

АЙНЩАЙНОВАТА *ANNUS MIRABILIS* 1905

Михаил Бушев*

Само за една година - 1905 г. - Айнщайн създава три епохални теории: специалната теория на относителността (СТО), теорията на Брауновото движение (БД) и квантовата теория на фотоелектричния ефект (ФЕ). Тази година на творчески взрив - Айнщайновата *ANNUS MIRABILIS* - ни изправя пред загадката: кой е общият корен на тези видимо различни проблеми, какво ги е свързвало така тясно в контекста на съществуващата към началото на XX век физична картина на света? В предложената тук симетризирана връзка на физичните теории, центрирани около явленията на светлината, Айнщайновата изследователска програма от *ANNUS MIRABILIS* е представена като отговор на гения към физиката от началото на XX век.

*“Никога не ще престана да размишлявам
върху природата на светлината”*
А.Айнщайн^[1]

1. *ANNUS MIRABILIS*

Годишите на страшната чумна епидемия, от края на 1665 до началото на 1667, младият Исак Нютон прекарва в родния си дом в Улсторп. Тогава той създава фундаменталните си идеи в механиката, астрономията, гравитацията, оптиката, флуksiите. Историците наричат този период на творчески взрив Нютоновите *ANNI MIRABILI*^[2].

През 1905 г. 26-годишният експерт от патентното бюро в Берн (Швейцария) Алберт Айнщайн публикува в списанието *ANNALEN DER PHYSIK* 5 статии, които полагат началото на три фундаментални направления във физиката: квантовата теория (КТ), Брауновото движение (БД) и теорията на относителността (ТО). Разстоянието на времето и цялостното развитие на научната мисъл през изтеклия XX век, така ярко осветена от идеите на Айнщайн, позволяват без колебание да наречем тази година “Айнщайновата *ANNUS MIRABILIS*”^[3].

Да припомним кратко някои основни факти за тези трудове:

- (1) “*ЗА ЕДНА ЕВРИСТИЧНА ГЛЕДНА ТОЧКА ВЪРХУ ВЪЗНИКВАНЕТО И ПРЕВРЪЩАНЕТО НА СВЕТЛИНАТА*”^[4]
(постъпила през м. март). За първи път идеята за светлинните кванти (фотоните) се прилага за обяснението на фотоефекта, фотойонизацията и др. Айнщайн е удостоен с Нобеловата награда

* ст. н. с. д-р, ИФТТ, БАН

(за 1921 г.) като висока оценка за “трудовете му по теоретична физика и конкретно за откритието на закона на фотоелектричния ефект”.

- (2) *“НОВО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЛЕКУЛНИТЕ РАЗМЕРИ”*^[5] (м. април). Това е докторската дисертация на Айнщайн. Получена е връзката между подвижността и коефициента на дифузия.
- (3) *“ЗА ДВИЖЕНИЕТО, ИЗИСКВАНО ОТ МОЛЕКУЛНАТА ТЕОРИЯ НА ТОПЛИНАТА, НА ЧАСТИЦИ, СУСПЕНДИРАНИ В НЕПОДВИЖНА ТЕЧНОСТ”*^[6] (м. май). Построена е теорията на Брауновото движение, демонстрирана е реалността на молекулите и на тяхното топлинно движение, разработени са статистически методи за анализ на това движение.
- (4) *“КЪМ ЕЛЕКТРОДИНАМИКАТА НА ДВИЖЕЩИ СЕ ТЕЛА”*^[7] (м. юни). Построена е СТО, в която динамиката на тела и полета е обединена от релативистичната инвариантност на движението в четиримерния пространствено-времеви континуум.
- (5) *“ЗАВИСИ ЛИ ИНЕРЦИЯТА НА ТЯЛОТО ОТ СЪДЪРЖАЩАТА СЕ В НЕГО ЕНЕРГИЯ?”*^[8] (м. септември). Показва се, че отговорът е положителен и е направен извод, че “Ако теорията съответства на фактите, то излъчването пренася инерция между излъчващите и поглъщащите тела”.

Всяка от тези работи решава конкретни физически проблеми. Но заедно с това съдържа лесно разпознаваеми признаци на програмност, която се потвърждава от по-нататъшните изследвания на Айнщайн по КТ (специфични топлини на телата, изпускане и поглъщане на лъчение, квантова теория на едноатомен идеален газ и др.), по квантова статистика (сериата от работи по Бозе - Айнщайнова статистика) и по ТО (чието развитие кулминира в ОТО и продължава в опитите за построяване на единна теория на полето.).

2. ЗАГАДКАТА НА ANNUS MIRABILIS

Публикациите на Айнщайн от 1905 г. са върху три толкова различни области на физиката, че изглежда непостижимо как техният автор е съумял да ги обхване практически едновременно в изследванията си. Известно е, че и днес, почти столетие по-късно, ТО, КТ и БД са твърде различни глави в курсовете по теоретична физика. Дори в задълбочените биографични изследвания върху творчеството на Айнщайн, както и в спомените на негови сътрудници и

съвременници преобладава разделното обсъждане на трудовете от *ANNUS MIRABILIS*.

“Но как в неговия ум се е зародило това чудо? Този въпрос е . . . нелогичен. Защото ако нашият разум би могъл да се справи с въпроса за това “как”, то вече не би имало чудо.” Така пише самият Айнщайн за Нютон^[9].

Няма да стъпваме върху несигурната почва на психологията на творчеството с въпроса: как в ума на Айнщайн се е зародило това чудо? А ще се опитаме да изясним по каква логика на физичната проблематика към началото на XX век изследванията на Айнщайн към 1905 г. са части от един общ проблем.

А че такава постановка на въпроса е допустима и разумна, проличава от думите на такива близки до Айнщайн учени като Луи дьо Бройл, Макс Борн и Волфганг Паули. През 1949 г. Дьо Бройл пише: “Не е случайно, че създателят на теорията на относителността е също предвестник на вълновата механика и на съвременната квантова теория^[10]. Пак през 1949 г. Борн заявява: “Айнщайновото разбиране за физическия свят не може да се раздели на водонепроницаеми отделения и не бихме могли даже да си въобразим, че той е можел да подмине някои от фундаменталните проблеми на съвременността”^[11]. А Паули с присъщата си категоричност отбелязва (1958 г.): “Доколко тясно са свързани по онова време (1905 г.) помежду си работите на Айнщайн по ТО и КТ проличава от неговия доклад, прочетен през 1908 г. на конгреса на естествоизпитателите в Залцбург”^[12]. Може само да се съжالياва, че такъв проникателен учен като Паули не си е поставил за цел да проследи докрай тази “тясна връзка”.

Но и самият Айнщайн в споменатия доклад^[13], макар че подчертава с пророческа дълбочина връзката между ТО, КТ и статистиката, все пак оставя зад екран логиката, от която се е ръководел в изследванията си към 1905 г.

По-късно обаче Айнщайн дава ясно да се разбере, че действително съществува проблем, свързан с публикациите му от *ANNUS MIRABILIS*. Това става през 1922 г., когато за пръв път (в Япония) са издадени събраните му научни трудове. В краткия предговор Айнщайн пише: “Бих желал да обърна особено внимание на моите млади колеги върху работите по СТО, теорията на БД и КТ, публикувани от 1905 до 1917 г. и съдържащи идеи, на които според мен не е обърнато достатъчно внимание”^[14].

Твърде вероятно е Айнщайн да говори за проблем, който се намира на пресечницата на споменатите от него три направления, проблем, който изниква от дълбокия корен на тяхното единство.

3. СВЕТЛИНА И ПРОТИВОРЕЧИЯ

Какво е състоянието на физиката в навечерието на *ANNUS MIRABILIS*? Пред прага на XX век научната общност е била склонна да оценява състоянието във физиката общо взето като безконфликтно. Например лорд Келвин вижда само “две малки облачета” на небосклона на физиката, а сред физическата общност нерядко се чуват мнения, че сградата на физиката е практически завършена.

Казват, че талантливият решава проблеми, които другите не могат, а геният решава проблеми, които другите не виждат. Онова, което категорично отличава Айнщайн от неговите съвременници, е оценката за състоянието на идеите във физиката към началото на XX век. В многобройните му по-късни публикации се съдържа критичен анализ на съществуващите теории и се разкриват областите на противоречия, които по онова време още не са били забелязани от научната общност. Ето как Айнщайн характеризира в своите “Автобиографични бележки” (1949 г.) състоянието на физиката към началото на XX век: “Въпреки че в отделни области тя процъфтяваше, в принципиалните неща господстваше догматичен застой. В началото (ако е имало такова) Бог е създал Нютоновите закони за движението заедно с необходимите маси и сили. С това всичко се изчерпва; останалото трябва да се получи по дедуктивен път като резултат от разработката на съответните математични методи”^[15].

Оформилите се до края на XIX век фундаментални физични теории са: Нютоновата динамика (Д), електродинамиката (ЕД) на Фарадей - Максвел и феноменологичната термодинамика (ТД).

За термодинамиката Айнщайн смята, че това е единствената физична теория, която в рамките на валидност на основните си понятия никога няма да бъде опровергана^[16].

Нютоновата динамика Айнщайн нарича “основа на механиката” и “програма на всички теоретични изследвания във физиката до края на XIX век”, програма на оптиката (корпускулна и по-късно вълнова) и основа на кинетичната теория на топлината^[17]. Слабости на тази теория са схващанията за абсолютни пространство и време, учението за светлината като съставена от материални частици, произволната същност на силите на взаимодействие и т.н.^[18].

Електродинамиката противопоставя непрекъснатото поле и дискретните материални частици на динамиката и така става основа на вълновата теория на светлината, утвърдена от опита. ЕД е втора програма в теоретичната физика и при това конкурираща се, а не допълваща се с Д^[19].

Айнщайн пръв осъзнава областите на конфликти между фундаменталните теории, посочва ги и търси изход от тях.

Особено категоричен е конфликтът на Д и ЕД в явленията на разпространение на светлината (например в опита на Микълсън - Морли). Електронната теория на Х. Лоренц (ЕТЛ) е опит да се обединят Д и ЕД чрез компромис между континуалността на електромагнитните полета и дискретността на електричните товари (Нютонови частици). Но и тази теория е затруднена от светлината: опитът на Микълсън - Морли не може да бъде обяснен без допълнителни (ad hoc) хипотези^[20].

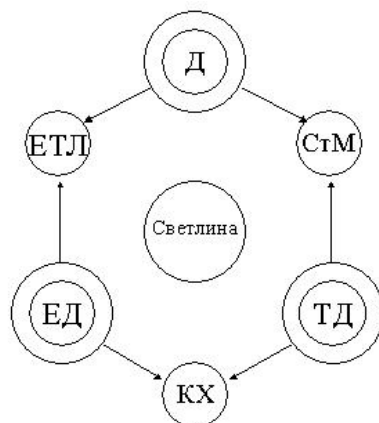
ТД и ЕД се сблъскват в проблема на черното лъчение. Изход от противоречието е хипотезата на Планк (1900 г.), който предполага, че енергията на системата от електромагнитни резонатори е съставена от дискретни порции - кванти. Така светлината отново лежи в корена на противоречието, което налага (отново ad hoc) хипотезата за квантите^[21].

Най-после Д и ТД се сблъскват не само на основата на кинетичната теория (където най-ярки са противоречията обратимост - необратимост и атомизъм - енергетизъм^[22]), но и по въпроса относно поведението на едно тяло под действието на светлинното налягане.

Следователно всички противоречия между фундаменталните теории произтичат от проблеми, свързани по един или друг начин все със светлината. Заварените от Айнщайн теории, представляващи опити за разрешаване на тези противоречия, са:

- (i) Противоречието Д + ЕД - електронната теория на Лоренц (ЕТЛ);
- (ii) Противоречието Д + ТД - статистическата механика (СтМ);
- (iii) Противоречието ТД + ЕД - квантовата хипотеза (КХ).

Казаното се илюстрира от Фиг. 1, в която ясно проличава симетричната връзка на теориите, заварени от Айнщайн, както и лежащият в центъра на тази връзка проблем на светлината.



Фиг. 1. Картина на теориите към *ANNUS MIRABILIS*: фундаменталните теории (Д - динамика, ЕД - електродинамика, ТД - термодинамика), техните противоречия, свързани със светлината, и опитите за решаване на тези противоречия (ЕТЛ - електронна теория на Лоренц, КХ - квантова хипотеза, СтМ - статистическа механика).

4. АЙНЩАЙНОВАТА ПРОГРАМА

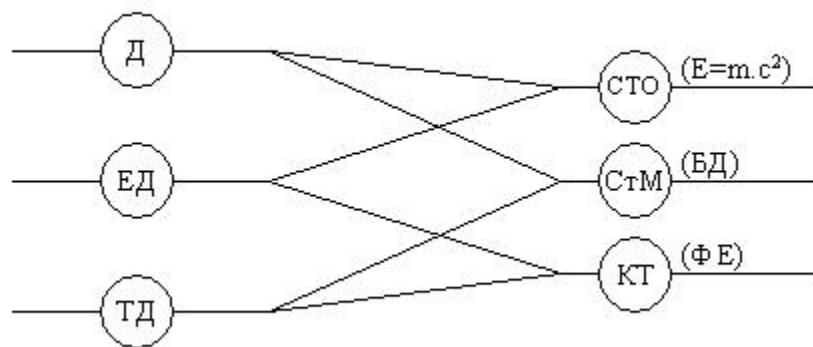
Айнщайн никъде не предлага в явен вид подобна схема. Тя обаче може да се извлече от многобройните му по-късни публикации. Ако приемем, че такава схема лежи в основата на Айнщайновата изследователска програма към *ANNUS MIRABILIS*, ще стигнем до някои твърде любопитни заключения:

- (1) Най-ранните публикации на Айнщайн^[23] - от 1901 до 1904 г. - представляват изследвания върху молекулно-кинетичната теория и статистическата механика. Тези изследвания са продължени в работите (2) и (3) от *ANNUS MIRABILIS*. За този цикъл от работи Айнщайн казва: “Моята главна цел беше да намеря такива факти, които по възможност по-надеждно да установят съществуването на атоми с определени крайни величини”^[24]. Това показва, че в тези изследвания Айнщайн е концентрирал усилията си върху частта от програмата, съдържаща Д-СтМ-ТД. Плод на тези изследвания са неговите резултати по теорията на флуктуациите и конкретно Брауновото движение. Така той стига до неопровержимо доказателство на атомистичната хипотеза^[25], а заедно с това се убеждава, че статистическата механика е в състояние да обедини черти на механичното и термодинамичното описание.

- (2) Айнщайн пръв възприема (хипотезата на Планк за) квантите като физическа реалност и разглежда лъчението като съвкупност от независими кванти^[26]. Това му позволява да подходи към проблема на топлинното лъчение като към проблем за газ от частици - светлинни кванти - в затворен обем. Разглеждайки полупропускливо огледало в полето на такова лъчение (т.е. пластинка в газ от фотони), Айнщайн стига до получената в по-раншните си изследвания формула за средния импулс на Браунова частица. Това разглеждане ни извежда по естествен начин до проблемите на частта ЕД-КХ-ТД, в която Айнщайн конкретно изследва явленията фотоефект, фотойонизация и др. Така се утвърждава идеята за структурност на лъчението (корпускулен аспект на светлината) и на почвата на дилемата вълновост-корпускуленост на преден план се извежда противоречието Д-ЕД. Фотоефектът показва, че теорията на Максвел не е валидна за всички случаи, свързани с разпространението на светлината.
- (3) Навлизайки в третата част на програмата, ЕД-ЕТЛ-Д, Айнщайн се опира на релативистичната инвариантност на ЕД^[27]. Но тъй като знае, че теорията на Максвел не е вярна във всички случаи (напр. фотоефекта), той изхожда от общия постулат за инвариантност на природните закони относно Лоренцовите трансформации. В построената от него специална теория на относителността (СТО), той постига обединение на Д + ЕД, което е свободно от недостатъците на ЕТЛ, а като следствие стига до връзката между енергията и инертната маса. Идеята за маса на лъчението на свой ред убеждава Айнщайн, че то притежава някаква структурност. Превръщането на светлинния квант $h\nu$ в енергия на електрона ε (и обратно) връща Айнщайн отново до фотоефекта^[28].

Така се затваря целият цикъл на програмата, в чийто център стои светлината. В този цикъл клетката ЕТЛ (Фиг. 1) е заменена със СТО, КХ вече е със статут на КТ, а в клетката на СтМ атомизмът вече се е превърнал от хипотеза в теория.

Айнщайн е имал силен усет не само за противоречията, но и за асиметрията в една теоретична постройка^[29]. Възможно е създадените от него три теории - СТО, БД и ФЕ - да са били резултат на подчертания му стремеж към унификация и симетрия на теориите - например във вида, предложен на Фиг. 2.



Фиг. 2. Унифицираната (и симетризирана) картина на физическите теории, възникнала след *ANNUS MIRABILIS*.

Иска ми се да вярвам, че тази картина на симетризирана унификация съдържа поне частично решение на загадката на Айнщайновата *ANNUS MIRABILIS*.

5. АЙНЩАЙНОВИТЕ АПОРИИ

Айнщайновата *ANNUS MIRABILIS* събира като във фокус цялото творчество на великия учен. В нея се съдържа както анализът на заварената от Айнщайн физична картина на света, така и неговата собствена научна програма. Център на тази програма, поне в началото, е въпросът за същността на светлината. Търсейки отговора, Айнщайн се изправя пред дилемите полета - частици, континуалност - дискретност, детерминизъм - случайност, обратимост - необратимост, които по дълбочина и острота напомнят древните апории на Зенон (непрестанно решавани и никога неразрешени). Айнщайн не само формулира своите апории (в знаменитите му дебати с Бор, с парадокса АПР и др.), но в разширената си програма, включваща ОТО, прави титанични усилия да ги разреши.

Това е грандиозна научна програма, адресирана към бъдещето. Тя не само показва, че всяка парадигма е само ограничен етап от познавателния процес, че “движението в науката е връщане назад към основите” (Хегел), но и че самото това движение е

неограничено и когато се говори за “край на науката”, това просто означава край на съществуващата парадигма^[30].

ЦИТИРАНИЯ И КОМЕНТАРИ

[1] Паули, В. “Альберт Ейнштейн и его роль в развитии физики”. В: *Физические очерки*, “Наука”, М., 1975 (с. 183).

[2] (а) Карцев, Вл. *Ньютон*. “Мол. гвардия”, М., 1987 (с. 88). (б) Manuel, F. *A Portrait of Isaak Newton*. USA, 1986 (Ch. 4).

[3] Макс фон Лауе в статията “Zu Albert Einsteins 70-tem Geburtstag”,

(*Rev. Mod. Phys.*, v. 21(1949) No 3, p. 348) говори за *Denkwürdige Jahre 1905* (забележителната 1905 година) и за *Schicksalsjahre 1905* (съдбовната 1905 година). А Стивън Уайнбърг в книгите си *The Discovery of Subatomic Particles* (W.H.Freeman & Co, NY, 1983) и *Dreams of a Final Theory* (Vintage, London, 1993) експлицитно говори за годината 1905 като за Айнщайновата *annus mirabilis*.

[4] Ейнштейн, А. *Собр. Науч. Трудов (СНТ)*, т. III. “Наука”, М. 1966 (с. 92).

[5] *ibid.* (с. 75).

[6] *ibid.* (с. 108).

[7] Ейнштейн, А. *СНТ*, т. I, “Наука”, М., 1965 (с. 7).

[8] *ibid.* (с. 36).

[9] Ейнштейн, А. *СНТ*, т. IV, “Наука”, М., 1967 (с. 78).

[10] De Broglie, L. *L'oeuvre d'Einstein et la dualité des ondes et des corpuscules*. *Rev. Mod. Phys.*, v. 21 (1949) N 3 (p. 345).

[11] Борн, М. “Статистические теории Эйнштейна”. В: *Физика в жизни моего поколения*, ИЛ, М., 1963 (с. 178). Тук Борн посочва, че Айнщайн е успял да издигне кинетичната теория на веществото от равнището на допустима, възможна и полезна хипотеза до нивото, на което тя получава наблюдаеми резултати.

[12] Паули, В. Цит. Съч. [1], с. 181.

[13] Ейнштейн, А. Цит. Съч. [4], с. 181.

[14] Ейнштейн, А. Цит. Съч. [9], с. 53.

[15] *ibid.* с. 265.

[16] *ibid.* с. 270.

[17] *ibid.* с. 78.

[18] *ibid.* с. 136.

[19] Трябва да се отбележи, че даже след създаването на квантовата и релативистката теория научната общност е склонна да вижда в Нютон и Максвел “тандем на класическата физика”, а

Максуел е смятан за “достоеен продължител на великото дело на Нютон”, без да се отбелязват противоречията между Нютоновата и Максуеловата картина на света (вж. статията на Н. Бор в: *James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume*. Cambridge Univ. Press, 1931).

[20] **Эйнштейн, А.** Цит. Съч. [9], с. 334. Асиметричното обяснение на електромагнитната индукция, която зависи единствено от относителното движение на магнита и проводника, е съществен недостатък на теорията (на Максуел - Лоренц), тъй като “асиметрията не е присъща на явленията” (Айнщайн, цит. съч.[7]).

[21] **Эйнштейн, А.** Цит. Съч. [9], с. 9.

[22] С установяването (към средата на XIX в.) на универсалния закон за запазването на енергията във физиката възниква плодотворен метод на изследване, наречен енергетичен (а също термодинамичен и феноменологичен), който се абстрахира от вътрешните механизми на процесите и ги разглежда като енергетични превръщания. Към края на XIX в. този метод се абсолютизира във философския възглед на енергетизма (У. Ранкин). Според енергетизма фигуриращата в термодинамиката енергия трябва да се освободи от всякаква връзка с движението на молекулите, а понятието материя да се замени с понятието енергия. Връх на драматичния сблъсък на атомизма с енергетизма е самоубийството на Л.Болцман (1906 г.), който е отчаян от интелектуалната си изолация сред такива могъщи научни противници (енергетици) като Поанкаре, Оствалд, Мах и др.

[23] Първата си научна статия Айнщайн написва във вид на писмо до чичо си през 1895 г. Заглавието говори само за себе си: “Към изследването на етера в магнитно поле”. В статията етерът се разглежда като елемент на физическата реалност наред с електричното и магнитното полета.

[24] **Эйнштейн, А.** Цит. Съч. [9], с. 275.

[25] Даже Оствалд е принуден да признае (в предговора към поредното издание на “Основи на химията”, 1913 г.): “Отделянето и преброяването на газови йони и съгласието на Брауновото движение с кинетичната хипотеза убеждават и най-предпазливия учен в експерименталната доказаност на атомната теория на материята. Така атомната хипотеза беше издигната до положението на добре обоснована теория”. (Срв.: **Millikan, R., Rev. Mod. Phys.**, v. 21 (1949) N 3, p. 343).

[26] Може да прозвучи твърде странно, но Планк, който през 1919 г. получава Нобеловата награда “за откриването на квантите на енергията”, се е отнасял с огромно недоверие към самата идея за скокообразност и прекъснатост. Повечето физици от началото на века са споделяли този скептицизъм. И затова, когато въвежда квантуването, Айнщайн среща силна съпротива. Примерите за това са много.

Дори в Нобеловата си реч (1920 г.) Планк подчертава колко неприемливо (“чудовищно и почти недопустимо”) е за него като класически мислещ физик схващането, че честотата на светлинния квант може да бъде различна от честотата на излъчващия електрон.

А през 1913 г., когато четирима най-изтъкнати немски физици - Планк, Нернст, Рубенс и Вартбург - препоръчват Айнщайн за член на Берлинската академия на науките, те между другото пишат: “Сред големите проблеми, с които е така богата съвременната физика, няма нито един, спрямо който Айнщайн да не е заел своя значителна позиция. Затова той не трябва да бъде упрекуван прекалено силно, че в разглежданията си понякога излиза извън границите на целта, както е например с *неговата хипотеза за светлинните кванти*” (к.м.). Цитат по **М. Борн [11]**, с. 371-2.

Планк неслучайно нарича хипотезата за светлинните кванти “Айнщайнова”. Самият той я възприема по-скоро като удобно средство за описване на черното лъчение. Затова уверено може да се каже, че именно трудът на Айнщайн от 1905 г. поставя началото на квантовата теория.

[27] **Эйнштейн, А.** Цит. Съч.[7], с. 81.

[28] Откритият от А. Комптън ефект (1922 г.) се обяснява с релативистичните формули на Айнщайн за електрона: $\varepsilon = mc^2$, $p = mc$, $m = m_0/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ и с квантовите формули за фотона: $\varepsilon = h\nu$, $p = h\nu/c$.

[29] **Byrne, P.H.** “The Origins of Einstein’s Use of Formal Asymmetries”. *Annals of Science*, v. 38 (1981) 191-206.

[30] **Бушев, М.** “Тезата за ‘край’ на науката и интердисциплинността”. *Светът на физиката*, N 2 (1995).

(С малки съкращения по: М. Bushev. “A Note on Einstein’s Annus Mirabilis”. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, v. 25 (2000) No 3)

