

УДК 378.016:53

## ИНДУКТИВНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ПРОЦЕССЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ ВУЗОВ ТРАНСФОРМАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПОНЯТИЯ

Хильманович В. Н. ([valentina-gr@yandex.ru](mailto:valentina-gr@yandex.ru))

УО «Гродненский государственный медицинский университет», Гродно, Беларусь

*В статье показана история возникновения, развития и трансформации одного из основных понятий в квантовой физике – плотности состояний. Рассмотрены работы ученых, внесших основной вклад в историю развития понятия. Приведены примеры применения понятия в современной физике.*

**Ключевые слова:** плотность состояний, индуктивно-исторический подход, квантовая физика.

Организация учебного процесса требует от преподавателей постоянной работы по усовершенствованию методики преподавания изучаемых дисциплин, внедрения инновационных педагогических технологий, применения новых форм и методов в обучении, а также, что не менее важно, использования традиционных методик, которые уже успели хорошо зарекомендовать себя в практике педагогической работы. Разнообразие методов и форм обучения определяется рядом факторов, которые характеризуют особенности изучаемых разделов физики. Но нередко возникшее в одной области физики понятие трансформируется и переходит в другие области на разных исторических этапах. История возникновения и развития физического понятия не просто позволяет проследить историю развития самой физической науки, но и развивать процесс познания. Неоспорим тот факт, что историческая составляющая процесса обучения способствует лучшему усвоению изучаемого материала, привлекает непровольное внимание студентов. Для нас особенно важно, что эта историческая составляющая определяла этапы развития самой физической науки.

### Материалы и методы

В качестве материалов использовались оригинальные статьи по истории квантовой механики. Чтобы проследить трансформацию понятия плотности состояний, нами выбран индуктивно-исторический подход. Основная идея подхода состоит в связи генезиса физической науки и способах получения знаний, выработанных наукой в процессе познания. Через историю постигается логика, которая помогает излагать историю науки. Конечно, история науки не может служить основой построения современного курса физики, но она помогает сформировать эмпирическое, теоретическое и творческое мышление, показать явление или процесс в логическом ракурсе, дедуктивно получить выводы. Подход реализуется в рамках концепции единства и подобия процессов познания и обучения, изложенной в работах известных ученых-педагогов – С.А. Шапоринского [19] и Г.М. Голина [16].

Понятие плотности состояний является, несомненно, важным в современной физике, так как используется во многих ее разделах. История возникновения и развития понятия интересна как в физическом, так и в историческом плане. Понятие плотности состояний – одно из основных в квантовой физике, оно применяется при описании свойств квантовых частиц, расчете вероятностей квантовых переходов, описании электронных процессов в конденсированных средах, а также процессов взаимодействия квантовых систем

с электромагнитным излучением. С развитием науки плотность состояний начинает играть все большую роль в современных исследованиях и наполняться новым содержанием. В связи с этим представляется целесообразным проследить историю возникновения и развития концепции плотности состояний с целью улучшения процесса усвоения учебного материала, подчеркнуть его значимость и междисциплинарный характер.

Впервые понятие плотности состояний было введено в оптику лордом Рэлеем (Дж. У. Стрэтт) в 1900 г. в работе [8]. Дж. У. Стрэтт – английский физик, открывший с У. Рамзаем газ аргон и получивший за это Нобелевскую премию по физике в 1904 г. Основные работы Рэля по механике и физике относятся к теории колебаний, одним из основоположников которой он является. В 1871 г. он вывел соотношение между интенсивностью рассеяния света очень малыми частицами и длиной его волны (известное как закон рассеяния света Рэля), которое объясняет, почему небо голубое, а закат красный. Опубликовал свыше 400 работ за более чем пятьдесят лет своей исследовательской деятельности. Рэлей, рассматривая осциллятор (система, совершающая колебания) как собственные колебания полости с зеркальными стенками, предложил посчитать число нормальных мод в  $k$ -пространстве для получения формулы спектральной плотности энергии абсолютно черного тела: (формула приведена в современной записи). В формуле присутствует экспоненциальный множитель без теоретического обоснования. В 1905 г. Д. Х. Джинс предложил закон, внешне очень похожий на формулу Рэля и названный впоследствии законом Рэля-Джинса, который имел вид: и стал позднее причиной так называемой «ультрафиолетовой катастрофы», так как был объявлен справедливым для всех частот [8]. Во многих научно-популярных физических и методических изданиях можно встретить мнение о том, что именно «ультрафиолетовая катастрофа» послужила решающим толчком к созданию квантовой теории. По-видимому, это следует признать ошибочным, так как, возникнув в 1905 г., она не могла играть решающей роли в зарождении квантовой теории, начавшей свой отсчет с 1900 г. А работа Рэля, написанная в 1900 г., формально стала первой, где понятие плотности состояний было введено в оптику и использовано для получения формул в теории излучения.

Следующий важный шаг в развитии понятия плотности состояний был сделан М. Планком, который выдвинул идею о необходимости представления фазового пространства в виде элементарных ячеек размером  $h$ . М. Планк – немецкий физик-теоретик,

основоположник квантовой физики, лауреат Нобелевской премии по физике 1918 г. Научные труды Планка посвящены термодинамике, теории теплового излучения, квантовой теории, специальной теории относительности, оптике. Применив к проблеме равновесного теплового излучения методы электродинамики и термодинамики, Планк получил закон распределения энергии в спектре абсолютно чёрного тела (формула Планка) и обосновал этот закон, введя представление о квантах энергии. Это достижение положило начало развитию квантовой физики.

Первые заметки о делении фазового пространства на элементарные ячейки относятся к 1906 г. [11]. Через 5 лет, в 1911 г., Планк вновь вернулся к своей идее в Докладе [10], сделанном на I Сольвеевском конгрессе. Далее развивая свою гипотезу, в 1916 г., в статье [9] он разложил фазовое пространство посредством множества определенных гиперплоскостей (2f-1) на отдельные ячейки, «элементарные области вероятности», где f – число степеней свободы.

В этой же работе Планком была рассмотрена модель гармонического осциллятора с несколькими степенями свободы как дополнительная препарированная ячейка фазового пространства. Такое деление фазового пространства на элементарные ячейки сыграло определяющую роль в развитии понятия плотности состояний. Развивая идеи Планка о делении фазового пространства на элементарные ячейки, Л. де Бройль, французский физик, рассмотрел равновесное излучение как газ световых квантов и пришел к распределению энергии в форме закона Рэлея-Джинса, где в явном виде уже присутствовал член, равный плотности состояний.

Луи де Бройль, один из создателей квантовой механики, первым пришел к выводу, что каждой микро-частице соответствует волна. Его расчеты волновых свойств частиц были подтверждены экспериментально (дифракция электронов). Луи де Бройль – лауреат Нобелевской премии 1929 г. по физике за открытие волновых свойств электрона в 1923 г. Об этом свидетельствует его работа [3].

В результате был получен закон для плотности энергии:

$$\rho_\nu d\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \nu^3 \sum_1^\infty \exp\left(-n \frac{h\nu}{kT}\right) d\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \nu^3 \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

В полученном выражении присутствует член, определяющий плотность состояний. Таким образом, Л. де Бройль первым применил понятие плотности состояний к атомам.

Принципиальным шагом в развитии понятия стала работа [2] С.Н. Бозе, (индийский физик, один из авторов бозе-эйнштейновской конденсации), написанная в 1924 г. В ней было рассмотрено равновесное электромагнитное излучение как газ фотонов и показано, что формула Планка для плотности энергии естественным образом возникает как произведение числа доступных состояний на функцию распределения частиц по энергиям и на энергию одной частицы. В полученном выражении содержался член, который выражал плотность состояний. Бозе также показал, что формула Планка для спектральной плотности теплового излучения может быть получена в рамках статистической физики. Развивая метод, предложенный Бозе, А. Эйнштейн написал работы, в которых было положено начало статистике Бозе-Эйнштейна.

Важным шагом в дальнейшем развитии понятия стала работа [6] Э. Ферми 1926 г., в которой он использовал понятие плотности состояния для атомов при построении теории одноатомного газа. А именно: при выводе формул для расчета плотности молекул с кинетической энергией, лежащей в интервале от L до L+dL в точке x, y, z:

$$n(L)dL = n_s dS = \left( (2\pi(2m)^{3/2}) / h^3 \right) \sqrt{L} dL \left( (Ae^{-L/kT}) / (1 + Ae^{-L/kT}) \right)$$

где  $A = \alpha e^{-(2\pi^2 v^2 m r^2) / (kT)}$  – функция плотности и температуры. Множитель  $\left( (2\pi(2m)^{3/2}) / h^3 \right) \sqrt{L}$

выражает плотность состояний частиц, имеющих массу.

В этой работе Ферми разработал статистику газа частиц, подчиняющихся принципу Паули и названных в его честь «фермионами», а статистика позднее получила название функции распределения Ферми-Дирака. Год спустя, в 1927 г., Э. Ферми в своей следующей работе [5] использовал для плотности состояний ранее полученное выражение для атомов с учетом двух возможных спиновых состояний для электрона. Он показал, каким образом можно статистически вычислить распределение электронов вокруг ядра и рассчитать с его помощью энергию, необходимую для полной ионизации атома. В формуле используется член, выражающий плотность состояний для электронов. Полученную статистическую модель называют моделью Томаса-Ферми, поскольку такое же распределение в 1926 г. независимо получил Л. Томас. Следует заметить, что, когда Ферми построил свою теорию  $\beta$ -распада, вид спектра определялся статистическим множителем, выражающим плотность состояний. Э. Ферми – итальянский физик, лауреат Нобелевской премии 1938 г., один из создателей атомной бомбы.

Интересен и тот факт, что работы Бозе, Эйнштейна, Ферми и Дирака наряду с развитием

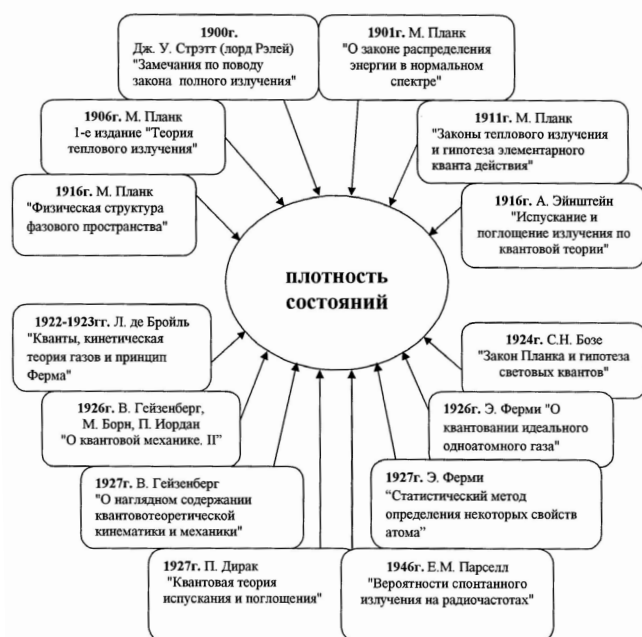


Рисунок 1. – Вклад ученых в развитие понятия плотности состояний

понятия плотности состояний содержали вывод знаменитых функций распределения, известных сегодня как функции Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Возможно, поэтому понятию плотности состояний не придавали глубокого смысла и не рассматривали его отдельно.

В 1926 г. вышла статья [7] В. Гейзенберга совместно с М. Борном и П. Йорданом, где авторы в рамках новой квантовой теории провели расчет флуктуаций энергии электромагнитного излучения в полости. Для вывода использовалось понятие плотности состояний. Если  $z_\nu dv$  – число собственных колебаний (ячеек) из интервала  $dv$ , приходящихся на единицу объема так, что  $\bar{E} = (z_\nu h\nu)/(e^{h\nu/kT} - 1)$ , содержит член  $z_\nu$ , который определяется как плотность состояний. В. Гейзенберг – немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии по физике 1932 г. Автор принципа неопределенностей и матричного варианта квантовой механики.

Формулу плотности состояний для электронов использовал П. Дирак, который опубликовал свою работу [4] в 1927 г. П. Дирак – английский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии по физике 1933 г. Он разработал квантовую статистику (статистика Ферми – Дирака), релятивистскую теорию движения электрона – уравнение Дирака, предсказавшую позитрон, а также аннигиляцию и рождение пар. Заложил основы квантовой электродинамики и квантовой теории гравитации. Он ввел представление о поле как о наборе квантовых осцилляторов, показал появление при таком рассмотрении спонтанных переходов и использовал плотность состояний электромагнитного поля для расчета вероятности спонтанных переходов. Дирак получил формулу вероятности коэффициента поглощения. Здесь в явном виде присутствует плотность состояний, хотя автор не применял этот термин, а определял его как «число световых квантов в единице объема, равное энергии волны в единице объема, деленной на энергию одного кванта» [4].

Со второй половины XX в. стала стремительно развиваться нерелятивистская квантовая электродинамика. Значимой и интересной в этом свете явилась работа [12] Е.М. Парселла 1946 г., где автор использовал понятие плотности состояний. В этой работе Парселл впервые указал, что выведенное Рэлеем выражение для плотности состояний электромагнитного поля справедливо для сплошной неограниченной среды. В случае же неоднородных сред необходимо использовать другие соотношения, явно задающие свойства электромагнитного излучения в рассматриваемой области пространства. Однако он не пользовался термином «плотность состояний». Применительно к электромагнитному полю многие авторы в тот период времени не использовали этот термин, а пользовались выражением «плотность мод», «число мод в единичном интервале», «сумма по всем возможным состояниям поля» и т.п. Е.М. Парселл – американский физик, открывший явление магнитного резонанса в веществе, лауреат Нобелевской премии 1952 г.

Однако уже в 1961 г. Р. Фейнман в [17] употребляет термин «плотность состояний» применительно к фотонам. В книге [18] он, вычисляя число колебательных мод на единицу объема в модели абсолютно черного тела, показал, что «фотоны определяются как степень возбуждения моды, поэтому их пере-

становку нельзя рассматривать как новое состояние: фотоны неразличимы». На этом основана квантовая статистика. В [18] Р. Фейнман также использовал разложение на нормальные моды колебания кристалла для определения теплоемкости твердого тела. Р. Фейнман – американский ученый, лауреат Нобелевской премии по физике 1965 г., один из создателей квантовой электродинамики. Известен также как автор интереснейшего курса физики – «Фейнмановские лекции по физике», реформатор методов преподавания физики в вузе.

На современном этапе в физике твердого тела плотность состояний для электронов и дырок в электронной подсистеме кристалла является хорошо определенной физической величиной. Плотность состояний естественным образом входит во все выражения для расчета концентраций свободных электронов и дырок в зоне проводимости и валентной зоне, для определения скорости спонтанных и вынужденных межзонных переходов, для расчета вероятности рассеяния квазичастиц друг на друге, на колебаниях решетки и на других дефектах кристаллической решетки. Электроны и дырки являются фермионами и подчиняются принципу Паули: в одном состоянии может находиться только одна частица. Поэтому подсчет доступных состояний является необходимой процедурой при описании всех упомянутых процессов, а сложность зонной структуры, различие масс электронов и дырок, изменение размерности пространства в наноструктурах вынуждают явным образом выплывать выражения для плотности состояний. Одним из проявлений конечности плотности электронных состояний в металле является отсутствие рассеяния электронов в состоянии ниже уровня Ферми, так как электрон не может рассеяться в занятые состояния. В результате этого в металлах при низких температурах, когда очень мало число электронов с энергией выше уровня Ферми, электроны «не замечают» друг друга, несмотря на плотную упаковку и одноименные заряды. Одно из первых применений плотности электронных состояний и статистики Ферми было объяснение А. Зоммерфельдом [13] низкой электронной теплоемкости металлов при высоком вкладе в теплопроводность. Изменение скорости спонтанных переходов в сложных средах и ее зависимость от геометрического расположения источника излучения позволяет обобщить понятие плотности состояний в оптике на сильно неоднородные среды и ввести понятие локальной плотности состояний.

Важным этапом в развитии понятия стало доказательство правил сумм С. Барнеттом и Р. Лоудоном в 1996 г. Теорема Барнетта-Лоудона сформулировала правило сумм для локальной плотности состояний и указала границы возможного изменения плотности фотонных состояний в сложных средах [1]. Велико влияние локальной и интегральной плотности состояний на тепловое испускание, комбинационное и рэлеевское рассеяние света в наноструктурах [15].

### *Результаты и обсуждение*

Исходя из вышеизложенного, можно с уверенностью констатировать тот факт, что история возникновения и развития понятия плотности состояний насчитывает более 100 лет. Появившись в оптике, она была перенесена в квантовую теорию, затем – в статистическую физику и физику твердого тела. Позднее стал наблюдаться обратный процесс: развитие физики твердого тела оказало обратное воздействие на оптику.





Рисунок 2. – Трансформация понятия плотности состояний

В конце прошлого века плотность состояний в оптике стала предметом исследования в связи с общей концепцией создания искусственных сред с управляемой вероятностью квантовых оптических процессов. В последнее десятилетие обобщение понятия плотности состояний в квантовой электродинамике сложных сред стимулирует интенсивное развитие нанопоники и фотонной инженерии.

### Литература

1. Barnett, S. M., Loudon, R. Sum Rule for Modified spontaneous Emission Rates / *Phys. Rev. Lett.* – 1996. Vol. 77. – P. 2444.
2. Bose, S. N. Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese / *Zs. fur Phys.* – 1924. Vol. 26. – P. 178–181. / Бозе, С. Н. Закон Планка и гипотеза световых квантов / Эйнштейн, А. Собрание научных трудов Приложение. Т.3, М.: Наука. – 1966. С. 475–478.
3. De Broglie, L. Les quanta, la theorie cinetique des gas et le principe de Fermat / *Compt. Rend.* – 1923. – Vol. 177. – P. 630–632. / Де Бройль, Л. Кванты, кинетическая теория газов и принцип ферма / УФН. – 1967. – Т.93., Вып. 9. – С. 182–183.
4. Dirak, P. A. M. The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation / *Proc. Roy.Soc. A.* – 1927. - Vol. 114. P. 243–265. / Дирак, П.А.М. Собрание научных трудов. Т.2. М.: Физматлит – 2003. С.285-307.
5. Fermi, E. Un metodo statistico per la determinazione di alcune proprieta dell'atomo / *Rend Lincei.* 1927. Vol. 6. - P. 602–607. / Э. Ферми Статистический метод определения некоторых свойств атомов. Научные труды. Т.1, М.: Наука – 1971. С. 279–284.
6. Fermi, E. Zur Quantelung des idealen einatomigen Gases / *E. Fermi // Zs. f Phys.* 1926. Vol. 36. P. 902–912. / Ферми, Э. Научные труды. Т.1, М.: Наука – 1971. С. 203–213.
7. Heisenberg, W. mit Born, M. und Jordan, P Zur Quantenmechanik. II. / *Zs. Phys.* 1926. Vol. 35. №8-9. - P. 557–615. / Гейзенберг, В. Избранные труды. М.: УРСС – 2001. С.127–176.
8. Lord Rayleigh (Stratt, J.W.) / *Philos. Mag.* – 1900. Vol. 49. – P. 539–540 / Лорд Рэлей. Теория звука / М.: Гостехиздат, 1955. – Т.1 – 503 с., Т.2 – 475 с.
9. Plank, M. *Ann. Phys.* 1916. Vol. 50. P. 385–418 / Планк, М. Физическая структура фазового пространства. Избранные труды. М.: Наука. 1975. С.339–369.
10. Plank, M. La theorie de la rayonnement et les quanta / *Paris.*1912. P.93–132. / Планк, М. Законы теплового излучения и гипотеза элементарного кванта действия. Доклад, I Сольвеевский конгресс, 1911г. Избранные труды. М.: Наука. 1975. – С.282–309.
11. Plank, M. Vorlesungen uber die Theorie der Warmestrahlung /*Leipzig,* 1906. P. 122–127. / Планк, М. Теория теплового излучения 2-е изд. / М.:КомКнига, 2005. – 204 с.
12. Purcell, E.M. Spontaneous Emission Probabilities at

### Заклучение

Таким образом, мы показали исторический аспект возникновения и развития одного из важнейших и ключевых понятий в квантовой механике, выделили его междисциплинарный характер, определили роль в развитии современной физики. Этот материал может быть использован преподавателями высшей школы на занятии по основам квантовой механики для студентов медицинских вузов. Примером тому может стать Берклевский курс физики, а именно квантовой физики [14], который при изложении материала отводит ведущую роль историческому аспекту возникновения идей квантовой механики и дает значительное количество ссылок на оригинальные классические работы ученых.

### Literatura

1. Barnett, S.M., Loudon, R. Sum Rule for Modified spontaneous Emission Rates / *Phys. Rev. Lett.* – 1996. Vol. 77. – P. 2444.
2. Bose, S.N. Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese / *Zs. fur Phys.* – 1924. Vol. 26. – P. 178–181. / Boze, S. N. Zakon Planka i gipoteza svetovyyh kvantov / E. Hjnshtejn, A. Sobraie nauchnyh trudov Prilozhenie. T.3, M.: Nauka. – 1966. S. 475–478.
3. De Broglie, L. Les quanta, la theorie cinetique des gas et le principe de Fermat / *Compt. Rend.* – 1923. – Vol. 177. – P. 630–632. / De Brojl', L. Kvanty, kineticheskaya teoriya gazov i princip ferma / UFN. – 1967. – Т.93., Вып. 9. – С. 182–183.
4. Dirak, P.A.M. The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation / *Proc. Roy.Soc. A.* – 1927. Vol. 114. P. 243–265. / Dirak, P.A.M. Sobraie nauchnyh trudov. T.2. M.: Fizmatlit – 2003. S.285-307.
5. Fermi, E. Un metodo statistico per la determinazione di alcune proprieta dell'atomo / *Rend Lincei.* 1927. Vol. 6. P. 602–607. / EH. Fermi Statisticheskij metod opredeleniya nekotoryh svojstv atomov. Nauchnye trudy. T.1, M.: Nauka – 1971. С. 279–284.
6. Fermi, E. Zur Quantelung des idealen einatomigen Gases / *E. Fermi // Zs. f Phys.* 1926. Vol. 36. P. 902–912. / Fermi, E. H. Nauchnye trudy. T.1, M.: Nauka – 1971. S. 203–213.
7. Heisenberg, W. mit Born, M. und Jordan, P Zur Quantenmechanik. II. / *Zs. Phys.* 1926. Vol. 35. №8-9. - P. 557–615. / Gejzenberg, V. Izbrannyye trudy. M.: URSS – 2001. С.127–176.
8. Lord Rayleigh (Stratt, J.W.) / *Philos. Mag.* – 1900. Vol. 49. – P. 539–540 / Lord Rehlej. Teoriya zvuka / M.: Gostekhizdat, 1955. – Т.1 – 503 с., Т.2 – 475 с.
9. Plank, M. *Ann. Phys.* 1916. Vol. 50. P. 385–418 / Plank, M. Fizicheskaya struktura fazovogo prostranstva. Izbrannyye trudy. M.: Nauka. 1975. S.339–369.
10. Plank, M. La theorie de la rayonnement et les quanta / *Paris.*1912. P.93–132. /Plank, M. Zakony teplovogo izlucheniya i gipoteza ehlementarnogo kvanta dejstviya. Doklad, I Sol'veevskij kongress, 1911g. Izbrannyye trudy. M.: Nauka. 1975. – С.282–309.
11. Plank, M. Vorlesungen uber die Theorie der Warmestrahlung /*Leipzig,* 1906. P. 122–127. / Plank, M. Teoriya teplovogo izlucheniya 2-e izd. / M.:KomKniga, 2005. – 204 s.
12. Purcell, E.M. Spontaneous Emission Probabilities at Radio Frequences / *Phys. Rev.* – 1946. Vol.69. – P. 618.

Radio Frequences / Phys. Rev. – 1946. Vol.69. – P. 618.

13. Sommerfeld, A. Elektronentheorie der Metalle auf der Grundlage der Wellenstatistik / Naturwissensch – 1927. – Vol. 15. – P. 825 / Зоммерфельд, А. Электронная теория металлов на основе волновой статистики / УФН. – 1928. – Т.8., Вып.6. – С.765 – 780.

14. Вихман, Э. Квантовая физика (Берклевский курс физики) / М.: Наука, 1986. – 392 с.

15. Гапоненко, С. В. Испускание и рассеяние света в наноструктурах: роль плотности фотонных состояний / Известия Академии Наук. Серия физ. 2004. Т.68, №1 – С. 115–118.

16. Голин, Г. М. Образовательные и воспитательные функции методологии научного познания в курсе физики / М.: МОПИ, 1986. – 95 с.

17. Фейнман, Р. Квантовая электродинамика / ред. В. П. Силина. М.: Мир, 1964. – 220 с.

18. Фейнман, Р. Статистическая механика. Курс лекций / М.: Мир, 1975. – С. 17-31.

19. Шапоринский, С. А. Обучение и научное познание / М.: Педагогика, 1981. – 208 с.

13. Sommerfeld, A. Elektronentheorie der Metalle auf der Grundlage der Wellenstatistik / Naturwissensch – 1927. – Vol. 15. – P. 825. / Zommerfel'd, A. Elektronnaya teoriya metallov na osnove volnovoy statistiki / UFN. – 1928. – Т.8., Vyp.6. – S.765 – 780.

14. Vihman, EH. Kvantovaya fizika (Berkleevskij kurs fiziki) / M.: Nauka, 1986. – 392 s.

15. Gaponenko, S.V. Ispuskanie i rasseyanie sveta v nanostrukturah: rol' plotnosti fotonnyh sostoyanij / Izvestiya Akademii Nauk. Seriya fiz. 2004. T.68, №1 – S. 115–118.

16. Golin, G.M. Obrazovatel'nye i vospitatel'nye funkicii metodologii nauchnogo poznaniya v kurse fiziki / M.: MOPI, 1986. – 95 s.

17. Fejnman, R. Kvantovaya ehlektrodinamika / red. V.P. Silina. M.: Mir, 1964. – 220 s.

18. Fejnman, R. Statisticheskaya mekhanika. Kurs lekcij / M.: Mir, 1975. – S.17–31.

19. Shaporinskij, S.A. Obuchenie i nauchnoe poznanie / M.: Pedagogika, 1981. – 208 s.

## INDUCTIVE-HISTORICAL APPROACH IN TEACHING PHYSICS FOR MEDICAL STUDENTS TRANSFORMATION OF PHYSICAL CONCEPT

*Khilmanovich V. N.*

Educational Establishment “Grodno State Medical University”, Grodno, Belarus

*The article presents the history of appearance, development and transformation of one of the fundamental concepts of quantum physics - density of states. The works of scientists who have made a major contribution to the history of the concept are considered. The examples of application of the concept in modern physics are given.*

**Keywords:** *density of states, inductive-historical approach, quantum physics.*

*Поступила: 01.12.2015*

*Отрецензирована: 29.12.2015*