

УДК 37

DOI:10.34670/AR.2020.23.13.023

Педагогические аспекты расширения представлений классической физики на примере реализации идей П. Дирака

Раджабов Тоир Махсудович

Отдел физики,
Научно-исследовательский институт,
Таджикский национальный университет,
734025, Республика Таджикистан, Душанбе, просп. Рудаки, 17;
e-mail: buny_r@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрен вариант реализации идей П. Дирака относительно ограниченности количества фарадеевских силовых линий и учета конечности размеров микрочастиц в физической теории. Показано, что в рамках классического подхода учет ограниченности количества фарадеевских силовых линий открывает дополнительные возможности в описании и характеристике физического поля и связанных с ним явлений. Появляется возможность простым способом получать выражение для описания дискретного излучения атома, которое полностью согласуется с эмпирическим соотношением Бальмера. Высказано предположение о возможности реального материального существования фарадеевских силовых линий как структурных элементов физического поля, а также о возможности рассмотрения собственных полей физических тел как множества материально существующих силовых линий в качестве светонесущего эфира. Предложения П. Дирака вносят важное изменение в философском понимании физической картины. Рассмотрение физических явлений из плоскости только непрерывного и бесконечного переносится на плоскость, где имеется и конечное, и дискретное. В философском понимании непрерывность и бесконечность, как правило, оставляют задачи без решения. Учет конечности количества силовых линий приводит к выводу о том, что данный элемент взаимодействия может взаимодействовать только с конечным числом объектов, а не с бесконечным их числом.

Для цитирования в научных исследованиях

Раджабов Т.М. Педагогические аспекты расширения представлений классической физики на примере реализации идей П. Дирака. Педагогический журнал. 2020. Т. 10. № 5А. С. 238-247. DOI:10.34670/AR.2020.23.13.023

Ключевые слова

Силовые линии, электромагнитное поле, дискретные явления, стационарные электронные орбиты.

Введение

Силовые линии, введенные Майклом Фарадеем, сыграли решающую роль в формировании и развитии физических представлений относительно электромагнитных полей [Sandulyak et al., 2019; Obukhov, Silenko, Teryaev, 2018]. В историческом плане каждое обращение к силовым линиям как к инструменту для описания электромагнитного поля приводило к новым фундаментальным результатам. Если первоначально они использовались как качественный инструмент в описании индукционных явлений, то в дальнейшем они были положены в основу создания электромагнитной теории Дж. Максвелла [Tran, 2018; Hsieh, Tachikawa, Yonekura, 2019; Kulyabov et al., 2018; Kulyabov et al., 2017].

Однако интерес к роли фарадеевских силовых линий не исчерпывается только рамками классической физики. Очередное обращение к фарадеевским силовым линиям как к инструменту, способному обеспечить дальнейшее развитие физической теории, сделано со стороны П. Дирака. В обзорной статье «The Evolution of the Physicist's Picture of Nature» П. Дирак изложил ряд мнений, в которых отметил некоторые обстоятельства, учет которых способствовал бы дальнейшему развитию физической теории [Dirac, 1963]. Эти обстоятельства, по его мнению, следующие: возврат к аналогу классического эфира; учет реальных размеров микрочастиц; использование фарадеевских силовых линий при конечности их количества.

П. Дирак предлагает отнести к силовым линиям еще более конкретную количественную функциональность, а именно: для описания физического поля количество силовых линий в нем сделать дополнительным аргументом, устанавливая для них ограниченность в количестве [Logunov, Davydov, Vysoczky, Mazing, 2018]. По сути, предлагается положение, согласно которому поле элементарного заряда должно характеризоваться n фиксированным числом силовых линий. Предложение П. Дирака является качественно новым не только для современной физики, но и для классического подхода [Teber, Kotikov, 2018; Santos, Gomes, 2019].

Материалы и методы исследования

Рассмотрим способ реализации предложения П. Дирака и то, к каким результатам оно может привести. При физической картине, когда количество силовых линий рассматривается конечным, важными обстоятельствами становятся два фактора [Krishtopenko, 2019].

Первый фактор заключается в следующем: точки пространства вокруг одиночного заряда будут отличаться тем, что через одни могут проходить силовые линии заряда, а через другие – нет. В этом случае на данный фиксированный момент не везде вокруг заряда можно будет нарисовать силовые линии [Frigura-Piiasa et al., 2018; Fedosin, 2019]. Будут пустые от силовых линий точки пространства и точки, через которые они проходят. Предположим, что физическая особенность этой картины заключается в том, что наличием или отсутствием силовых линий в точках пространства определяются свойства поля. Допустим, что влияние поля имеется только в тех точках пространства, где проходят силовые линии, а где они не проходят влияния, поля нет. Второй фактор – это пересечение силовых линий с физическим объектом [Logunov et al., 2017; Maslov, 2018]. Физика этого фактора может заключаться в том, что физическое взаимодействие существует только с теми объектами, с которыми имеется пересечение силовых линий (рис. 1).

Рассмотрим случай, где в поле одного элементарного заряда находится другой. Следует

отметить, что мы получим разные результаты в зависимости от того, в каком виде примем взаимодействующие заряды. Если мы их примем в виде материальных точек, без учета их пространственных размеров, то получим результат, согласно которому может иметь место максимум одно пересечение силовых линий заряда с другим зарядом, независимо от расстояния между ними. Но если мы их примем с их конечным пространственным размером, тогда получим другой результат: может иметь место пересечение нескольких силовых линий первого заряда со вторым зарядом в зависимости от расстояния между ними (рис. 2).

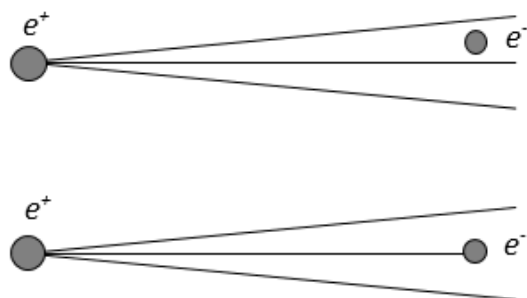


Рисунок 1 - Пространственное расположение силовых линий вокруг заряда и возможность их пересечения со вторым зарядом при ограниченности количества силовых линий

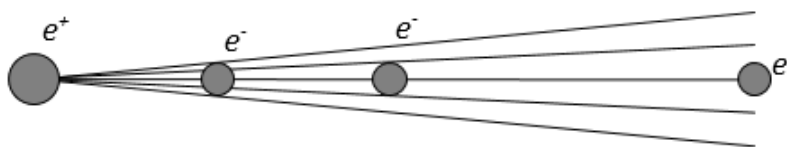


Рисунок 2 - Пространственное расположение силовых линий вокруг заряда и их пересечение со вторым зарядом на разных близких расстояниях при ограниченности количества силовых линий

Для полноценного рассмотрения учтем тот факт, что элементарные заряды обладают конечным пространственным размером. Особенность случая нахождения зарядов на близких расстояниях заключается в том, что при изменении расстояния между ними количество силовых линий, пересекающих второй заряд, меняется с определенной закономерностью. Только на определенных дискретных расстояниях меняется количество пересекающих второй заряд силовых линий.

При учете размеров частиц важным аргументом становится их площадь поперечного сечения. Визуальное существование одного заряда по отношению к другому определяется телесным углом:

$$\Omega = \frac{S}{r^2}, \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения заряда;

r – расстояние между зарядами.

На рис. 3 схематически показаны дискретные расстояния взаимного расположения элементарного атомного ядра и электрона, при которых площадью поперечного сечения электрона охватывается целая серия расположенных по кругу силовых линий, исходящих из ядра. С правой стороны на рисунке схематически показано количество силовых линий, охватываемых эффективной площадью поперечного сечения электрона в случаях его нахождения на расстояниях r_0, r_1, r_2 соответственно. Предположим, что расстояние r_0 является ближайшей орбитой, на которой может находиться электрон по отношению к ядру. На этом расстоянии электрон своим размером охватывает больше силовых линий, которые его пересекают.

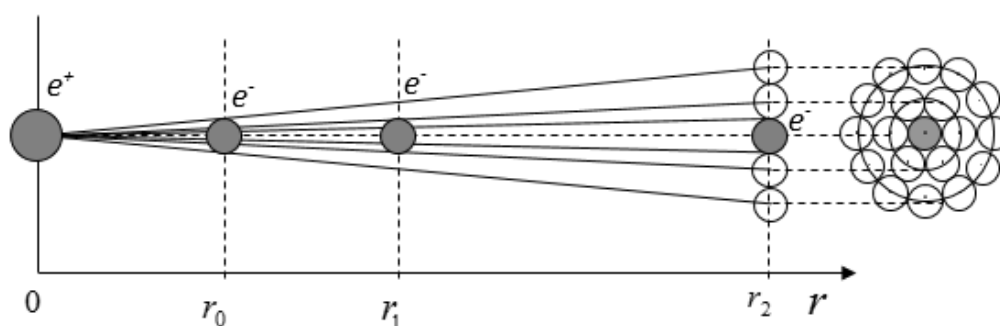


Рисунок 3 - Схема пространственного расположения серии силовых линий атомного ядра и их пересечение с электроном на дискретных расстояниях

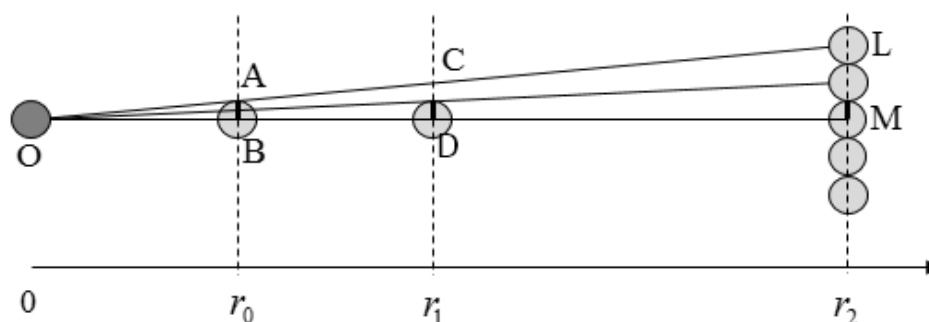


Рисунок 4 - Определение зависимости положения дискретных стационарных орбит электрона от положения главной его стационарной орбиты

Результаты исследования и их обсуждение

При удалении на расстоянии r_1 электрон своим размером охватывает по кругу серию с меньшим числом силовых линий, а на расстоянии r_2 серию с еще меньшим числом силовых линий. Можно определить аналитическую зависимость между дискретными расстояниями r_n , на которых может находиться электрон, основной орбитой r_0 и порядковым номером расположения их орбит n .

Из подобия треугольников OAB, OCD, OLM на рис. 4 можно написать следующую формулу:

$$\frac{AB}{OB} = \frac{CD}{r_1} = \frac{LM}{r_2}, \quad (2)$$

или, учитывая, что $AB = R$, $CD = 2R$ и $LM = 4R$, где R – радиус электрона, можем написать формулу:

$$\frac{R}{r_0} = \frac{2R}{r_1} = \frac{4R}{r_2} = \frac{2nR}{r_n}, \quad (3)$$

Из (3) можно написать формулу 4:

$$r_n = 2r_0 n \quad (4)$$

Формула (4) описывает закономерность расположения так называемых стационарных электронных орбит в атоме, когда ближайшая стационарная орбита электрона находится на расстоянии r_0 .

Поставляя (4) в выражение для закона Кулона, получим формулу 5:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{e^2}{r_0^2 n^2}. \quad (5)$$

Из (5) видно, что сила взаимодействия между двумя зарядами меняется дискретным образом и дискретность представляет собой следствие учета конечного размера частиц в микромире.

Элементарная система излучения представляет собой атом, состоящий из ядра и электрона, находящихся друг от друга на расстоянии r (рис. 3). Предположим, что под действием внешних сил электрон из положения r_1 перемещается в положение r_2 . Изменение потока силовых линий, идущих из ядра, пропорционально разности телесных углов, составляющих площадью поперечного сечения электрона по отношению к ядру $\Omega_2 - \Omega_1$, соответственно в двух положениях.

Энергия взаимодействия в атоме меняется при изменении взаимного расположения ядра и электрона, так как при этом меняется количество силовых линий, идущих к ним. Определим закономерность, согласно которой происходит это изменение. Пусть при расположении электрона на n -ой орбите пространственным его присутствием по отношению к ядру является телесный угол:

$$\Omega_n = \frac{S}{r_n^2}, \quad (6)$$

а на m -ой орбите – телесный угол:

$$\Omega_m = \frac{S}{r_m^2}, \quad (7)$$

где S – площадь поперечного сечения электрона.

Изменение энергии взаимодействия при переходе электрона из орбиты m на орбиту n

пропорционально разности телесных углов:

$$\Delta E = k\Delta\Omega = k(\Omega_m - \Omega_n), \quad (8)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Используя выражение (4) и выражение для разности телесных углов $\Omega_m - \Omega_n$, получим:

$$\Delta E = \frac{kS}{4r_0^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (9)$$

Выражение (9) в точности эквивалентно эмпирической формуле Бальмера для частоты излучаемой волны при переходе электрона из m -ой орбиты на n -ой:

$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (10)$$

Постоянную Ридберга можно написать в виде следующей формулы:

$$R = \frac{kS}{4r_0^2}. \quad (11)$$

Таким образом, при учете конечности силовых линий и размеров микрочастиц можно получать результаты, которые хорошо согласуются с данными опыта. Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на фарадеевские силовые линии как на инструмент для описания физического поля. При учете предложений П. Дирака фарадеевские силовые линии становятся более функциональными.

Из полученного результата можно сделать два важных заключения:

1. Инструментами классического подхода можно описать дискретные свойства микромира, можно получать формулу Бальмера.

2. Если полученный результат не является случайным, то его можно рассматривать как еще один довод в пользу реальности существования силовых линий. Следует отметить, что в представлениях Фарадея и Максвелла силовые линии не были абстракцией, а были реально существующими субстанциями.

Реальное существование силовых линий может внести серьезные изменения в представления относительно материальной структуры физических полей. Обычно собственные поля физических объектов представляются в облакообразной форме (рис. 5а), интенсивность которых с расстоянием уменьшается по закону $\frac{1}{r^2}$. В случае реального существования фарадеевских силовых линий физическое поле элементарного заряда может быть представлено как множество конечных линий в виде струн, тянущихся из него в бесконечность. Их удельная плотность также меняется по этому закону (Рис. 5б). Особенность картины во втором случае заключается в том, что структура поля принимает как непрерывное, так и дискретное очертание: вдоль силовых линий поле будет непрерывным, а в поперечном, тангенциальном направлении структура становится дискретной.

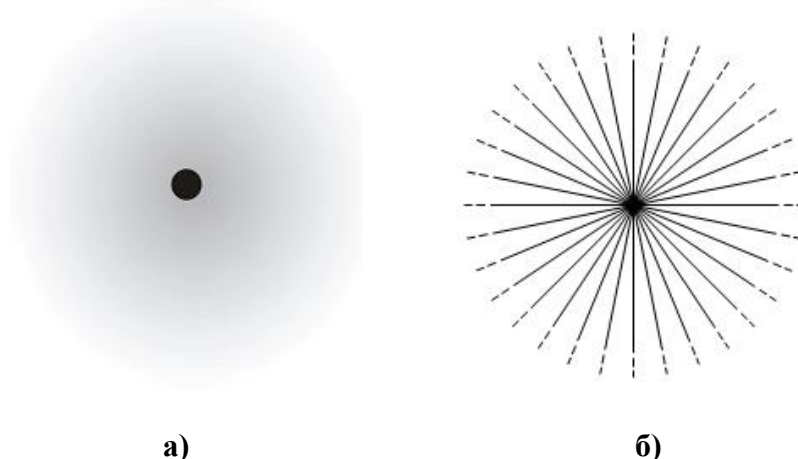


Рисунок 5 - а) облакообразная схема собственного поля физических систем и объектов; б) схема собственного поля физического тела как конечное число силовых линий

В этом случае физические поля могли бы приобретать новые качества – рассматриваться в качестве среды распространения волн и возмущений вдоль струн, которые могут тянуться до удаленных источников. Это дает возможность рассмотрения собственных полей физических объектов в качестве светоносного эфира. В действительности в данном случае собственные поля физических объектов как множество исходящих из физического тела струн могут отвечать требованиям, которым должен удовлетворять светоносный эфир: эфир – материальная субстанция; эфир – увлекаемая среда, так как собственное поле органически связано с телом и при движении тела двигается вместе с ним; эфир – среда, которая способна связать физическое тело с удаленным источником света. Волна из удаленного источника распространяется посредством натянутых струн, в качестве которых выступают силовые линии.

Допущение материального существования фарадеевских силовых линий способствует созданию наглядной картины и тем самым способствует развитию третьей ветви физической науки – физического представления, которая, в отличие от двух других ее ветвей – физического эксперимента и математического описания, находится на мертвой точке развития со времен формирования первых физических представлений.

Предложения П. Дирака вносят важное изменение в философском понимании физической картины. Рассмотрение физических явлений из плоскости только непрерывного и бесконечного переносится на плоскость, где имеется и конечное, и дискретное. В философском понимании непрерывность и бесконечность, как правило, оставляют задачи без решения. Учет конечности количества силовых линий приведет к выводу о том, что данный элемент взаимодействия может взаимодействовать только с конечным числом объектов, а не с бесконечным их числом.

Заключение

На основании проведенного исследования можно прийти к следующим выводам:

- 1) Учет конечности числа фарадеевских силовых линий позволяет получать теоретические результаты, которые хорошо согласуются с данными эксперимента и которые ранее были получены только на основе постулирования положений (постулаты Бора). При учете конечности числа силовых линий они, как инструмент описания физического поля, открывают дополнительные возможности.

- 2) Учет конечности числа фарадеевских силовых линий и конечности размеров микрочастиц на примере электрона позволяет получать выражение для описания дискретных свойств атома в рамках классического подхода – экспериментальную формулу Бальмера без постулирования дополнительных положений.
- 3) Учет конечности силовых линий позволяет взглянуть на силовые линии не только как на инструмент для описания физического поля, но и как на материально существующую субстанцию в качестве структурного элемента физического поля. Такая среда могла сыграть роль светоносного эфира.

Библиография

1. Dirac P.A. The Evolution of the Physicist's Picture of Nature // *Scientific American*. 1963. Vol. 208. No. 5. P. 45-53.
2. Fedosin S.G. On the covariant representation of integral equations of the electromagnetic field // *Progress in Electromagnetics Research*. 2019. No. 96. P. 109-122.
3. Frigura-Iliasa M. et al. Software Application and Algorithm Designed for Power Systems Equipment and Network Construction Optimization // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1141. No. 1.
4. Hsieh C.-T., Tachikawa Y., Yonekura K. Anomaly of the Electromagnetic Duality of Maxwell Theory // *Physical Review Letters*. 2019. Vol. 123. No. 16.
5. Krishtopenko S.S. et al. Massless Dirac fermions in III-V semiconductor quantum wells // *Physical Review*. 2019. Vol. 99. No. 12.
6. Kulyabov D.S. et al. Algorithm for lens calculations in the geometrized Maxwell theory // *Progress in Biomedical Optics and Imaging – Proceedings of SPIE*. 2018. No. 107(17).
7. Kulyabov D.S. et al. Geometrization of Maxwell's equations in the construction of optical devices // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2017. No. 103(37).
8. Logunov S.E. et al. Quantum analyzer of force lines structure at magnetic fields // *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 917. No. 5.
9. Logunov S.E., Davydov V.V., Vysoczky M.G., Mazing M.S. New method of researches of the magnetic fields force lines structure // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1038. No. 1.
10. Maslov V.P. New Formulas Related to Analytic Number Theory and Their Applications in Statistical Physics // *Theoretical and Mathematical Physics (Russian Federation)*. 2018. Vol. 196. No. 1. P. 1082-1087.
11. Obukhov Y.N., Silenko A.J., Teryaev O.V. Spin dynamics of fermion particles in gravitational and electromagnetic fields // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 938. No. 1.
12. Sandulyak A.V. et al. The approach to the creation and identification of the positioning zone of the sample in the Faraday magnetometer // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2019. No. 469. P. 665-673.
13. Santos R.C.B., Gomes P.R.S. Nonrelativistic limit of Dirac theory from effective field theory // *European Journal of Physics*. 2019. Vol. 40. No. 1.
14. Teber S., Kotikov A.V. Field theoretic renormalization study of reduced quantum electrodynamics and applications to the ultrarelativistic limit of Dirac liquids // *Physical Review*. 2018. Vol. 97. No. 7.
15. Tran M. Evidence for Maxwell's equations, fields, force laws and alternative theories of classical electrodynamics // *European Journal of Physics*. 2018. Vol. 39. No. 6.

Pedagogical aspects of expanding the concepts of classical physics on the example of the implementation of the ideas of P. Dirac

Toir M. Radzhabov

Department of physics,
Research Institute,
Tajik National University,
734025, 17 Rudaki av., Dushanbe, Republic of Tajikistan;
e-mail: buny_r@mail.ru

Abstract

The author considers a variant of the implementation of P. Dirac's ideas regarding the limited number of Faraday's lines of force and account of the finiteness of the size of microparticles in physical theory. It is shown that, within the framework of the classical approach, taking into account the limited number of Faraday's lines of force opens up additional possibilities in the description and characteristics of the physical field and related phenomena. It becomes possible in a simple way to obtain an expression for describing the discrete radiation of an atom, which is fully consistent with the empirical Balmer relation. An assumption is made about the possibility of real material existence of Faraday's lines of force as structural elements of the physical field, as well as the possibility of considering the own fields of physical bodies as a set of materially existing lines of force as a luminiferous ether. P. Dirac's proposals make an important change in the philosophical understanding of the physical picture. Consideration of physical phenomena from the plane of only continuous and infinite is carried over to the plane, where there is both finite and discrete. In a philosophical sense, continuity and infinity, as a rule, leave problems unresolved. Account of the finiteness of the number of lines of force leads to the conclusion that a given element of interaction can interact only with a finite number of objects, and not with an infinite number of them.

For citation

Radzhabov T.M. (2020) Pedagogical aspects of expanding the concepts of classical physics on the example of the implementation of the ideas of P. Dirac [Pedagogicheskie aspekty rasshireniya predstavlenii klassicheskoi fiziki na primere realizatsii idei P. Diraka]. *Pedagogicheskii zhurnal* [Pedagogical Journal], 10 (5A), pp. 238-247. DOI:10.34670/AR.2020.23.13.023

Keywords

Lines of force, electromagnetic field, discrete phenomena, stationary electronic orbits.

References

1. Dirac P.A. (1963) The Evolution of the Physicist's Picture of Nature. *Scientific American*, 208(5), pp. 45-53.
2. Fedosin S.G. (2019) On the covariant representation of integral equations of the electromagnetic field. *Progress in Electromagnetics Research*, 96, pp. 109-122.
3. Frigura-Iliasa M. et al. (2018) Software Application and Algorithm Designed for Power Systems Equipment and Network Construction Optimization. *Journal of Physics: Conference Series*, 1141(1).
4. Hsieh C.-T., Tachikawa Y., Yonekura K. (2019) Anomaly of the Electromagnetic Duality of Maxwell Theory. *Physical Review Letters*, 123(16).
5. Krishtopenko S.S. et al. (2019) Massless Dirac fermions in III-V semiconductor quantum wells. *Physical Review*, 99(12).
6. Kulyabov D.S. et al. (2018) Algorithm for lens calculations in the geometrized Maxwell theory. *Progress in Biomedical Optics and Imaging – Proceedings of SPIE*, 107(17).
7. Kulyabov D.S. et al. (2017) Geometrization of Maxwell's equations in the construction of optical devices. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 103(37).
8. Logunov S.E. et al. (2017) Quantum analyzer of force lines structure at magnetic fields. *Journal of Physics: Conference Series*, 917(5).
9. Logunov S.E., Davydov V.V., Vysoczky M.G., Mazing M.S. (2018) New method of researches of the magnetic fields force lines structure. *Journal of Physics: Conference Series*, 1038(1).
10. Maslov V.P. (2018) New Formulas Related to Analytic Number Theory and Their Applications in Statistical Physics. *Theoretical and Mathematical Physics (Russian Federation)*, 196(1), pp. 1082-1087.
11. Obukhov Y.N., Silenko A.J., Teryaev O.V. (2018) Spin dynamics of fermion particles in gravitational and electromagnetic fields. *Journal of Physics: Conference Series*, 938(1).
12. Sandulyak A.V. et al. (2019) The approach to the creation and identification of the positioning zone of the sample in the Faraday magnetometer. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 469, pp. 665-673.
13. Santos R.C.B., Gomes P.R.S. (2019) Nonrelativistic limit of Dirac theory from effective field theory. *European Journal*

of Physics, 40(1).

14. Teber S., Kotikov A.V. (2018) Field theoretic renormalization study of reduced quantum electrodynamics and applications to the ultrarelativistic limit of Dirac liquids. *Physical Review*, 97(7).
15. Tran M. (2018) Evidence for Maxwell's equations, fields, force laws and alternative theories of classical electrodynamics. *European Journal of Physics*, 39(6).