

ՀՏԴ 53Ֆիզիկա**Կարեն ԱՐԱՄՅԱՆ**

**Ար.ՊՀ Մաթեմատիկայի և ֆիզիկայի ամբիոնի պրոֆեսորի պաշտոնակատար,
Ֆ.մ.գ.թ.**

e-mail: k_aramyan@rambler.ru

Արկադի ՍՈՂՈՍՈՆՅԱՆ

ՀՀ ԳԱԱ ֆիզիկայի կիրառական պրոբլեմների ինստիտուտ, Ֆ.մ.գ.թ

e-mail: Sohomonyan@gmail.com

Աննա ԳԱՍՊԱՆՅԱՆ

Ար.ՊՀ մաթեմատիկա և ֆիզիկա ամբիոնի ասիստենտ,

e-mail. gasparyananna1997@mail.ru

ДИАЛЕКТИКА В МИКРОМИРЕ**ԴԻԱԼԵԿՏԻԿԱՆ ՄԻԿՐՈԱՇԽԱՐՀՈՒՄ**

Հոդվածում՝ ֆիզիկայի պատմությունից հայտնի փաստերը դիտարկված են դիալեկտիկայի օրենքների տեսանկյունից: Այդպիսիք են հանդիսանում հավասարակշիռ ճառագայթման տեսությունը, որտեղ Մաքս Պլանկը առաջին անգամ էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը դիտարկել է ոչ թե որպես կանգուն էլեկտրամագնիսական ալիքների համախմբություն, քանի որ դա բերում էր ճառագայթման էներգիայի անվերջ մեծ արժեքի: Ըստ Մաքս Պլանկի, էներգիայով փոխանակումը ճառագայթման և խոռոչի պատի միջև տեղի ունենում այնպիսի մեծություններով, որոնք պատիկ են էներգիայի մինիմալ արժեքին, կամ՝ քվանտին: Քվանտի էներգիան, իր հերթին, ուղիղ համեմատական է հաճախությանը: Այսպիսով, Նյուտոնի՝ լուսային կորպուսկուլների մասին նախնական գաղափարները, որոնք փոխարինվեցին ալիքային պատկերացումներով ինտերֆերենցի և դիֆրակցիայի երևույթները բացատրելու համար Ֆրենելի կողմից, նորից

փոխարինվեցին կորպուսկուլյար պատկերացումներով: Այստեղ բացահայտորեն դիտվում է ժխտման ժխտումի վերաբերյալ օրենքը, ինչպես նաև հաճախության հետ կապված՝ քանակը որակի անցման մասին օրենքի դրսևորումը:

Ատոմի մասին պատկերացումների կայացման գործընթացում դիտվում է, թե ինչպես Թոմսոնի մոդելի դասական պատկերացումները փոխարինվել են ատոմի մոլորակային մոդելով: Իրադրությունը լուծվեց Ն.Բորի կողմից կանխադրությունները մտցնելով, որոնք հակասական էին դասական էլեկտրադինամիկայի տեսանկյունից:

Դիալեկտիկայի օրենքների տեսանկյունից զուգահեռ է տարվում հասարակական-քաղաքական, կրթական ոլորտների հետ, որտեղ զարգացման օրենքների փաստացի ժխտումը բերել է տագնապալի արդյունքների:

Բանալի բառեր՝ դիալեկտիկա, հակասությունների միասնություն և պայքար, ժխտման ժխտում, հավասարակշիռ ճառագայթում, ֆոտոէֆեկտ, ատոմի տեսություն, էլեկտրոնների դիֆրակցիա, կրթական համակարգ, հասարակական և քաղաքական գործընթացներ:

К.Арамян, А.Согомонян, А.Гаспарян

ДИАЛЕКТИКА В МИКРОМИРЕ

На основе известных из истории физики фактов в статье прослеживается проявление законов диалектики: отрицания отрицания, единства и борьбы противоположностей.

В качестве таковых приводится теория равновесного излучения, в которой Макс Планк впервые рассмотрел излучение не как совокупность стоячих электромагнитных волн. Согласно Планку, обмен энергией между излучением и стенкой сосуда происходит величинами, кратными минимальной величине (кванту) энергии. Таким образом, первоначальная гипотеза Ньютона о корпскулах света, которая была заменена волновыми представлениями для объяснения явлений интерференции и дифракции света, снова была заменена корпскулярными представлениями. В таком же свете рассматривается и теория фотоэффекта.

В качестве диалектического единства корпскулярной и волновой концепций приводится также результат опыта Дэвисона-Джермера, в котором электроны проявляют волновые свойства, а также теория атома Бора, в которой

вводится не свойственное классической физике представление о стационарных состояниях, а также используются квантовые представления о свете.

Приведенные примеры с точки зрения законов диалектики сравниваются с явлениями, происходящими в социально-политической сфере, в сфере образования.

Ключевые слова: диалектика, единство и борьба противоположностей, отрицание отрицания, равновесное излучение, фотоэффект, теория атома, дифракция электронов, система образования, общественно-политические процессы.

K. Aramyan, A. Sogomonyan, A. Gasparyan
DIALECTICS IN THE MICROCOSM

The article deals with facts known from the history of physics from the point of view of the laws of dialectics: negation of negation, unity and struggle of opposites.

These are the theory of equilibrium radiation, where for the first time Max Planck considered electromagnetic radiation not as a set of standing electromagnetic waves. According to M. Planck, the exchange of energy between radiation and the wall of the cavity occurs in quantities that are multiples of the minimum value (quantum) of energy. Thus, Newton's original concepts of light corpuscles, which were replaced by wave representations in order to explain interference and diffraction, were again replaced by corpuscular ones. In this regard, the phenomenon of the photoelectric effect is also given.

The given examples of the manifestation of dialectics laws are compared with the processes taking place in the education system, in the socio-political sphere from the point of view of the laws of dialectics.

Key words: dialectics, unity and struggle of opposites, negation of negation, equilibrium radiation, photoelectric effect, atomic theory, electron diffraction, education system, social and political processes.

Один из основных законов диалектики – это закон единства и борьбы противоположностей, а также закон перехода количества в качество. В современных общественных, политических процессах эти законы зачастую игнорируются, больше всего – по незнанию, что приводит к нежелательным, зачастую – трагическим последствиям.

Указанные законы носят всеобщий характер, они действуют как в живой, так и неживой природе, в общественных, политических явлениях.

В статье рассматриваются некоторые аспекты происходящих в микромире явлений и прослеживается проявление вышеуказанных законов диалектики в них.

1.Опыты Резерфорда и теория атома Бора.

До открытия в опытах Резерфорда строения атома существовала теория атома по Томсону, согласно которой атом представляет собой положительно заряженный шар, в который «вкраплены» отрицательно заряженные электроны. Согласно известному из электростатики закону (теореме) Гаусса, на электрон, находящийся на расстоянии x от центра шара (рис.1), кулоновское силовое воздействие оказывает лишь заряд шара, на поверхности которого находится электрон. Объем этого шара равен $4\pi x^3/3$, а заряд, соответственно, $\rho \cdot 4\pi x^3/3$, где ρ - объёмная плотность положительного заряда атома. Для атома водорода $\rho = \frac{e}{4\pi R^3/3}$, где $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл – величина заряда электрона, R - радиус атома.

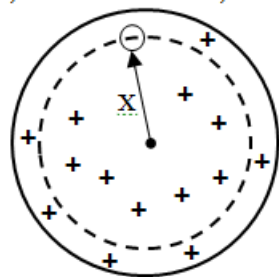


Рис.1

Сила кулоновского взаимодействия электрона с указанным шаром

$$F = ek \frac{e}{4\pi R^3/3} \cdot \frac{1}{x^2} \cdot \frac{4\pi}{3} x^3 = \frac{ke^2}{x^2} \left(\frac{x}{R}\right)^3,$$

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ – постоянная закона Кулона в системе Си.

Таким образом, зависимость силы взаимодействия электрона от расстояния до центра шара оказывается линейной:

$$F(x) = \frac{ke^2}{R^3} x \quad (1)$$

Второй закон Ньютона для электрона в атоме, соответственно, имеет вид:

$$\begin{aligned} ma = m\ddot{x} &= -\frac{ke^2}{R^3} x \\ \ddot{x} &= -\frac{ke^2}{mR^3} x = -\frac{k'}{m} x, \\ k' &= \frac{ke^2}{R^3}. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнение (2) является уравнением гармонических колебаний с круговой частотой

$$\omega = \sqrt{\frac{k'}{m}} = \sqrt{\frac{ke^2}{mR^3}} \quad (3)$$

Согласно известной к тому времени (1863г.) электродинамике Максвелла, заряженная частица, совершающая колебания с некоторой частотой, излучает

(поглощает) электромагнитные волны той же частоты. Таким образом, в рамках модели Томсона оказалось возможным объяснить факт излучения и поглощения атомами электромагнитного излучения, что представляло собой значительное достижение.

После открытия α -частиц Э.Резерфорд (1909-1911) поставил опыт (рис.2), в котором тонкую золотую фольгу облучал α -частицами. Энергия α -частиц такова, что вероятность того, что α -частица рассеется от атома по Томсону на угол, больший, чем 90° , равна практически нулю. Как говорил сам Резерфорд, вероятность указанного рассеяния такова, как если бы «выстрелить пушкой по комару и снаряд отразится от глаза комара».

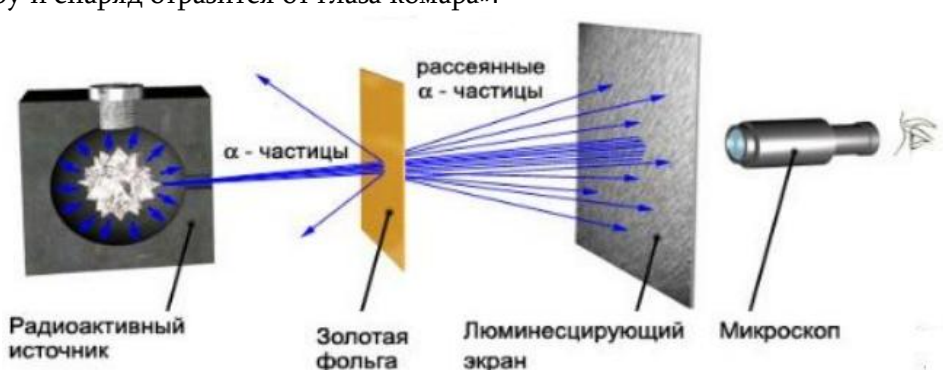


Рис.2

Однако опыт показал, что примерно одна из 2000 α -частиц отражается от фольги. Это указывало на то, что положительный заряд атома расположен в области, гораздо меньшей, чем сам атом. Если размер атома порядка $\sim 10^{15}$ м, то размер области, в которой расположен положительный заряд, в 100 000 раз меньше. Таким образом возникло понятие об атомном ядре, а электронам «оставалось» вращаться вокруг ядра, подобно тому, как планеты вращаются вокруг Солнца.

Однако планетарная модель атома столкнулась с принципиальными трудностями.

Вращение электрона вокруг ядра – это ускоренное движение. При ускоренном движении заряженной частицы, согласно электродинамике Максвелла (к тому времени уже установившаяся наука), частица излучает электромагнитную волну и, следовательно, теряет энергию.

Это должно неминуемо привести к потере электроном энергии и падению электрона на ядро. В рамках классической физики это была трагическая, неразрешимая ситуация.

На основе анализа спектроскопических данных (линейчатость, дискретность спектров) и благодаря своей гениальной интуиции Нильс Бор нашел выход, не вписывающийся в рамки классической физики. Это – известные постулаты Бора,

первый из которых гласит о существовании стационарных состояний, находясь в которых атом не излучает и не поглощает.

Согласно второму постулату, при переходе из одного стационарного состояния в другой атом поглощает и излучает квант света, равный разности энергий стационарных состояний:

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (3)$$

где h -постоянная Планка (к тому времени уже известная из теории равновесного излучения), ν -частота света.

С точки зрения диалектики (переход количества в качество) отметим, что уменьшение размеров рассматриваемой области (от классики до размеров атома и дальше) приводит к фундаментальным качественным изменениям, коренному изменению законов, описывающих явления.

На проявление закона единства и борьбы противоположностей указывает противоречивость (3) с точки зрения классической физики. Энергия в «классике» может меняться лишь непрерывно, проходя через все промежуточные значения. Однако согласно (3) энергия атома меняется скачкообразно.

В формуле для энергии светового кванта $\mathcal{E} = h\nu$ также проявляется глубокое противоречие. С одной стороны частота ν – это параметр, присущий волне, колебаниям. Это – непрерывные процессы, а квант света – понятие дискретное. Волна – это физическое явление, имеющее пространственную протяженность.

Частице, кванту излучения присуща пространственная локализация. И такое фундаментальное противоречие, единство противоположностей в формуле, казалось бы столь простой. Дискретность или непрерывность излучения проявляется в большей или меньшей степени, в зависимости от частоты. При высоких частотах (ультрафиолет, рентген, гаммы кванта) мы имеем возрастающее проявление дискретности, при низких частотах (видимый спектр и ниже по частоте) – проявление волновых свойств. И носителем и того, и другого является один и тот же объект – электромагнитное излучение.

2. Равновесное (черное) излучение и гипотеза М.Планка.

Рассмотрим формулу для энергии деформированной пружины:

$$E = \frac{kx_0^2}{2}, \quad (4)$$

где k - коэффициент упругости (жесткости) пружины, x_0 -максимальная деформация.

При гармонических колебаниях грузика на пружине имеем

$$x(t) = x_0 \sin \omega t,$$

где $\omega = 2\pi\nu = \sqrt{k/m}$ – круговая частота колебаний.

Главное с точки зрения рассматриваемой задачи это то, что энергия колебаний пропорциональна квадрату амплитуды x_0 колебаний.

В случае энергии электромагнитного поля плотность энергии (энергия в единице объема пространства)

$$\omega = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E_0^2}{2}, \quad (5)$$

где E_0 - амплитуда колебаний электромагнитного поля. В (4) и (5) мы имеем общность – энергия колебаний пропорциональна квадрату амплитуды колебаний.

Равновесным излучением называется излучение внутри полости, стенки которой поддерживаются при постоянной температуре (рис.4). Для того чтобы посчитать энергию теплового излучения необходимо (с точки зрения классической физики) рассматривать его как совокупность так называемых стоячих электромагнитных волн, подобно струне гитары, имеющих узлы

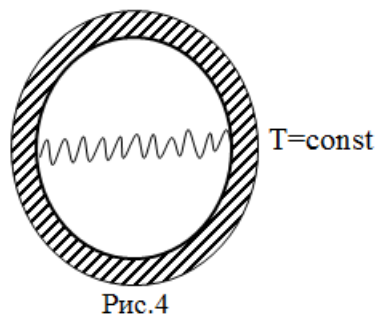


Рис.4

на внутренней поверхности плоскости. Так как энергия каждой волны пропорциональна квадрату амплитуды, а число волн (частот) бесконечно, то энергия излучения оказывается бесконечно большой – парадокс, известный в истории физики как ультрафиолетовая катастрофа.

Макс Планк, исходя из математической задачи получения правильной формулы для плотности энергии излучения, выдвинул гипотезу о прерывистости процесса поглощения и излучения энергии стенкой полости (1900). Это означает, что существует минимальная величина энергии, которую полость может излучить или поглотить, и она равна $h\nu$. Именно здесь впервые было предположено, что энергия кванта (порции энергии электромагнитного поля) пропорциональна частоте электромагнитной волны – то есть взаимопереплетение, взаимопроникновение корпускулярной и волновой начал, двух противоположных начал в одном и том же объекте.

Порции энергии, которыми излучение обменивается со стенкой полости $\mathcal{E} = nh\nu$, где n - целое число. На основе вышеуказанной гипотезы Планку удалось получить абсолютно точную формулу для энергии излучения (распределение Планка), что указывает на верность гипотезы. И это явилось одним из главных шагов на пути создания современных представлений об окружающем мире.

3. Фотоэффект.

Как известно, фотоэффектом называется явление вырывания электронов из металла под действием света (явление имеет и более широкое толкование) (рис.4).

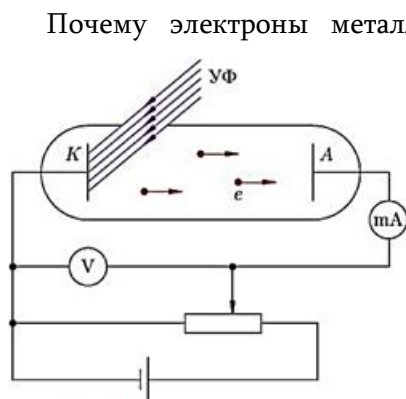


Рис.4

Почему электроны металла не «вылетают» из него, хотя скорость их хаотического движения в металле порядка 1000 км/с. Понятно, что этому препятствуют силы, действующие на поверхности образца и направленные вовнутрь – наличие так называемого поверхностного потенциала. Простейшие представления таковы: если электрон находится на поверхности нейтрального образца, то сам объем образца оказывается положительно заряженным (рис.5).

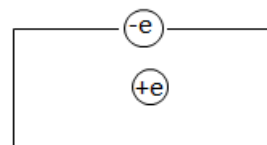


Рис.5

Возникает кулоновское притяжение, препятствующее выходу электрона. Выход может реализоваться за счёт внешнего источника энергии. Если на образец падает свет (электромагнитная волна), то электрон «раскачивается» волной, беря у нее энергию, которая пропорциональна квадрату амплитуды волны – интенсивности светового потока (а не частоте). Это означает, что не изменяя цвета, например

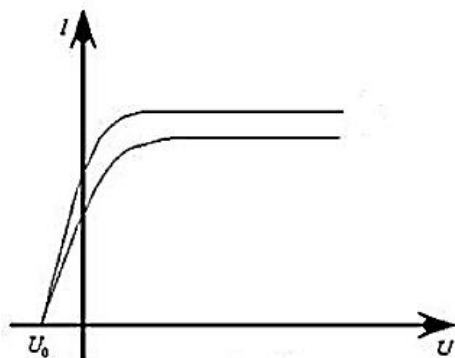


Рис.6. U_0 -задерживающий потенциал

бросая на металл более интенсивный красный свет, можно не только получить фототок, но и увеличить энергию фотоэлектронов. На самом деле, красный (и далее видимый) свет фотоэффекта не вызывает, он начинается с ультрафиолета.

Законы фотоэффекта определяются его вольт-амперной характеристикой (ВАХ), которая имеет следующий вид (рис.6). ВАХ имеет насыщение, и величина тока насыщения согласно эксперименту пропорциональна интенсивности света:

при большем световом потоке больше число фотоэлектронов, и, соответственно, фототок.

Важнейшей характеристикой является задерживающее напряжение U_0 , при котором фототок исчезает, он удовлетворяет равенству

$$\frac{mv^2}{2} = eU_0 \quad (6)$$

(по теореме о кинетической энергии). Измеряя U_0 , можно определить энергию фотоэлектронов.

Если исходить из корпускулярной теории света, то свет представляет собой поток квантов с энергией $h\nu$, и имеет место закон сохранения энергии

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} = A + eU_0. \quad (7)$$

Это - знаменитое уравнение Эйнштейна для фотоэффекта(1905). Интересно, что за работу по фотоэффекту, а не за теорию относительности, А.Эйнштейн получил Нобелевскую премию.

Впервые понятие о частицах (корпускулах) света было введено И.Ньютоном. Под влиянием выдающихся успехов в решении задач механики И.Ньютон представлял, что все можно объяснить на основе законов механики. Однако при Ньюtone корпускулярная теория света дальше закона отражения света, пожалуй, не пошла. При этом отражение корпускулы происходит подобно упругому отражению бильярдного шара, и поэтому угол падения равен углу отражения. Однако открытие интерференции и дифракции света и их последующее объяснение с помощью волновой теории, казалось бы, начисто исключило корпускулярные представления.

Но вот наступил 20-ый век, и Макс Планк на основе корпускулярных представлений получил правильную формулу для энергии черного излучения, а затем А.Эйнштейн объяснил явление фотоэффекта. Вот уж воистину отрицание отрицания, единство и борьба противоположностей.

4. Опыты по дифракции электронов Дэвиссона-Джермера.

Известные в истории физики опыты К.Дэвисона и Л.Джермера (1927) относятся к «обратному» переходу: «частица – волна».

Вся теория электричества основывается на представлениях об электроне как весьма малой частице, несущей заряд $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл и имеющей массу $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг. Американскими физиками Дэвиссоном и Джермером был поставлен эксперимент, результаты которого достоверно указывали на то, что электрон, который представлялся до того частицей в классическом понимании, в зависимости от условий может проявлять и волновые свойства.

Схема опыта заключалась в следующем (рис.7). Электроны, излучаемые нитью накала, ускоряются разностью потенциалов U и приобретают импульс, определяемый теоремой о кинетической энергии:

$$eU = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}, \quad p = \sqrt{2meU} \quad (8)$$

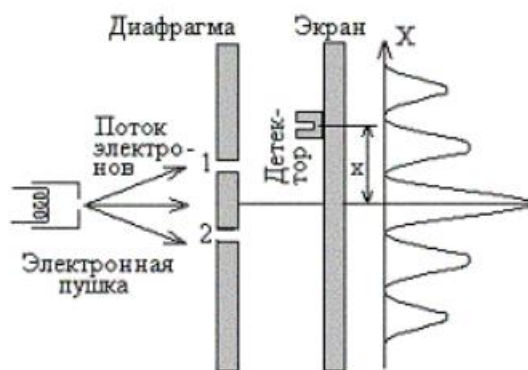


Рис.7

Это означает, что электроны имеют перед прохождением через диаграмму вполне определенный импульс.

Согласно классическим представлениям, после прохождения через щель, имеющую весьма малый диаметр, на экране должно появиться изображение щели со слегка размытыми границами ввиду взаимодействия электронов с краем щели.

Результат эксперимента с точки зрения классики парадоксален: на экране получается центральный круг, на который попадает больше всего электронов (на фотографической пластине этот круг наиболее темный). Затем следует концентрическое с кругом кольцо, куда и вовсе «не попадают» электроны, а затем следует вторичный максимум интенсивности, и так далее (рис.8).

Результат в точности соответствует явлению дифракции света, которое объяснил на основе волновой теории великий француз Френель. Таким образом, из опыта Дэвиссона – Джермера следует, что электрон, который до того проявлял себя как частица, имеет также выраженные волновые свойства.

Луи де-Бройль «проследил» переход от волнового описания света к геометрической оптике. Для электронов он пошел тем же путём в обратном направлении: от электронов до некоей волны, соответствующей электрону.

Для длины этой «гипотетической» волны Л. Де-Бройль получил:

$$\lambda = h/p \quad (9)$$

Обратим внимание на казалось бы, простую, но в то же время имеющую глубокий, в том числе в смысле диалектики, формулу. Слева написана длина волны, справа – импульс частицы. И это «соединяется» посредством постоянной Планка. Если $h \rightarrow 0$, то волна «исчезает», мы получаем классическое, корпускулярное описание.

Появление дифракционных максимумов, соответствующих разным длинам волн, означает, что в результате взаимодействия с классическим прибором вместо вполне определенного импульса (состояния) мы получаем ряд состояний. То есть, нет свойств объекта самих по себе, эти свойства проявляются в зависимости от условий, изменяются в зависимости от них. Это соответствует как трактованию свойств микрочастиц в квантовой механике, так и законам диалектики.

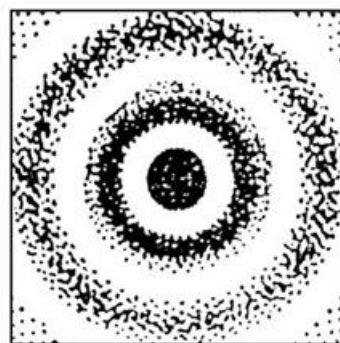


Рис.8

Заклучение

К мысли сделать эти заметки привело не только то постоянное удивление, которое испытывает человек, хоть в какой-то мере знакомый с законами природы.

Побудило к этому также то, на мой взгляд, непродуктивное, даже катастрофическое положение, сложившееся в системе образования в нынешних реалиях.

Система, основанная на заучивании фактов давно минувших веков, их фетишизации, пренебрежении объективными законами природы и общества, их познанием, контрпродуктивна и губительна.

Она начисто отвергает диалектику развития, подменяет понятия общечеловеческого национальным, отрицает диалектику их взаимодействия как основу развития.

Идет подмена базисных знаний (естественно-научных) познаниями, несущими надстроечный характер. Основа развития - в их диалектическом взаимодействии, а не в «застолбировании» одних, подмена одних другими. Это и есть конец развития, катастрофа.

Это относится также к сложившимся тревожным реалиям. Многолетнее упоение «победой» сменилось глубоким унынием, депрессией, страхами.

Однако во всякой победе есть элементы, признаки поражения, и они могут проявиться, если не созданы благоприятные условия.

Также и во всяком поражении есть зачатки будущих побед, если мыслить и действовать диалектически, и речь, в основном, не о военных победах. Для этого нужно действовать не ситуативно, в зависимости от навязываемой чужой воли, а планомерно, с осознанием целей работать, создавая условия для развития и будущих побед.

Литература

1. Савельев И.В., Курс общей физики. Т.3, «Наука», М., 1971.
2. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А.. Курс теоретической физики. Т.2, «Наука», М., 1971.
3. Омеляновский М.Э., Диалектика в современной физике. URSS, 2023.

Նյութը ներկայացվել է 25.05.2023,
 գրախոսման է ուղարկվել 15.06.2023,
 տպագրության ընդունվել 22.06.2023:
 Հոդվածը տպագրության է երաշխավորել Ար.ՊՀ
 մաթեմատիկայի և ֆիզիկայի ամբիոնը: