

КОНСУЛЬТАЦИИ

УДК 378.147.31

Колгатин Сергей Николаевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, декан факультета фундаментальной подготовки Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург (РФ).

E-mail: kolgatin@spbgu.ru

НУЖНО ЛИ ПРЕПОДАВАТЬ ТЕОРИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Аннотация. *Цель.* Предлагаемая статья, в широком смысле, ставит своей целью обсуждение и обоснование общей структуры курса физики в высшем учебном заведении. В более узком смысле автор задается вопросом необходимости включения в состав этой дисциплины раздела «Теория относительности» и обозначает место данного раздела в подготовке студентов и возможную последовательность его изложения.

Методика построения курса физики в современных условиях требует от лектора определенной изощренности. Это связано с происшедшим в последнее время сильнейшим «ужиманием» курса, вызванном рядом объективных и субъективных причин. В процессе планирования занятий приходится производить тщательный отбор материала, исключая второстепенные и малозначимые вопросы. Этот процесс особенно обостряется при жестких временных ограничениях – малом количестве аудиторных часов, выделяемых на изучение предмета. Тем не менее при сокращении лекционных занятий по физике непозволительно жертвовать основной содержательной стороной дисциплины, опускать темы и разделы, важные в прикладном или концептуальном плане, такие как «Теория относительности». Автор описывает два варианта расположения раздела внутри курса в соответствии с требуемым уровнем преподавания физики. При первом подходе теория относительности рассматривается как часть современной механики и излагается в первом семестре на 1-м курсе, возможно – сразу после кинематики. При втором релятивистская физика подается как результат дедуктивного осмысления, как обобщающая теория, объясняющая единство мира и объективное существование физических законов; в этом случае предлагать вниманию студентов положения и идеи теории относительности лучше после освоения оптики, непосредственно перед изучением атомной физики.

Результаты и научная новизна. Обоснована потребность включения релятивистской теории в число разделов общей физики. Приведен перечень подлежащих рассмотрению вопросов для минимального, базового и расши-

ренного уровня освоения материала, которые определяют место и глубину преподавания теории относительности будущим специалистам технического профиля.

Автор излагает и обобщает результаты собственного многолетнего педагогического опыта, итоги которого представлены в оригинальной форме, в виде удобных для использования схем и таблиц.

Практическая значимость. Авторские разработки будут полезны для широкого круга преподавателей физики, ведущих лекторов и методистов, занятых планированием курсов и разработкой концепций преподавания физики в вузах.

Ключевые слова: методика преподавания, курс общей физики, теория относительности.

Kolgatin Sergey N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Physics Chair, Dean of the Fundamental Education Department. St. Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg (RF).

E-mail: kolgatin@spbgtu.ru

IS IT NECESSARY TO TEACH THE THEORY OF RELATIVITY IN GENERAL PHYSICS COURSE

Abstract. *The aim* of the present investigation is to discuss and study the general structure of the course of Physics at the high school in an extended sense. In a narrower sense, the author wonders about the necessity for inclusion of the section «Theory of Relativity» in the General Physics course, and discusses the possible site of this issue in the order of presentation.

Methods. A method for designing Physics course in modern conditions requires certain sophistication from a lecturer. This is due to the strong reduction of Physics course occurred in recent years, and due to a number of objective and subjective reasons. Planning the course structure, one has to make the selection of most significant questions sacrificing minor and less significant issues. This process is particularly exacerbated by severe restrictions on the time allowed for the subject. It is necessary to re-examine the content of the course due to the recent reduction in lecture hours on Physics. In this case, it would be undesirable to neglect the substantial parts of the subject content which are important conceptually or in its applications, e.g. the Relativity Theory. The author discusses two ways of disposition of the relevant material in the course structure, and correlates them with the required level of Physics teaching. In the first approach the Relativity Theory course is considered as a part of Modern Mechanics and is placed in the first semester immediately following Kinematics. In the second approach, Relativistic Physics is presented as a result of deduction, as a generalized theory explaining the unity of the world and the objective existence of physical

laws; in this case, the section is better to locate after Optics, immediately before Atomic Physics.

Results. As a result of consideration, the author proves the conclusion that the inclusion of the Relativistic Theory course in a number of sections of General Physics is necessary. The author offers a list of questions for each of the anticipated levels of development of the subject and associates the place and depth of teaching relativism with these levels.

Scientific novelty. Based on long-term teaching experience, the author summarizes and presents own research findings and results. The results of the investigation are presented in its original form, suitable for use as charts and tables.

Practical significance. The author hopes that his results will be useful for a wide range of Physics teachers, mostly for the leading lecturers and trainers admitted to planning lectures and to the development of concepts in Physics teaching in higher education.

Key words: methods of teaching, General Physics, the Theory of Relativity.

Введение

В последнее время вузовский курс общей физики все больше и больше сокращается, что частично связано с гипертрофированным стремлением заменить традиционное преподавание самостоятельной работой студентов, частично – с переходом на двухуровневую систему подготовки, от которой в наибольшей степени пострадали общие кафедры. В этих условиях возникает вопрос о возможных вынужденных исключениях из курса определенных разделов. Теория относительности обычно является «кандидатом номер один», так как она сравнительно редко применяется в практике общетехнических специалистов, плохо воспринимается студентами [10, 11, 14,], экзотична [13], в некоторой степени дискуссионна, что, впрочем, чаще всего происходит от ее безграмотной интерпретации. В данной публикации мы пытаемся обосновать необходимость изучения, по крайней мере, специальной теории относительности в курсе общей физики и логически выстроить схему подачи материала – программу-минимум для общетехнических специальностей и программу-максимум для будущих физиков-профессионалов. Глубина проработки материала теории относительности, на наш взгляд, должна быть жестко увязана с потребностями будущих специалистов, которые наилучшим образом могут быть охарактеризованы через так называемые «уровни изучения» и соответствующие им трудоемкости.

Преподавать или не преподавать

Напомним о первоначальном предназначении курса общей физики в вузах, о котором часто (возможно, непреднамеренно) забывают состав-

вители учебных планов. Чтение данного курса для технических специальностей всегда преследовало две взаимосвязанных и неразрывных цели: 1) формирование у студентов физического мировоззрения, т. е. целостной системы взглядов на природу; 2) создание необходимой базы (фундамента) для изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин. При разработке учебных планов и программ наблюдается тенденция к абсолютизации второй цели в ущерб первой. Нередко выпускающие кафедры пытаются сохранить в программе общей физики лишь вопросы, непосредственно относящиеся к специфике специальности. К примеру, подготовку будущих электриков стремятся ограничивать преподаванием только электродинамики, теплотехников – термодинамики. Совсем дикий случай, известный нам из практики, это выделение на общую физику одного первого семестра с требованием прочитать в нем исключительно зонную теорию. Между тем, например, электродинамика в отрыве от остальных разделов и вне общезначимого контекста будет восприниматься студентами, скорее всего, как набор каббалистических формул, а не естественное продолжение экспериментальных законов Кулона, Ампера и т. д. Широта охвата материала и правильный материалистический взгляд на окружающий мир особенно необходимы для специалистов, именуемых у нас бакалаврами, поскольку им еще предстоит доучиваться в области знаний, пока плохо известной. Стоит напомнить о стремительных технологических скачках, после которых вся материальная база какой-нибудь области полностью меняется, и продолжение деятельности специалиста в избранной сфере будет зависеть прежде всего от фундаментальности его подготовки, т. е. от умения быстро перестраиваться с одной технологии на другую.

Мировоззренческий аспект обучения важен по многим причинам. Человек со сложившимся физическим мировоззрением плохо поддается манипуляциям со стороны сомнительных изобретателей, не склонен пускаться в авантюры, связанные с созданием очередного варианта вечного двигателя и т. п. Дипломированный выпускник высшей школы, безусловно, должен обладать определенным культурным уровнем, составной частью которого являются научные представления о природных явлениях. Эти представления предполагают понимание единства окружающего мира в смысле применимости одинаковых физических законов к разнородным и разномасштабным явлениям. Больше того, современному человеку необходима твердая уверенность в объективном существовании физических законов, в невозможности их субъективного изменения. И здесь теория относительности (ТО) оказывается полезной, как никакая другая.

Еще один из аргументов в пользу включения ТО в программу общей физики – это ее гносеологический смысл. Дело в том, что почти для всех дисциплин технического цикла можно, с той или другой степенью уве-

ренности, выделить два подхода к их изучению, или, в более широком смысле, к их методу исследования. Это так называемые индуктивный и дедуктивный подходы. При первом из них изложение материала (или построение теории) происходит от частных фактов (преимущественно – экспериментальных) к общим. Примером может служить традиционная схема изучения электромагнетизма: закон Кулона – теорема Гаусса – закон Ампера – уравнения Максвелла. Второй подход, т. е. дедукция, в чистом виде предполагает постулирование (на основе понимания) общего положения, а затем выведение из этого постулата частных закономерностей. В электродинамике можно начать, например, с постулирования уравнений Максвелла, а затем, выбрасывая нестационарные или слабо влияющие слагаемые, «спуститься» к частным законам Кулона, Ампера и т. д.¹ Чисто логически, умозрительно частные законы в случае правильно угаданного постулата даже не нуждаются в опытной проверке, они заведомо должны быть верными (если верен постулат). В науке дедуктивный и индуктивный подходы настолько сильно переплетаются, что их часто трудно разделить. В педагогической практике дедуктивный подход плохо воспринимается студентами по очевидной причине: постулаты обычно возникают в результате обобщения многочисленных опытных данных, доступных теоретику, но не студенту. Специальная теория относительности (СТО) представляет счастливое исключение, поскольку ее главный постулат – принцип относительности – требует минимальных сведений из школьного курса (принцип относительности Галилея) и вполне логичного умозаключения о возможности экстраполировать одинаковость законов механики в инерциальных системах отсчета на все остальные законы физики. Таким образом, на примере СТО легко удастся продемонстрировать особенности дедуктивного метода исследования.

Приведенные выше соображения свидетельствуют в пользу включения сведений по теории относительности в курс общей физики.

Когда и как читать теорию относительности

Наиболее распространены две схемы включения ТО в курс физики. Во-первых, ее можно читать в 1-м семестре новоиспеченным студентам как часть механики [1–3, 5, 12]. При очень ограниченном времени на лекции это допустимо. В этом случае ТО подается в качестве индуктивной теории, вызванной к жизни некоторыми необъяснимыми с классических позиций экспериментальными фактами: движением частиц с околосветовыми скоростями (например, опыт Бертоцци) или движением све-

¹ В термодинамике дедуктивный подход состоит во введении фазового пространства, распределения Гиббса, энтропии, температуры и давления как ее производных и в записи термодинамического тождества, которое здесь заменяет обобщающее опытные факты первое начало термодинамики.

та в разных направлениях (эксперимент Майкельсона – Морли, опыт Саде и т. п.) [4, 9]. Возможную логику подачи материала в соответствии с такой схемой иллюстрирует рис. 1.

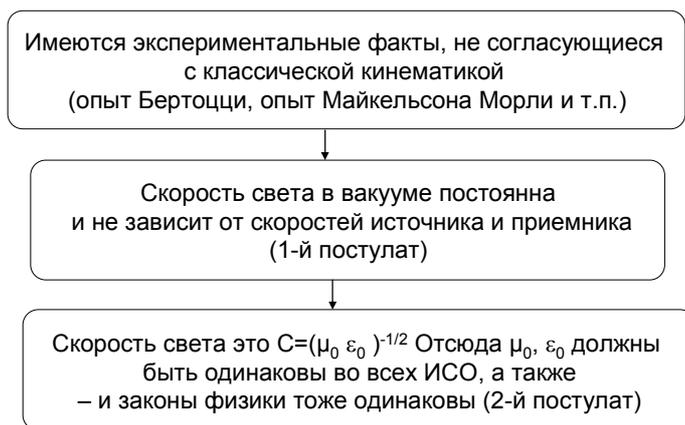


Рис. 1. Возможная схема введения постулатов теории относительности при включении ее в материал первого семестра

Плюсом такой схемы можно назвать разве что легкую сопрягаемость с преобразованиями Галилея. Минусы более очевидны. Это и отказ от дедуктивной подачи ТО, что вносит некоторую сумятицу в умы студентов, поскольку все экспериментальные проверки производятся с применением оптических эффектов (интерференции, эффекта Доплера), а до оптики остается еще целый год. Это и невозможность объяснить инвариантность уравнений электромагнитного поля по отношению к преобразованиям Лоренца, так как уравнения Максвелла еще не пройдены; и неясность концепции мирового эфира без изучения электромагнитных волн. Наконец, это полная неготовность студентов на 1-м курсе воспринять четырехмерный векторный формализм релятивистской динамики или тензорные формулы общей теории относительности (если до нее дойдет дело).

Другая схема расположения разделов теории относительности – после волновой оптики [7, 8, 15]. В этом случае она следует за обсуждением оптического эффекта Доплера, который, при рассмотрении с классической точки зрения, приводит к концепции светоносного эфира. Неудача с его обнаружением в опыте Майкельсона – Морли вместе с интерпретацией опыта Физо заставляет, вслед за Эйнштейном, пересмотреть основы классической физики, в первую очередь – распространить принцип относительности с механики на всю физику. После естественного уточнения понятий близко- и дальнего действия, с принятием первого как экспериментально подтвержденного факта, постоянство скорости света теряет свою мистическую природу и становится необходимым следствием первого по-

стулата относительности и переноса информации о взаимодействиях сигналами, т. е. близкодействия. Логическая схема второго подхода представлена на рис. 2.

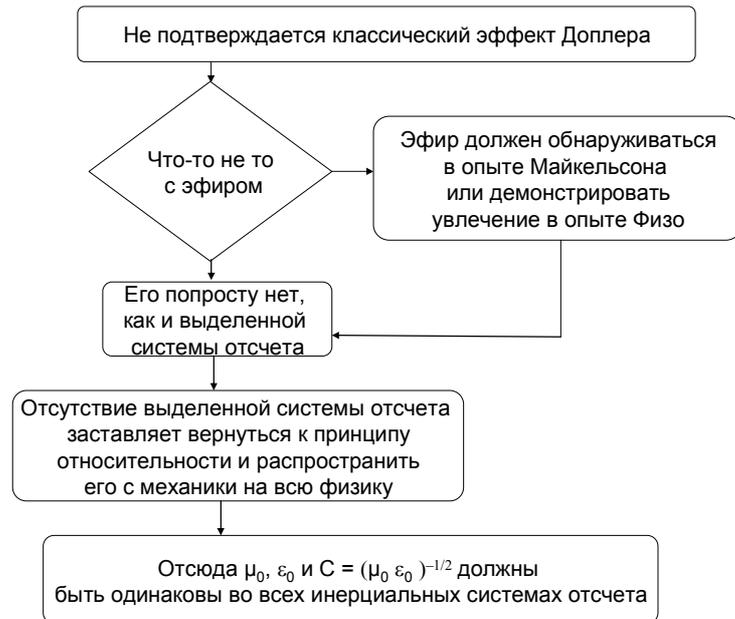


Рис. 2. Возможная логическая схема «позднего» введения постулатов теории относительности

Что и зачем читать в разделе «Теория относительности»

Воспользуемся классификацией детальности изучения, рекомендуемой Всероссийским научно-методическим советом по физике [6]. Данная классификация предполагает дифференциацию преподавания общей физики по трем уровням: минимальный (МУ, 8–10 зачетных единиц), базовый (БУ, 10–14 единиц) и расширенный (РУ, 14–20). В зависимости от уровня, по-видимому, должна изменяться как цель, так и глубина подачи материала. Общий перечень разделов и их примерное наполнение приведены в таблице.

Если использовать самостоятельную работу студентов в максимальном объеме, то чтение ТО для МУ занимает одну лекцию, для БУ – три лекции, для РУ – примерно пять лекций. Педагогические цели преподавания ТО существенно разнятся для трех рассматриваемых уровней. Для минимального уровня – это формирование первоначальных знаний о современной области физики, создание минимального задела для понимания

современной ядерной энергетики. На втором и частично на третьем уровнях это демонстрация познаваемости природы на основе дедуктивного подхода, создание базы знаний для изучения электромагнитных, ядерных и гравитационных явлений. На третьем, расширенном уровне добавляется овладение современным математическим аппаратом физики, формирование понимания природы физических законов, научных взглядов на происхождение и эволюцию Вселенной.

Примерное содержание раздела по теории относительности

		МУ	БУ	РУ
1	2	3	4	5
Специальная теория относительности	Предпосылки теории относительности	Опытные факты, приводящие в противоречие с классическими представлениями (опыты Саде, Бертоцци и т. п.)	Сведения о фундаментальных постулатах, составляющих основу нерелятивистской физики. Концепция «светоносного эфира» как выделенной системы отсчета и попытки его обнаружения (опыты Майкельсона – Морли и Физо)	
	Постулаты Эйнштейна	Постулаты Эйнштейна		
	Преобразования Лоренца и эффекты теории относительности	Относительность одновременности, замедление времени и сокращение длины. Преобразования Лоренца		
	Преобразование скоростей	-	Преобразование для скоростей. Объяснение опыта Физо и оптического эффекта Доплера	
	Метрический тензор	-		Пространство Минковского и метрический тензор
	Релятивистская динамика	Краткая информация о релятивистских импульсе и энергии	Релятивистские импульс и энергия. Энергетический инвариант (закон сохранения энергии – импульса)	4 ^x -векторы. Лоренц – ковариантность. 4 ^x -импульс и закон сохранения энергии – импульса в ТО. Другие 4 ^x -векторы
	Экспериментальные подтверждения СТО	Различные эксперименты, подтверждающие СТО		

1	2	3	4	5
Общая теория относительности	Принцип эквивалентности	–	–	Тензорная запись законов физики. Слабый принцип эквивалентности. Практическая реализация ИСО
	Уравнения Эйнштейна	–	–	Гравитация и геометрия. Уравнения Эйнштейна
	Экспериментальные подтверждения ОТО	–	–	Краткие сведения о космологии. Опытные подтверждения ОТО

Заключение

Мы являемся безусловными сторонниками включения элементов теории относительности в общий курс физики. Такое включение возможно несколькими способами и в разных объемах, что зависит от требуемого уровня изучения физики. В любом из вариантов изучаемый материал данного раздела будет иметь утилитарную ценность, связанную с приобретением студентами необходимых в дальнейшем знаний. Однако наиболее ценными являются методологический и мировоззренческий аспекты знакомства с ТО. С позиций методологии СТО, общая ТО – замечательный пример дедукции как метода научного познания. С мировоззренческой точки зрения СТО провозглашает единство и познаваемость мира в смысле тождественности объективных физических законов в любых (инерциальных) системах отсчета. В продолжение специальной общая ТО утверждает объективное существование физических законов, которые, будучи одинаковыми во всех инерциальных системах отсчета, принципиально реализуемых в любом месте пространства, трансформируются в произвольную систему отсчета по известным правилам.

*Статья рекомендована к публикации
д-ром физ.-мат. наук, проф., зам. председателя
Научно-методического совета по физике
Минобрнауки России В. К. Ивановым*

Литература

1. Алешкевич В. А. О преподавании теории относительности на основе современных экспериментальных данных // *Успехи физических наук*. 2012. Т. 182. № 12. С. 1301–1318.
2. Бом Д. Специальная теория относительности. Москва: Мир, 1967. 287 с.
3. Иродов И. Е. Основные законы механики. Москва: Бином, Лаборатория знаний, 2009. 312 с.
4. Ландсберг Г. С. Элементарный учебник физики. Москва: Физматлит, 2010, 612 с.
5. Матвеев А. Н. Механика и теория относительности. Москва: ОНИКС, 2003. 432 с.
6. Примерная программа дисциплины «Физика» для ФГОС 3-го поколения // *Бюллетень Научно-методического совета по физике*. 2012. № 4. С. 27–59.
7. Савельев И. В. Курс общей физики. Кн. 4. Волны. Москва: АСТ; Астрель, 2008. 256 с.
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. IV, Оптика. Москва: Физматлит, 2005. 792 с.
9. Яшина Г. А. Преподавание спецкурса по теории относительности в основной школе // *Физика в школе*. 1998. № 2. С. 49–51.
10. Adams W. K., Perkins K. K., Podolefsky N. S., Dubson M., Finkelstein N. D. and Wieman C. E. New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics // *The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. 2006. № 2 (010101). P. 1–14.
11. Kyriaki D., Krystallia H. Secondary Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity // *International Journal of Science Education Nov*. 2012. Vol. 34 (16). P. 2565–2582.
12. Pohlig M., Strauch H. M. A new Way of Teaching the Special Theory of Relativity. Available at: http://www.academia.edu/10252469/A_New_Way_of_Teaching_the_Special_Theory_of_Relativity.
13. Scherr R. E., Shaffer P. S. and Vokos S. Student understanding of time in Special Relativity: Simultaneity and reference frames // *The American Journal of Physics*. 2001. № 69. P. 24–35.
14. Yildiz A. Prospective Teachers' Comprehension Levels of Special Relativity Theory and the Effect of Writing for Learning on Achievement // *Australian Journal of Teacher Education*. 2012. Vol. 37. № 12. P. 15–28.
15. Zhang J. Why and how to teach the Special Theory of Relativity in an Electrodynamics course // *The China Papers*, July 2005. Vol. 15, № 13. Available at: http://science.uniserve.edu.au/pubs/china/vol5/CP5_phys_04.pdf.

References

1. Aleshkevich V. A. O prepodavanii teorii otnositel'nosti na osnove sovremennyh jeksperimental'nyh dannyh. [Concerning the teaching of the theory of relativity on the basis of modern-variables of the experimental data]. *Uspehi fizicheskikh nauk. [Success in Physics]*. 2012. Vol. 182, № 12. P. 1301–1318. (In Russian)

2. Bom D. Special'naja teorija odnositel'nosti. [Special Theory of Relativity]. Moscow: Publishing House Mir, 1967. 287 p. (In Russian)
3. Irodov I. E. Osnovnye zakony mehaniki. [Basic Laws of Mechanics]. Moscow: Publishing House Binom, Laboratorija znaniy. [Laboratory of knowledges]. 2009. 312 p. (In Russian)
4. Landsberg G. S. Jelementarnyj uchebnik fiziki. [Elementary Physics Textbook]. Vol. 3. Moscow: Publishing House Fizmatlit, 2010. 612 p. (In Russian)
5. Matveev A. N. Mehanika i teorija odnositel'nosti. [Mechanics and the Theory of Relativity]. Moscow: Publishing House Onyx, 2003. 432 p. (In Russian)
6. Primernaja programma discipliny «Fizika» dlja FGOS 3-go pokolenija. [Syllabus of the Course «Physics» for Federal State Standards of the third generation]. *Bjulleten' Nauchno-metodicheskogo soveta po fizike. [Bulletin of the Scientific and Methodological Council on Physics]*. 2012. № 4. P. 27–59. (In Russian)
7. Savelyev I. V. Kurs obshej fiziki. [Course of General Physics]. Kniga 4. Volny. [Book 4. Waves]. Moscow: Publishing House AST, Astrel, 2008. 256 p. (In Russian).
8. Sivukhin D. V. Obshhij kurs fiziki. [General Course of Physics]. Tom IV. Optika. [Vol. IV. Optics]. Moscow: Publishing House Fizmatlit, 2005. 792 p. (In Russian)
9. Yashina G. A. Prepodavanie speckursa po teorii odnositel'nosti v osnovnoj shkole. [Teaching a special course on the Theory of Relativity in secondary school]. *Fizika v shkole. [Physics in school]*. 1998. № 2. P. 49–51. (In Russian)
10. Adams W. K., Perkins K. K., Podolefsky N. S., Dubson M., Finkelstein N. D. and Wieman, C. E. New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. № 2(010101). 2006. P. 1–14. (Translated from English)
11. Kyriaki D., Krystallia H. Secondary Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity. *International Journal of Science Education Nov*. 2012. Vol. 34 (16). P. 2565–2582. (Translated from English)
12. Pohlig M., Strauch H. M. A new Way of Teaching the Special Theory of Relativity. Available at: http://www.academia.edu/10252469/A_New_Way_of_Teaching_the_Special_Theory_of_Relativity. (Translated from English)
13. Scherr R. E., Shaffer P. S. and Vokos S. Student understanding of time in Special Relativity: Simultaneity and reference frames. *The American Journal of Physics*. 2001. № 69. P. 24–35. (Translated from English)
14. Yildiz A. Prospective Teachers' Comprehension Levels of Special Relativity Theory and the Effect of Writing for Learning on Achievement. *Australian Journal of Teacher Education*. 2012. Vol. 37, № 12. P. 15–28. (Translated from English)
15. Zhang J. Why and how to teach the Special Theory of Relativity in an Electrodynamics course. *The China Papers*. July 2005. Vol. 15. № 13. Available at: http://science.uniserve.edu.au/pubs/china/vol15/CP5_phys_04.pdf. (Translated from English)