fx9860GII. Iss. 1. Troitsk: Trovant Publ., 96 p. (In Russ.)
2. Vostroknutov, I. E., Nikiphorov, G. G., Nikitina, N. S. at all., 2011. Laboratory workshop on physics based digital measuring complex EA-200 – fx-9860GII. Iss. 2. Oscillo-graphic studies and acoustics. Troitsk: Trovant Publ., 56 p. (In Russ.)
3. Akhmatov, A. S., 1980, ed. Laboratory workshop in physics. Moscow: Higher school Publ., 360 p. (In Russ.)
4. Vostroknutov, I. E., Nikiphorov, G. G., Nikitina, N. S. at all., 2012. Laboratory workshop on physics based digital measuring complex EA-200 – fx-9860GII. Iss. 3. Mechanics. Troitsk: Trovant Publ., 96 p. (In Russ.)
5. Casio: Laboratory complex [online]. Available at: <http://edu.casio.ru/products/laboratory/> (accessed: 05.08.2019). (In Russ.)
6. Ovchinnikov, Yu. E., Kisileva, A. V., Sergeeva, E. A., 2016. Laboratory experiment at school and the University – new opportunities. Pedagogical professionalism in education. Collection of scientific papers of the XII International scientific-practical conference (Novosibirsk, 18–19 February 2016). Novosibirsk: NSPU Publ., Part 1, pp. 146–150. (In Russ.)
7. Pogozhikh, S. A., 2017. Casio digital measuring complex based on graphic calculator. Physics in higher education, Vol. 23, No. 4, pp. 165–174. (In Russ.)
8. Nozdrev, V. F., 1971, ed. Workshop on General physics. Moscow: Prosveschenie Publ., 311 p. (In Russ.)
9. Iveronova, V. I., 1971, ed. Physical workshop. Electricity and optics. Moscow: Nauka Publ., 816 p. (In Russ.)
10. Madden, Seán P., Wilson, Wayne, Dong, Aichun, Geiger, Lynn, Mecklin, Christopher J., 2004. Multiple linear regression using a graphing calculator. Applications in biochemistry and physical chemistry. J. Chem. Educ., Vol. 81, No. 6, pp. 903–907. (In Eng.)

Submitted 19.09.2019