

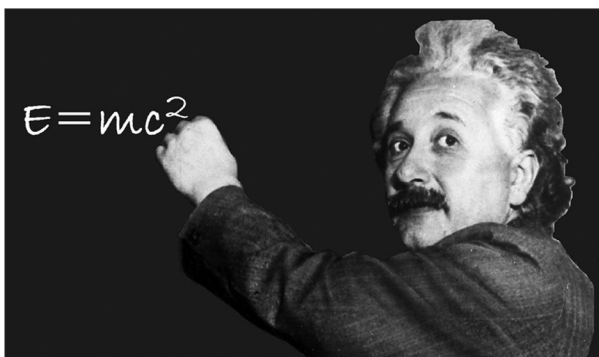
ФОРМУЛАТА НА АЙНЩАЙН: $E_0 = mc^2$ „Не ни ли се надсмива Господ Бог”?

Л. Б. Окун

1. Въведение

Формулата $E = mc^2$ представлява може би най-знаменитата формула в света. В съзнанието на стотици милиони хора тя е свързана със застрашаващото ядрено оръжие. В съзнанието на милиони хора тя представлява символ на теорията на относителността. Многобройните популяризатори на науката убеждават своите читатели, слушатели и зрители в това, че в съгласие с тази формула масата на всяко тяло (всяка частица) нараства с увеличаване на нейната скорост. И само малцина физици – специалисти в областта на физиката на елементарните частици, знаят, че истинската формула на Айнщайн е: $E_0 = mc^2$, където E_0 е енергията, съдържаща се в тялото в покой. И че масата на тялото не зависи от скоростта, с която то се движи, и следователно не зависи от неговата кинетична енергия.

Голямата част от физиците, запознати с теорията на относителността, знаят, че в нея енергията E и импулсът p на свободно движещо се тяло са свързани със съотношението $E^2 - p^2c^2 = m^2c^4$, където m е масата на тялото. Обаче не всички знаят, че тази формула не е съвместима с $E = mc^2$. А още по-малко от тях знаят, че тя е абсолютно несъвместима с $E_0 = mc^2$, понеже E_0 е стойността на E при $p = 0$. Тази статия е написана за онези, които не биха искали да бъдат заблудени в „трите клона” на тези три формули и биха искали по-добре да разбират теорията на относителността и нейната история.



Когато през 1905 г. Айнщайн за пръв път въвежда понятието енергия на покоя и забелязва, че масата на тялото е мяра за съдържащата се в нея енергия, той е така поразен от това, че пише до свой приятел: „Не се ли надсмива над нас Господ Бог и не ме ли води за носа?”. Ще проследим как в продължение на целия си живот той многократно се връща към този въпрос.

Ще видим как формулата $E_0 = mc^2$ прокарва пътя си в трудовете на Айнщайн. Както той старателно подчертава, че масата на тялото зависи от съдържащата се в нея енергия, но никога не твърди (за разлика от своите популяризатори), че тя зависи от нейната скорост. И въпреки това той нито веднъж не се разграничава от приписваната му формула $E = mc^2$, превърнала се в икона на съвременната физика в съзнанието на масовата публика.

2. Пролог. Годиците 1881–1904

Добре известно е, че принципът на относителността води началото си от Галилей и Нютон, а теорията на относителността е построена в трудовете на Лоренц, Поанкаре, Айнщайн и Минковски.

Представата за маса, зависеща от скоростта, възниква в годините, предшестващи създаването на теорията на относителността, и в първите години на нейното съществуване. Тя се оформя в статиите на Томсън, Хевисайд, Сърл, Абрахам, както и на Лоренц и Поанкаре, опитващи се да съгласуват уравненията на електромагнетизма на Максвел с уравненията на механиката на Нютон.

Тези работи стимулират експериментите на Кауфман и Бухерер. Обработвайки експерименталните си данни с помощта на формулите на нерелативистката механика на Нютон, те стигат до заключението, че масата нараства със скоростта.

И работата не е само във формулите, но в самия дух на времето, може да се каже, в самата основа на нерелативистката физика, в която масата е мяра за инерцията на тялото. На границата на XIX и XX век все още е било трудно да се осъзнае, че тази основа се заменя с по-обща: мяра за инерцията на тялото става не нейната маса, а нейната пълна енергия E , равна на сумата на енергията му в покой и кинетичната му енергия. А обстоятелството, че тя влиза с множител $1/c^2$, подтиква към това да нарекат E/c^2 маса. Но по-нататъшното развитие на теорията на относителността, основно свързано с имената на Айнщайн, Минковски и Нютон, показва, че понятието за маса трябва да бъде свързано не с пълната енергия, а само с енергията в покой.

3. Забележителната 1905 г.

През 1905 г. Айнщайн публикува три основополагащи статии, отнасящи се до свойствата на светлината и веществото. В първата от тях той въвежда понятието за квант на енергията на светлината и с негова помощ обяснява закономерностите при фотоефекта, открит експериментално малко преди това. (Стойността на константата на Планк h – кванта на действие, е била въведена преди това.)

Във втората статия Айнщайн разглежда почти цялата съвкупност на следствия от принципа на относителността и крайността на скоростта на светлината. В частност той получава формулата за преобразуване на енергията на светлината при преход от една инерциална отправна система към друга, движеща се със скорост v относно първата:

$$\frac{E'}{E} = \frac{1 - (v/V) \cos \varphi}{\sqrt{1 - (v/V)^2}}$$

Тук V е скоростта на светлината, φ е ъгълът между посоките на движението на светлината и наблюдателя. Той получава и израза за кинетичната енергия на електрона:

$$W = \mu V^2 \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - (v/V)^2}} - 1 \right\},$$

където μ е масата на електрона, а v – неговата скорост.

Освен това Айнщайн извежда изразите за т.нар. надлъжна m_l и напречна m_t маса на електрона, въведени преди това от Абрахам и Лоренц:

$$m_l = \frac{\mu}{\left(\sqrt{1 - (v/V)^2}\right)^3};$$

$$m_t = \frac{\mu}{1 - (v/V)^2}.$$

Последният израз, отличаващ се от този на Лоренц, е неправилен и Айнщайн след това не настоява за него.

Що се отнася до формулата за кинетичната енергия на електрона W и енергията на фотона E , то тези формули Айнщайн ги прилага и в следващата трета статия при установяване на връзката между маса и енергия.

В тази статия Айнщайн разглежда излъчването на масивно тяло в покой на две “количества светлина”, летящи с равни енергии $L/2$ в две противоположни посоки. В тази статия той за пръв път въвежда енергията на покой на масивно тяло, означавайки я до излъчването с E_0 , а след това с E_1 . Поради закона за запазване на енергията:

$$E_0 - E_1 = L.$$

След това Айнщайн разглежда същия процес в отправна система, движеща се относно това тяло със скорост v , и получава за разликата в кинетичната енергия на тялото преди и след излъчването:

$$K_0 - K_1 = L \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - (v/V)^2}} - 1 \right\}.$$

При това той специално отбелязва, че от разликата между кинетичните енергии отпада произволната адитивна константа C , участваща в израза за енергията. В течение на следващите петнадесет години той нееднократно се връща към въпроса за константата C и ние ще я обсъдим по-нататък.

Зависимостта от v на лявата и дясната част на това равенство поради валидността на израза за W е еднаква. Понеже скоростта v до и след излъчването е една и съща, а кинетичната енергия на тялото намалява, непосредствено следва, че масата намалява със стойност L/V^2 . Оттук Айнщайн прави извода: „Масата на тялото е мяра за съдържащата се в нея енергия” и отбелязва, че е възможно това да се провери при разпада на радия.

Прави впечатление и заглавието на статията: „Зависи ли инерцията на тялото от съдържащата се в нея енергия?”. В съчетание с нейното съдържание тя показва, че Айнщайн е смятал именно масата на тялото за мяра на неговата инерция. А това е вярно само в нютоновското приближение. Докато в теорията на относителността, както знаем днес, мяра за инерцията на тялото е пълната му енергия E : колкото е по-голяма пълната енергия на тялото, толкова по-голяма е неговата инерция. (Под мяра за инерция тук имам предвид коефициента на пропорционалност между импулса и скоростта.

Единен коефициент на пропорционалност между силата и ускорението в теорията на относителността не съществува. Това го установяват още Абрахам и Лоренц, когато въвеждат надлъжната и напречната маса.)

Айнщайн е смятал, че енергията на свободното тяло в теорията на относителността е определена едва с точност до адитивна константа подобно на потенциалната енергия в нютоновската механика. Изглежда, това го довежда до недооценка на собствената му революционна крачка – въвеждането във физиката на понятието за енергия на покой, т.е. няма нищо особено в това, че съществува енергия на покой E_0 , щом енергията е определена с точност до C .

Но както знаем днес, в създадената от него теория няма място за C . В теорията на относителността енергията и импулсът на свободна частица са определени абсолютно еднозначно чрез съотношението $E^2 - p^2 = m^2 c^4$, към което ще се завръщаме нееднократно.

4. “Не ме ли води той за носа?”

Откритието, че масата зависи от енергията, така поразява Айнщайн, че той пише на приятеля си Конрад Габихт: „Освен това в главата ми възникна едно следствие от електродинамичните ми изследвания. Принципът на относителност, свързан с основните максвеловски уравнения, изисква, в частност, масата да бъде непосредствена мяра за енергията на тялото. Светлината пренася маса. Забележимо намаляване на масата трябва да става при радия. Привлекателна и забавна мисъл. Не знам само не ми ли се надсмива Господ Бог, не ме ли води за носа?”.

Изглежда че Бог продължава да води за носа изследователите на теорията на относителността и до днес.

5. Годините 1906–1910. Минковски

1906 г. През 1906 г. Айнщайн публикува две статии по теория на относителността. В първата от тях той разглежда пренос на маса от светлината вътре в кух цилиндър от едната му основа до другата. За да не мръдне цилиндърът като цяло, той поставя условието светлината с енергия E да има маса E/V^2 и по такъв начин възпроизвежда резултата на Поанкаре от 1900 г. Явно, той смята за недопустимо преносителят на енергия и маса сам да няма маса, да бъде безмасов. В друга посочена работа той разглежда метод за определяне на отношението на надлъжната и напречната маса на електрона, въведени преди това от Лоренц и Абрахам. По такъв начин тези две статии в сравнение с предишната представляват крачка назад по въпроса за масата.

1907 г. През тази година Айнщайн публикува четири статии по теорията на относителността. В първата от тях се обсъжда честотата на излъчване на атома. Във втората се подчертава различието между принципа на относителността и теорията на относителността. Своите работи той смята, че се отнасят до принципа на относителността подобно на принципите на термодинамиката. Що се касае до теорията на относителността, той предполага, че тази теория още предстои да бъде построена.

За обсъждания от нас въпрос особено важна е статията, в която е формулиран

принципът на еквивалентност на масата и енергията: „Следва да се отбележи, че опростеното предположение $\mu I^2 = \epsilon_0$ едновременно е израз на принципа на еквивалентност на масата и енергията...”. Опростеното предположение, за което става дума тук, е изборът на произволна константа в израза за енергия.

Най-подробната от публикуваните през 1907 г. работи е статия, която се състои от пет части: 1. Кинематична част (1-6)]; 2. Електродинамична част (7); 3. Механика на материална точка (електрона) (8-10); 4. Към механиката и термодинамиката на системи (11-16); 5. Принципът на относителността и притеглянето (17-20). С тази статия непосредствено е свързана и бележка, съдържаща изправени печатни грешки и уточнения.

Особен интерес за нас представляват частите 4 и 5. В част 4 се обсъжда адитивната константа в енергията и е показано, че тя не влиза в съотношението между импулса, енергията и скоростта на тялото. Частта 5 завършва с думите: „По такъв начин изведената в §11 теорема, че на енергията E съответства маса със стойност E/c^2 , е изпълнено не само за инертната, но и за гравитационната маса, ако е в сила предположението, изведено в §17”. От една страна, в тази фраза се твърди, че както като мяра за инерцията, така и като източник на гравитация е именно енергията, а не масата. А от друга страна, тя може да се разбира и като това, че фотон с енергия E има инертна и гравитационна маса, равни на E/c^2 . Тази нееднозначност на интерпретацията и до днес поражда ожесточени спорове.

1908 г. През 1908 г. Айнщайн съвместно с И. Лауб публикува две статии по електродинамика на движещи се макроскопични тела. Въпреки че тези статии имат отношение към теорията на относителността, те не засягат обсъждания от нас проблем за отношението между енергия и маса.

Най-важният жалон в развитието на теорията на относителността става докладът на Херман Минковски, изнесен през 1908 г. В него за пръв път е предложена четимерната пространствено-времева формулировка на теорията на относителността. Както е известно, в тази формулировка масата на частицата се явява като величина, независеща от нейната скорост.

Колкото и да е парадоксално, по това време се появява и първата статия на Люис, в която масата е обявена като величина, равна на E/c^2 . По-нататъшното развитие и пропаганда на тази гледна точка се получава в статиите на Люис и Толмен.

1909 г. Статията на Айнщайн, публикувана през 1909 г., не се отнася за въпроса за масата и енергията. Но други статии, публикувани пак по същото време, съдържат изказвания, хвърлящи ярка светлина на неговия възглед по този въпрос. Така в статия, съдържаща текст от неговото първо публично изказване (на конгреса на немските естествоизпитатели в Залцбург), Айнщайн пише:

“В изданието през 1902 г. превъзходен учебник по физика на Хволсон (тогава е публикуван немският превод на двутомния *Курс по физика* на О. Д. Хвольсон, издаден в Русия през 1897 г.) във Въведението за ефира се казва: “Вероятността на хипотезата за съществуването на този агент почти граничи с достоверността. Но днес ние вече трябва да смятаме за остаряла хипотезата за ефира”. И по-нататък: “Инертната маса

на телата при излъчване на светлина намалява... Енергията и масата се оказват такива еквивалентни величини както топлината и механичната енергия... Теорията на относителността изменя нашия възглед за природата на светлината в смисъл, че светлината участва в нея не във връзка с хипотетичната среда, но като нещо съществуващо самостоятелно, подобно на веществото”.

1910 г. В статиите от 1910 г. Айнщайн и Хопф обсъждат приложението на теорията на вероятностите при разглеждане на свойствата на излъчването.

По същото време Айнщайн публикува във френско списание голям обзор по теория на относителността, посветен основно на преобразуванията на пространствените координати и времето с кратко изложение на идеите на Минковски за четиримерния свят. Едва в края на статията той споменава, че “масата на всяко тяло зависи от съдържаща се в него енергия... За съжаление, измененията на масата E/c^2 са толкова малки, че понастоящем няма никакви надежди да бъдат експериментално наблюдавани”.

Това, че под съдържаща се в тялото енергия W той разбира енергия на покой, Айнщайн не опровергава.

6. Годините 1911–1915.

По пътя към общата теория на относителността

1911 г. През тази година Айнщайн публикува три статии по теория на относителността. В първата от тях той обсъжда разпространението на светлината в гравитационно поле, тръгвайки от това, че фотон с енергия E притежава инертна и тежка маса, равна на E/c^2 , и получава ъгъл на отклонение на светлината в полето на Слънцето, равен на 0,83 дъгови секунди, което е два пъти по-малко от правилната стойност, която той получава въз основа на общата теория на относителността през 1915 г. (Ще отбележа, че тази “половина на стойността” получава и Золднер още през 1804 г., но Айнщайн не знае за това, тъй като статията на Золднер е дълбоко забравена скоро след публикацията.)

В края на обзорния доклад, основно посветен на часовниците и линийките в теорията на относителността, Айнщайн говори и за обединението на закона за запазване на масата със закона за запазване на енергията: „Колкото и странен да ни изглежда този резултат, заслужава да се посочи, че в някои частни случаи данните, известни от опита, и без теорията на относителността позволяват с увереност да се заключи, че инертната маса се увеличава с нарастване на енергията”. Възможно е той да е имал предвид опитите на Кауфман и Бухерер. Но може и да се мисли, че той е смятал, че масата нараства с увеличаване и на кинетичната енергия и следователно на скоростта.

В бележка се обсъжда съкращаването на дължината на движеща се “пръчка”.

1912 г. Работите на Айнщайн през този период представляват основно опити да бъде създадена общата теория на относителността, включваща и гравитацията. На специалната теория на относителността е посветена само една работа.

В изказванията на Айнщайн, отнасящи се до 1912 г., може да се проследи отбелязаната по-горе двойствена интерпретация на масата – от една страна, като еквивалентна на енергията на покой, а от друга – като мяра за инерцията. В тях се съдържа твърде-

нието, че m трябва да се разглежда като характеристична константа на масивна точка, която не се изменя с движението. Заедно с това се говори, че енергията на свободна частица се определя с точност до произволна адитивна константа. И въпреки това mc^2 е равна на енергията на покой.

1913–1914 г. В голяма статия, публикувана през 1913 г. съвместно с М. Гросман, Айнщайн продължава да обсъжда пропорционалността на инертната и тежка маса, проявена с извънредно висока точност в опитите на Йотвъш, и да разглежда зависимостта на скоростта на светлината c от гравитационния потенциал.

През 1914 г. Айнщайн публикува бележка, в която намират отражение неговите възгледи за понятието маса. За това време се отнася и ръкописът му на конспекта на неговата лекция за специалната теория на относителността. Той обсъжда приноса на гравитационното поле в тежката маса и инертната маса и достига да извода, че инерцията на затворена система напълно се определя от енергията на покой. Приведени са изразите за 4-вектора на енергия-импулса и съотношението $E_0/c^2 = m$, което след това се появява в работата на Айнщайн едва през 1921 г. Да отбележим, че m е наречена маса на покой (Ruhemasse), от което се подразбира, че масите на тялото в покой и в движение са различни.

1915 г. Тази година се ознаменува със завършването на създаването на общата теория на относителността. Но още в предишната статия Айнщайн получава формулите, описващи два важни ефекта на тази теория: прецесията на перихелия на Меркурий и отклонението на светлината от гравитационното поле на Слънцето. Вековното движение на перихелия на Меркурий (около $40''$ на столетие), което не е могло да бъде обяснено с влиянието на известните небесни тела в Слънчевата система, е установено от Льоверие през 1859 г. Айнщайн изчислява, че общата теория на относителността дава $43''$. Но истинското световноизвестно предсказание за отклонението на светлината от $1,7''$ става едва след като то е потвърдено от британската експедиция, наблюдавала Слънчевото затъмнение през 1919 г.

7. 1917 г. Космологичната константа.

1917 г. През тази година излиза популярната книга, в която основно се разглеждат съвместните преобразувания на пространствените и времеви координати. Но в §15 се говори за кинетичната енергия на материална точка, която сега е равна не на $mc^2/2$, а на $mc^2 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ и следователно включва в себе си както собствената кинетична енергия, така и енергията на полето. По-нататък се казва: „Дорелативистичната физика знаеше два фундаментални закона за запазване, а именно закона за запазване на енергията и закона за запазване на масата; тези два фундаментални закона се смятаха за напълно независими един от друг. Теорията на относителността ги сля в един”. И въпреки че от по-нататъшния текст внимателният читател може да заключи, че става дума за $E_0 = mc^2$, малко по-невнимателният читател може да направи извод, че става дума за $E = mc^2$. Обстоятелството, че от време на време Айнщайн включва енергията на покой в понятието за кинетична енергия, не спомага за установяване на яснота по въпроса.

Най-знаменитата статия на Айнщайн от публикуваните през 1917 г. е „Въпроси на космологията и общата теория на относителността”. В нея той за пръв път поставя въпроса за възможна ненулева плътност на енергията на вакуума, която той означава с λ . Тази плътност на енергията е еднаква в цялата Вселена. По същество тя представлява плътността на делокализираната енергия, разлята по цялата Вселена.

Айнщайн въвежда тази космологична константа, наречена λ -член, за да опише в общата теория на относителността стационарната Вселена. Но скоро се изяснява, че да се достигне стационарност по такъв начин, не става. През 1923 г., изучавайки именно тази работа на Айнщайн, Фридман предлага теорията за разширяващата се Вселена. Отначало Айнщайн смята, че Фридман е сгрешил, но след това се съгласява с него. През 1929 г. Хъбъл представя първите наблюдателни данни в полза на разширяващата се Вселена.

През 1945 г. Айнщайн публикува второ издание на „Същност на теорията на относителността” със специално допълнение „За космологичния проблем”, посветено на теорията на разширяващата се Вселена.

През периода 1970–1980 г. възниква моделът на експоненциално бързо раздуващата се (инфлационна) Вселена. Според този модел ефективният космологичен член възниква в момента на образуване на Вселената с ненулева вакуумна средна на особено скаларно поле, впоследствие превръщаща се в енергия на частиците.

През 1998–1999 г. две групи, измерващи яркостта и спектъра на свръхновите звезди, достигнаха до извода, че темповете на разширение се ускоряват. Всички данни показват, че в обикновената материя се съдържат едва 4 % от енергията на Вселената, около 24 % представляват частиците на т.нар. тъмна енергия, чиято природа до днес не е изяснена, и приблизително 70 % от цялата енергия на Вселената съществува във вид на космологичната константа. Започнаха да я наричат тъмна енергия. Така бе възродена идеята на айнщайновия λ -член.

8. Годиците 1918–1920. Еми Ньотер

1918 г. През 1918 г. от печат излиза забележителната работа на Еми Ньотер, в която, в частност, е доказано, че динамичните закони за запазване следват от свойствата на симетрия на пространство-времето. Ние знаем, че запазването на енергията е следствие от еднородността на времето, а запазването на импулса – следствие от еднородността на пространството. Запазването на момента на импулса (ъгловият момент) следва от изотропността на пространството: физиката не се изменя при въртене на координатните оси в плоскостите xu , yz , zx . Аналогично, лоренц-инвариантността е следствие на това, че физиката не се променя при псевдоевклидови въртения в плоскостите xt , yt , zt .

В писмо до Хилберт Айнщайн отбелязва това откритие на Ньотер: „Вчера получих много интересната статия на г-жа Ньотер за построяване на инвариантите. Впечатлен съм, че такива неща могат да се разглеждат от такава обща гледна точка. Старата Гьотингенска гвардия няма да загуби, ако бъде пратена на обучение при г-жа Ньотер. Явно тя добре владее своя занаят”.

Скоро Айнщайн праща за печат статията си за запазването на енергията в общата теория на относителността, в която, в частност, се твърди, че енергията на затворена система играе ролята както на инертна, така и на тежка маса.

1919 г. От публикациите през 1919 г. заслужава да се отбележат краткото съобщение „Проверка на общата теория на относителността” за откритието на отклонението на светлинни лъчи от привличането на Слънцето и статията във вестник Times „Какво представлява теорията на относителността?”. В нея Айнщайн, в частност, пише: „Най-важният резултат от специалната теория на относителността се отнася за инертната маса на материална система. Оказва се, че инертната маса на системата трябва да зависи от съдържащата се в нея енергия, което води до представата, че инертната маса представлява не нещо друго освен скрита енергия. Законът за запазване на масата губи своята независимост и се слива със закона за запазване на енергията”.

1920 г. Към 1920 г. се отнася черновата на голямата популярна статия „Фундаменталните идеи и методи на теорията на относителността, представени в тяхното развитие”, над която Айнщайн работи по поръчка на списание Nature, но която така и остава непубликувана.

По това време в берлински вестник се появява писмото на Айнщайн „Моят отговор”, което започва с думите: „Под претенциозното название „Работно обединение на немските естествоизпитатели” се е събрало пъстро общество, чиято близка цел се свежда до това да развенчае теорията на относителността в очите на нефизиците, а заедно с това и мен като неин автор”.

По-нататък Айнщайн пише: „Имам всички основания да считам, че в дъното на това начинание съвсем не стои стремежът към истината... Отговарям само защото приятелите ми ме помолиха да изкажа своята гледна точка.

Преди всичко защото, доколкото ми е известно, днес едва ли може да се намери учен сред онези, които са дали значим принос в теоретичната физика и които не биха признали, че теорията на относителността е логически напълно затворена и е в съгласие с всички твърдо установени опитни данни. Най-известните физици теоретици – ще назова Х. А. Лоренц, А. Зомерфелд, М. Лауе, М. Борн, Дж. Лармор, А. Едингтън, П. Дебай, П. Ланжвен, Т. Леви-Чивита – стоят на почвата на теорията на относителността и сами активно работят над нея.

Упрекват ме и в това, че се занимавам с пошла реклама на теорията на относителността. Мога само да заявя, че цял живот съм обичал добре обмислените, трезви изречения и лаконичния стил”.

9. 1921 г. „Същност на теорията на относителността”.

През 1921 г. Айнщайн е поканен в Принстън и там чете лекции, съставили книгата му *Същност на теорията на относителността*. В тази книга той за пръв път максимално публично и еднозначно описва това, което той разбира под еквивалентност на енергия и маса. В уравненията той привежда изразите за компонентите на 4-вектора на енергия-импулса на тялото чрез неговата маса и скорост. В уравнение

привежда израза за енергията на тяло в състояние на покой чрез неговата маса: $E_0 = mc^2$. В друго уравнение привежда израза за енергията при малка скорост q : $E = m + mq^2/2 + 3mq^4/8 + \dots$ (в единици, в които $c = 1$). В текста между уравненията той пише: „По такъв начин масата и енергията са сходни по същество – това е само различен израз на едно и също. Масата на тялото не е постоянна, тя се изменя заедно с нейната енергия”. След това следва забележка за това, че излъчването на енергия в радиоактивните разпади е обусловено от „еквивалентността между масата на покой и енергията на покой”. При радиоактивния разпад сумата на получената маса винаги е по-малка от масата на разпадащото се ядро. Разликата се проявява както във вид на кинетична енергия на родените частици, така и във вид на освободената енергия от излъчването”.

В тези изказвания заслужава да бъдат отбелязани три обстоятелства. Първо, при ясното определение в уравненията на масата като величина, независеща от скоростта, в използването за нея на термина „маса на покой” се подразбира, че масата зависи от скоростта. Второ, отсъствието на явно потвърждение, че масата се изменя с изменение на енергията на тялото, но не с неговата скорост. И трето, твърдението, че масата и енергията – „са само различни изрази на едно и също”, докато същевременно масата е релятивистки инвариант, т.е. четиримерен скалар, а енергията е четвъртата компонента на четиримерния импулс. Възможно е именно от тези не напълно точни думи, съпровождащи напълно ясните формули, много от читателите и до днес да не виждат в публикацията ясното изказване в полза на $E_0 = mc^2$ против $E = mc^2$.

Заслужава да се спомене и малката популярна брошура *Теория на относителността*, в която авторът И.Леман благодари на Айнщайн за ценните указания. Леман е възхитен от дълбочината и изяществото на мисълта на Минковски и подчертава огромния запас от енергия, съществуващ във форма на маса.

10. Годините 1927–1935

1927 г. През 1927 г. по света се провеждат конференции, посветени на двеста-годишнината от смъртта на Нютон. Айнщайн се отзовава с ред статии. Той пише: „Учението на Нютон не дава никакво обяснение на забележителния факт, че цялата инерция на тялото се определя от една и съща величина – масата. Той самият е поразен от този факт”.

През 1927 г. на първо място благодарение на трудовете на Айнщайн става ясно, че инерцията и теглото на движещите се тела се определят не от тяхната маса, а съответно от тяхната енергия E и стойността на $\mathbf{p}/E$, където $\mathbf{p}$ е вектор на енергия-импулса. В Нютонова граница и двете се свеждат до енергия на покоя, т.е. масата. Такова е простото обяснение за равенството на инертната и тежка маса в Нютоновата механика, което дава теорията на относителността.

Но Айнщайн, както виждаме, продължава да се ползва от старата нерелятивистична терминология.

1928 г. В статията „Фундаменталните понятия на физиката и измененията, които

станаха с тях последно време” Айнщайн формулира отношението си към проблема за причинността в квантовата механика:

„По такъв начин теорията на полето разклати фундаменталните понятия за време, пространство и материя. Обаче една от опорите на зданието остана незасегната: хипотезата за причинност. Законите на природата са такива, че от състоянието на света в някакъв момент на времето еднозначно следват всички други негови състояния както в миналото, така и в бъдеще.

Обаче понастоящем възникват сериозни съмнения относно така разбирания принцип на причинност. Тези съмнения са обусловени не от стремежа на учените към сензации. Подтик станаха факти, които изглеждат противоречащи на теорията на строгата причинност. Полето, разглеждано като физическа реалност от последна инстанция, не позволява по надлежен начин да се обяснят отделните факти, свързани с излъчването и строежа на атома. Именно тук се сблъскваме с проблеми от такава сложност, че тяхното преодоляване изисква чудовищно напрежение на интелектуалната мощ у съвременното поколение физици”.

Този проблем беше решен по същество след 20 години в две статии на Файнман по квантова електродинамика, но когато това стана, Айнщайн не го забеляза. Изглежда, защото смяташе, че цялата квантова физика нарушава причинността.

1929 г. В статия в Британската енциклопедия Айнщайн описва 4-векторното пространство-време, не споменавайки Минковски и напълно заобикаляйки с мълчание 4-мерното пространство на енергия-импулса.

В реч на тържественото заседание, посветено на 50-годишнината от защитата на докторската дисертация на Планк, на което на Айнщайн е връчен медалът на Планк, той отново се връща към проблема за причинността в квантовата механика: „Въпреки че съм дълбоко убеден, че ние няма да спрем на нивото на субпричинност, а ще достигнем, в края на краищата, към свръхпричинност, в смисъла, за който се говореше по-горе, аз се възхищавам от работите на физиците от младото поколение, обединени под названието квантова механика, и вярвам в правилността на тази теория. Обаче аз смятам, че ограниченията, водещи към *статистическия* характер на нейните закони, трябва своевременно да бъдат отстранени”.

1934–1935 г. На 29 декември 1934 г. *Питсбург пост-газет* публикува интервю с Айнщайн под заглавие „Надеждата за атомна енергия се отхвърля от Айнщайн”. През декември 1934 г. на съвместното заседание на Американското математическо общество, Американското физическо общество и Американското общество за развитие на науката Айнщайн прочита лекцията „Елементарен извод на еквивалентността между маса и енергия”, която по-късно, през 1935 г., е публикувана в Бюлетина на Американското математическо общество.

Айнщайн си е поставил задачата да докаже еквивалентността между маса и енергия, основавайки се само на три предположения: „освен преобразованията на Лоренц, само на законите за запазване на енергията и импулса”. Още на първите страници той въвежда 4-вектора на скоростта и умножавайки го на масата m , получава 4-вектор,

чиито пространствени компоненти – както предполага той – естествено е да считаме за импулс, а времевата компонента – за енергия” и по такъв начин да припишем на частицата в покой и *енергия на покой* m (mc^2 в обичайните единици)”.

„Но – казва той – отникъде не следва, че... именно този импулс удовлетворява закона за запазване на импулса, а тази енергия – закона за запазване на енергията... Освен това не е толкова ясно какво трябва да разбираме под *енергия на покой*, понеже енергията се определя с точност до неопределена адитивна константа...” И продължава: „Сега ние ще покажем, че ако законите за запазване на енергията и импулса са верни във всички координатни системи, свързани помежду си с преобразованията на Лоренц, то енергията и импулсът действително са определени от приведените по-горе формули и предполагаемата еквивалентност на масата и енергията на покой наистина съществува”.

И Айнщайн пристъпва към доказване на това, че законите за запазване наистина са изпълнени за разглеждания от него 4-импулс. За тази цел той разглежда енергията и импулса на две частици до и след тяхното сблъскване в различни Лоренцови координатни системи и достига до извода: „По такъв начин енергията на покой при нееластично сблъскване се изменя адитивно, както и масата. Що се отнася до енергията на покой, то тя се определя, както това следва от самото понятие за енергия, само с точност до адитивна константа, и ние можем да наложим условието E_0 да става нула, заедно с m . При това $E_0 = m$, което е и доказателство за принципа на еквивалентност между инертната маса и енергията на покой.

Прави впечатление, че в тази лекция Айнщайн нито веднъж не споменава за теоремата на Ньотер, според която запазването на 4-импулса и лоренц-инвариантността са свойства, обусловени от симетрията на пространство-времето на Минковски. Той предпочита да извежда свойствата на бинарните сблъсквания в тримерното пространство, отделно предполагайки лоренц-инвариантността и запазването на енергия-импулса.

На 4 май 1935 г. той публикува в *Ню Йорк Таймс* некролог в памет на Еми Ньотер, в който оценява много високо нейните заслуги в математиката, но отминава с мълчание теоремата, която е така важна за физиката. Последователно изложение на законите за съхранение на основата на свойствата на симетрия на пространство-времето в духа на Ньотер е дадено за пръв път през 1941 г. в *Теория на полето* на Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц.

През 1935 г. е публикувана и знаменитата статия, написана от Айнщайн съвместно с И. Розен и Б. Подолски и посветена на интерпретацията на измерванията в квантовата механика.

Текстът е преведен с незначителни съкращения. Цитираната литература от 120 заглавия е пропусната; заинтересуваните могат да я намерят в оригинала: *Успехи физических наук*, т. 178, вып. 5, стр. 541–555 (2008). – Бел. прев.

(Продължава в кн. 2)

ГОЛЕМИТЕ ПРОЕКТИ НА ЕВРОПЕЙСКАТА НАУЧНА ИНФРАСТРУКТУРА

Д. Динев

1. E-ELT: европейският извънредно голям телескоп

Европейският извънредно голям телескоп (European Extremely Large Telescope, съкр. EELT) е революционен научен проект за построяването на наземен телескоп с диаметър на главното огледало 39.3 m. Телескопът ще работи в оптичната и близката инфрачервена област на спектъра. Неговото огледало ще събира 13 пъти повече светлина от най-големия в момента наземен телескоп – The Large Binocular Telescope с диаметър на огледалото 11.9 m, разположен в Аризона.¹

Оптиката на телескопа е проектирана така, че да се коригират изкривяванията в изображението, предизвикани от земната атмосфера,

т. нар. адаптивна оптика. За първи път атмосферните деформации ще се коригират по цялото зрително поле. Това ще позволи получаването на изображения, с 16 пъти по-висока разделителна способност от тази на космическия телескоп „Хъбъл“.

Строителството на E-ELT ще започне през 2012 г., а първите наблюдения са предвидени за 2022 г.

Телескопът ще бъде разположен в южноевропейската обсерватория (ESO) в Чили (Амазония).

Стойността на E-ELT ще бъде 1.1 млрд. евро.

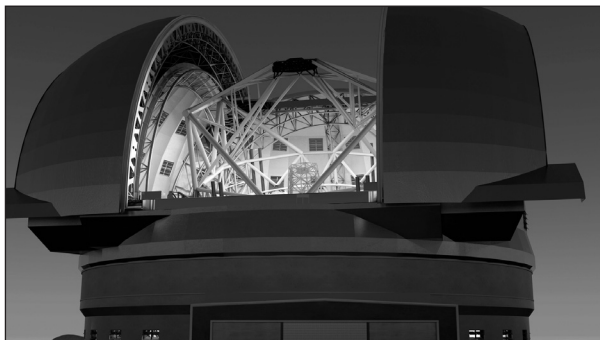
В проекта участват: Австрия, Белгия, Бразилия, Чехия, Дания, Финландия, Франция, Германия, Италия, Холандия, Португалия, Испания, Швеция и Швейцария.

Новият телескоп ще разшири значително нашите възможности за изучаване на екзопланетите, на природата на масивните черни дупки и на тъмната материя, а така също ще позволи да се наблюдават най-ранните обекти в нашата Вселена.

Голямото огледало на телескопа ще се състои от 798 хексагонални сегмента, всеки с широчина 1.45 m. Освен голямото огледало с диаметър 39.3 m оптичната система на телескопа ще използва още четири помощни огледала.

Адаптивната оптика е разработена през 50-те години на миналия век, но нейната реализация става възможна 40 години по-късно и е свързана с усъвършенстването на компютрите.

Когато светлинните лъчи преминават през земната атмосфера, те се изкривяват



Фиг. 1. Европейският извънредно голям телескоп E-ELT

поради локални нееднородности в показателя на пречупване, свързани с вариации в атмосферната плътност и температура. В резултат се променя фазата на светлинната вълна и това води до „размиване” на изображението.

Един от методите за коригиране на атмосферната дисторсия се състои в създаването на „изкуствена звезда” на височина 90 km в горната атмосфера с помощта на лазерен импулс с подходяща дължина на вълната ($\lambda = 589 \text{ nm}$). Този лазерен импулс възбужда D2 линията на атмосферния натрий. След това се измерва разликата във времето на пристигане на вълновия фронт от реалната звезда в предположение, че отсъстват атмосферни турбуленции, и от „изкуствената звезда”. Чрез подходяща деформация на едно от огледалата на телескопа тази разлика във времената се коригира, така че да се получи идеално плосък вълнов фронт.

Коригиращото огледало в една оптична система с адаптивна оптика е направено от стъклена мембрана, дебела само няколко милиметра. От задната страна на мембраната са разположени устройства, които леко деформират огледалото, така че да се коригира изкривеният вълнов фронт.

E-ELT ще използва 6400 подобни устройства (актюатори). Те ще деформират огледалото на телескопа с до 160 μm . Атмосферните деформации ще се коригират 1000 пъти в секунда.

Вместо една изкуствена звезда в E-ELT ще се използват осем, което ще позволи да се коригират атмосферните изкривявания по цялото зрително поле.

2. ESS: европейският спалационен източник на неутрони

За генерирането на импулсни потоци от студени и топлинни неутрони с много висок интензитет се използва т. нар. реакция на раздробяване с удар (spallation reaction, *англ.*, реакция скалывания, *рус.*), при която ускорени до енергия от няколко GeV протони бомбардират мишена, съдържаща тежки ядра². Например при достатъчно дебела мишена от тантал и енергия на бомбардиращите протони 2.2 GeV на всеки налиташ протон в резултат на множествен спалационен процес се раждат 20–30 неутрона. Това са главно „изпарени” от ядрата неутрони с енергия 1–2 MeV. Присъства и малък процент високоенергетични неутрони, получени при преки вътрешноядрени процеси, т. нар. каскадни неутрони.

Импулсният характер на неутронния поток в съчетание с голямата му яркост позволява провеждането на експерименти, които не могат да се реализират с реакторни неутрони. Те осигуряват много висока пространствена и времева разделителна способност, много високо отношение сигнал/шум и покриват широк спектрален диапазон от μeV до eV (0.1 Å–10 Å). Поради много късите импулси ($< 1 \mu\text{s}$) може да се постигне рекордна разделителна способност при експерименти по времето на прелитане.

В Европа от 1985 г. работи ускорителният спалационен източник ISIS. Той е разположен в Ръдърфордската национална лаборатория на Великобритания (RAL). В ISIS се използва синхротронен ускорител на протони с максимална енергия 800 MeV. Той осигурява 100 kW средна мощност на неутронния поток.

От 2006 г. в Оук-Риджската национална лаборатория на САЩ (ORNL, Oak Ridge National Laboratory) работи спалационният неутронен източник от второ поколение SNS. При него средна мощност на неутронния поток е 1.4 MW (енергия на протоните 1.0 GeV, среден протонен ток 1.4 mA, честота на импулсите 60 Hz).

Бъдещият Европейски спалационен източник (ESS) ще бъде построен в Лунд, Швеция. Началото на строителството трябва да започне през 2013 г. и да приключи през 2019 г. Стойността на проекта е 1.5 млрд. евро. В проекта участват: Швеция, Дания, Норвегия, Естония, Латвия, Литва, Исландия, Полша, Германия, Швейцария, Италия, Франция, Испания, Унгария и Великобритания.

ESS е базиран върху линеен ускорител на протони. Неутроните ще се получават в резултат на спалационна реакция при бомбардирането на мишена с ускорени до енергия 2.5 GeV протони. Средната мощност на неутронния поток на ESS ще бъде 5 MW. С тази мощност ESS ще стане най-мощният източник на неутрони в света.

Създадените с помощта на спалационна реакция неутрони ще се охлаждат чрез пропускането им през забавители и след това те ще се насочват към 22 експериментални станции.

В ESS ще се провеждат експерименти със студени неутрони. Ще се изучава структурата на най-разнообразни материали: от полимери до биологични молекули.

Разглеждат се два варианта за мишената, в която ще се създават неутроните: мишена от сплав на олово и бисмут, т. нар. LBE сплав и мишена от волфрам. Сплавта LBE, която е твърда при стайна температура, при работната температура на ESS от над 100°C, преминава в течно състояние. Волфрамовата мишена остава в твърдо състояние до 3000°C и има много висока плътност, което позволява да се генерира интензивен пнеутронен поток. За да се намали топлинното натоварване на волфрамовата мишена, тя ще бъде въртяща се. Предвижда се това да е волфрамов диск с диаметър 2.5 m и дебелина 13 cm. Волфрамовата мишена ще тежи 7 t.

3. European-XFEL: европейският рентгенов лазер със свободни електрони

Лазерът със свободни електрони (Free Electron Laser, съкр. FEL) е източник на кохерентно електромагнитно лъчение, чиято дължина на вълната може лесно и плавно



Фиг. 2. Европейският спалационен източник на неутрони ESS

но да се изменя в широки граници чрез пренастройването на някои макроскопични параметри и който притежава рекордна пикова мощност³.

FEL могат да работят във всички спектрални диапазони: от далечната инфрачервена област (FIR), през видимата област, ултравиолетовото лъчение (UV), вакуумния ултравиолет (VUV), та чак до рентгеновото лъчение (X-ray).

Докато в традиционните лазери се използва стимулираното лъчение на електроните в атоми или молекули (свързани електрони), в FEL се използва стимулираното лъчение на интензивен сноп от електрони, движещи се с релативистични скорости през едно постоянно във времето напречно магнитно поле с редуваща се полярност (свободни електрони). Устройството, в което се създава това постоянно и с редуваща се полярност напречно магнитно поле, се нарича ондулатор.

Както знаем, релативистични електрони, преминаващи през еднородно и постоянно във времето магнитно поле, се движат по дъга от окръжност, изпитват ускорение и излъчват електромагнитно лъчение, наречено синхротронно лъчение.

В един FEL електроните взаимодействат с електромагнитното поле на един оптически резонатор и го усилват. Започва процес на бързо нарастване на натрупаната в резонатора енергия. Това продължава до достигането на насищане, когато се достига до баланс на загубите в резонатора и енергията, предавана на полето от електроните.

Обикновено в FEL се използва оптичен резонатор, образуван от сферични огледала. При много къси вълни ($\lambda_{ph} < 100 \text{ nm}$) обаче отсъстват огледала с отражение от поне 10% и не може практически да се реализира оптичен резонатор. Освен това усилването на електромагнитното лъчение в FEL е пропорционално на $\lambda_{ph}^{3/2}$ и бързо спада с намаляване на дължината на вълната. За много къси дължини на вълната отсъстват и конвенционални лазери, които да служат за източник на начално кохерентно електромагнитно лъчение, което след това да се усилва в FEL при взаимодействието си с електроните.

За генерирането на кохерентно електромагнитно лъчение в UV и в X-ray области се използва еднократното преминаване на електроните през достатъчно дълъг ондулатор. Спонтанното синхротронно лъчение на електроните от първата част на ондулатора взаимодейства по-нататък с електронния сноп и предизвиква модулация на електронната плътност, т.е. микробанчиране. Микробанчирането става при такава относителна фаза на електроните спрямо електромагнитната вълна, че те отдават част от кинетичната си енергия на вълната, като я усилват. Така усиленото електромагнитно лъчение продължава да взаимодейства с електронния сноп и допълнително увеличава дълбочината на модулацията на плътността. Възниква положителна обратна връзка между електронния сноп и електромагнитната вълна: колкото повече излъчват електроните, толкова по-голяма е модулацията на плътността и обратно, колкото по-модулиран по плътност е снопът, толкова той повече излъчва. Лазерите със свободни електрони от този тип се наричат “Лазери със самоусилваща се спонтанна емисия” (Self – Amplified Spontaneous Emission lasers или съкратено SASE лазери).

Първите FEL, излъчващи в рентгеновата област, започват да се разработват след

2000 г. Те притежават рекордна яркост и кохерентност на излъчените рентгенови импулси. Наричат се X-ray FEL, или съкратено XFEL.

В момента работят два XFEL: Linac Coherent Light Source (LCLS) в Националната лаборатория на САЩ SLAC и Spring-8 Angstrom Compact free-electron LAsER (SACLA) в Япония.

LCLS е източник на рентгеново лъчение с над 10^9 пъти по-голяма яркост от тази на конвенционалните източници на рентгенови лъчи. Излъчваните от него импулси са толкова къси (10^{-12} s), че могат да се наблюдават процесите, протичащи в молекулите и атомите. С негова помощ са получени тримерни изображения на структурата на протеини и вируси, изучава се процесът на фотосинтеза, изследват се процесите на катализ и др. LCLS започва работа през 2006 г. и излъчва кохерентно рентгеново лъчение с дължина на вълната $\lambda = 0.1$ nm.

Spring-8 е XFEL с много компактна конструкция. При него електроните са с енергия 8 GeV. Той започва работа през 2010 г. и излъчва в областта на твърдото рентгеново лъчение ($\lambda = 0.6$ Å). Той притежава пълна пространствена кохерентност на лъчението, рекордна яркост, която е 10^9 пъти по-висока от тази на един типичен ондулатор и рекордно къси импулси (<100 fs).

В момента край Хамбург се строи Европейският рентгенов лазер със свободни електрони (European XFEL).

Може да се каже, че работата по Европейския XFEL започва през 1992 г., когато международна колаборация разработва и построява в Германския център за физика на високите енергии (DESY), разположен край Хамбург, тестов вариант на свръхпроводящия линеен ускорител на електрони TESLA, т.нар. TESLA Test Facility, съкр. TTF. С помощта на тази тестова установка се доказва работоспособността на избраната технология. По-късно, през 2000 г., на TTF е тестван и SASE принципът за генериране на кохерентно електромагнитно лъчение с малка дължина на вълната. За първи път е получено излъчване в ултравиолетовата област ($\lambda=80$ nm). През 2003 г. установката TTF е надстроена, така че линеиният ускорител на електрони има вече дължина 260 m. Това позволява електроните да се ускорят до по-висока енергия и да се построи лазер, излъчващ в областта на вакуумния ултравиолет. Сега този VUV-FEL се нарича FLASH, което е съкратено от Free-Electron Laser in Hamburg.

В момента FLASH излъчва и в областта на мекото рентгеново лъчение ($\lambda=6$ nm). Той има пет работни станции, на които се провеждат изследвания по кластерна физика, по физика на твърдото тяло, по физика на повърностните явления, по физика на плазмата и по молекулярна биология. FLASH служи като пилотна установка за бъдещия европейски XFEL.

Строителството на европейския XFEL започва през 2009 г. Очаква се да започне работа през 2015 г.

В колаборацията европейски XFEL участват: Германия (страна домакин), Дания, Франция, Гърция, Унгария, Италия, Полша, Русия, Словакия, Испания, Швеция и Швейцария.



Фиг. 3. Площадката на Германския институт за физика на високите енергии DESY край Хамбург, където ще е разположен Европейският рентгенов лазер със свободни електрони. На преден план се вижда работещият в момента лазер със свободни електрони FLASH, който излъчва в областта на вакуумния ултравиолет и на меките рентгенови лъчи

Стойността на проекта е 1082 млн. евро. Федералното правителство на Германия, федералната област Шлезвиг-Холнщайн и град Хамбург ще поемат 54% от тази сума, Русия покрива 23%, а останалите страни участнички – между 1% и 3.5% всяка.

Европейският XFEL ще се простира от плащадката на DESY край Хамбург в северозападна посока. Пълната дължина на свръхпроводящия линейен ускорител на електрони ще бъде 2.1 km. Той ще е разположен в

подземен тунел на дълбочина от 6 до 38 метра. В този ускорител електроните ще се ускоряват до енергия 20 GeV. За довеждане на електроните до релативистични скорости ще се използват 800 свръхпроводящи ускоряващи резонатора, направени от сплав NbTi и работещи при температура 1.9 K.

Европейският XFEL ще излъчва 27 000 импулса в секунда. Той ще работи в областта на твърдото рентгеново лъчение ($\lambda = 0.05 - 6 \text{ nm}$). Тази дължина на вълната е толкова малка, че прави възможно детайлното изучаване на атомите.

Излъчваните импулси ще бъдат изключително къси ($< 100 \text{ fs}$). Тези извънредно къси импулси ще позволят да се изследва например динамиката на процесите, протичащи в молекулите.

Яркостта на рентгеновото лъчение на Европейския XFEL ще бъде $5 \cdot 10^{32} \text{ photons/(s} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{mrad}^2 \cdot 0.1\% \text{ bandwidth)}$. Това е 10^9 пъти повече от яркостта на най-добрите конвенционални източници на рентгеново лъчение.

Лъчението ще притежава пълна пространствена кохерентност. Това ще позволи да се получават тримерни изображения в атомни мащаби.

4. FAIR: международен ускорителен център за изследвания с антипротони и тежки йони

Германският институт за изследвания с тежки йони (Gesellschaft für Schwerionenforschung, съкр. GSI), разположен край Дармшат, има многогодишни традиции в провеждането на изследвания в областта на ядрената физика, физиката

на плазмата и лъчетерапията с помощта на ускорени до висока енергия снопове от тежки йони⁴.

Ускорителният комплекс на GSI в момента се състои от линейния ускорител на тежки йони UNILAC, тежкоийонния синхротрон SIS-18 и натрупващия и охлаждащ пръстен ESR. UNILAC започва работа през 1975 г. и след поредица от модернизации днес е най-мощният линеен ускорител на тежки йони в света. В него например могат да се ускоряват U^{28+} йони до енергия 11.4 MeV/u при ток на снопа 4 mA. Синхротронът SIS-18 започва да работи през 1985 г. Той може да ускорява йони на всички елементи от периодичната система до уран включително. В SIS-18 например U^{73+} йони се ускоряват до енергия 1 GeV/u при интензивност $5 \cdot 10^8$ ions/pulse. С помощта на модерните методи на стохастичното и на електронното охлаждане на йоните е постигнато рекордно качество на ускорените снопове.

В момента на базата на съществуващите в GSI ускорители се изгражда нов, много по-голям и с много по-богати възможности ускорителен комплекс за изследвания с тежки йони и антипротони, наречен FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research in Europe). FAIR е международен проект. В неговото изграждане участват: Германия (страна домакин), Финландия, Франция, Индия, Полша, Румъния, Русия, Словения и Швеция. Споразумението за започване на строителството на новия ускорителен център е подписано от участващите страни през 2010 г. Стойността на проекта ще бъде 1 млрд. евро, като Германия ще покрие три четвърти от тази сума.

Основа на новия ускорителен комплекс ще бъдат двата големи синхротрона за ускоряване на тежки йони SIS-100 и SIS-300. Всеки един от тези два нови синхротрона ще има периметър на ускорителния пръстен 1083.6 m. И в двата ускорителя за удържане и фокусиране на йоните по кръговата орбита ще се използват свръхпроводящи магнити. В SIS-100 тези свръхпроводящи магнити ще имат максимална сила на полето 2 T, а в SIS-300 – 6 T.

Първият синхротрон, SIS-100, ще ускорява U^{28+} йони до енергия 2.7 GeV/u и протони до енергия 29 GeV.

Вторият синхротрон, SIS-300, ще ускорява U^{92+} йони (уранови ядра) до енергия 34 GeV/u.

Освен тези два нови тежкоийонни синхротрона ускорителният комплекс FAIR ще включва и няколко специализирани ускорителя, разширяващи възможностите за провеждането на изследвания с антипротони и тежки йони. Т.нар. „Колекторен пръстен” (Collector Ring,



Фиг. 4. Международният ускорителен комплекс за антипротони и тежки йони FAIR в Дармицат, Германия

съкр. CR) ще служи за натрупването на вторични снопове от антипротони (енергия 3 GeV/u) и редки радиоактивни ядра (енергия 740 MeV/u). В CR ще има мас-спектрометър за краткоживущи ядра. Радиоактивните йони и антипротоните ще могат да се охлаждат чрез метода на стохастичното охлаждане. В „Акумулиращия пръстен” (Accumulator Ring, съкр. RESR) ще се натрупват антипротони (енергия 3 GeV), след като са били предварително охладени в пръстена CR. Освен това RESR ще позволява бързото забавяне на снопове от редки изотопи до енергия между 500 MeV/u и 100 MeV/u, което ще става само за 1 s. Т.нар. „Нов експериментален натрупващ пръстен” (New Experimental Storage Ring, съкр. NESR) ще служи за провеждането на експерименти с антипротони и радиоактивни йони. Това ще е основният инструмент за атомна и ядрена физика. Натрупаните антипротони и радиоактивни йони ще се охлаждат с помощта на техниката на електронното охлаждане. В NESR ще се провеждат експерименти с вътрешна мишена. Ще има прецизен мас-спектрометър. Ще има опция за бързото забавяне на натрупаните йони до по-ниски енергии. В т.нар. „Натрупващ пръстен за висока енергия” (High Energy Storage Ring, съкр. HESR) ще се натрупват антипротони с енергия 14 GeV. Тук също ще се прилагат техниките на стохастичното и на електронното охлаждане. Ще има и вътрешна газовоструйна мишена. За работа с радиоактивни снопове ще се използва сепараторът на фрагментите Super-FRS.

Новият международен ускорителен център FAIR ще предоставя уникални възможности за провеждането на експерименти с антипротони и тежки йони – стабилни и радиоактивни. Чрез забавянето на натрупаните частици ще могат да се поставят експерименти с антипротони с много ниска енергия.

FAIR ще създава йонни снопове със 100 пъти по-голям интензитет от този на съществуващите йонни ускорители. Синхротронът SIS-100 ще ускорява непрекъснати снопове от тежки йони с интензитет от $3 \cdot 10^{11}$ ions/s и енергия 1 GeV/u. Синхротронът SIS-300 ще доускорява йоните до още по-високи енергии (Ne¹⁰⁺ йони до енергия 45 GeV/u и U⁹²⁺ йони до енергия 34 GeV/u) при интензитет $1.5 \cdot 10^{10}$ ions/pulse. С помощта на новия свръхпроводящ фрагментен сепаратор Super-FRS ще се постигне повишаване на интензитета на вторичните радиоактивни снопове (RIB) до 10⁴ пъти. Ускоряваните във FAIR протони и тежки йони ще имат 20 пъти по-висока енергия от тази на съществуващите в момента в GSI ускорители. Сноповете от протони и тежки йони ще се компресират в плътни пакети (банчове) с много малка дължина. При йонните снопове дължината на банchoвете ще бъде от порядъка на 60 ns, а при антипротоните – 25 ns. Това ще позволи създаването и последващото натрупване на снопове от екзотични ядра. Много късите (~60 ns) и притежаващи голяма енергия (100 kJ) импулси от тежки йони ще открият нови хоризонти за изследвания по физика на плазмата.

5. ITER: международният термоядрен реактор

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) е голям международен проект, целящ да докаже работоспособността на управляемия термоядрен синтез като

източник на енергия⁵. ITER е термоядрен реактор от тип „токамак“. На този голям международен токамак ще се събира информация за поведението на плазмата и на конструктивните материали и ще се изпробват технологични решения, които трябва да доведат до създаването в бъдеще на базирани върху енергията, отделяна при синтеза на леките елементи (деутерий и тритий), електростанции.

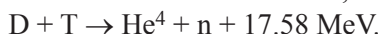
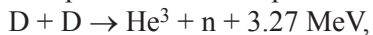
ITER ще бъде разположен в Кадараш (Cadarache), Южна Франция.

В създаването на ITER участват: Китай, Европейският съюз, Япония, Индия, Корея, Русия и САЩ. Те подписват през 2006 г. международно споразумение за разработването на реактора. Стойността на проекта се оценява на 16 млрд. евро.

Както знаем, енергията, запасена в ядрата на атомите, може частично да се освобождава при два типа ядрени реакции – реакция на делене на тежки ядра на по-леки и реакция на синтез (сливане) на леки ядра в едно по-тежко.

Неконтролируема (взривообразна) верижна реакция на ядрено делене се реализира в атомната бомба, а неконтролируема реакция на ядрен синтез – във водородната бомба. Що се касае до контролираното (управляемото) протичане на тези реакции, то управляема верижна реакция на ядрено деление се реализира в ядрените реактори, а управляема реакция на ядрен синтез – в разработваните през последните десетилетия термоядрени реактори.

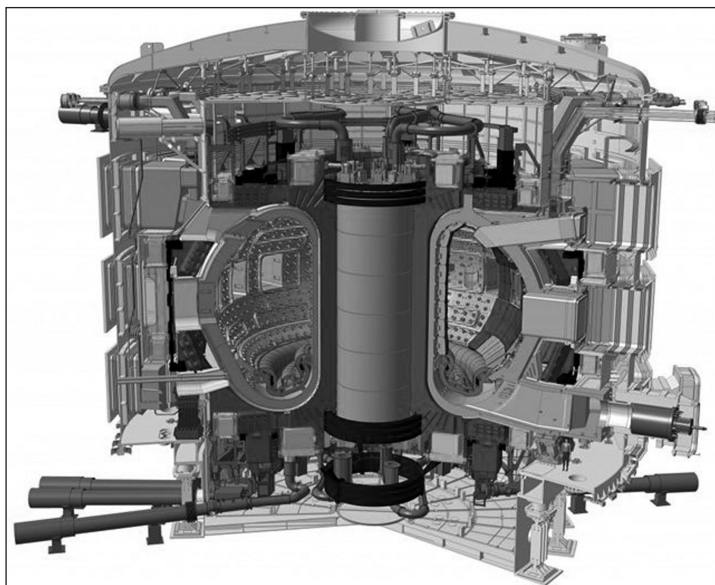
От практически интерес са следните реакции на ядрен синтез:



Токамак е термоядрен реактор с магнитно удържане на плазмата. В него се използва тороидална (пръстеновидна) камера, в която D-T плазма се загрява до необходимата висока температура и се реализира управляема реакция на ядрен синтез между ядрата на трития и деутерия. При ITER температурата на плазмата ще достига до 150 млн. К, десет пъти по-висока от температурата в центъра на Слънцето. Плазменият шнур се удържа от съприкосновение със стените на камерата от едно винтообразно магнитно поле. Това магнитно поле е суперпозиция на две магнитни полета – тороидално и полоидално.

Тороидалното магнитно поле се създава от намотки, които са надянати върху тороидалната камера и по които се пропуска силен ток.

Силовите линии на полоидалното магнитно поле са концентрични на малкото сечение на тороида. За създаването на това поле се използва централен соленоид, който действа като „първична“ намотка на гигантски трансформатор, докато плазменият шнур играе ролята на „вторична“ намотка. При пропускането на променлив ток през централния соленоид в плазмата се индуцира електрически ток, насочен по остта на тороидалната камера. Плазменият ток създава полоидалното магнитно поле. То заедно с тороидалното поле свива плазмения шнур към центъра на тороидалната камера и така я удържа от контакт с нейната стена. Всеки контакт на плазмата със стените на камерата би довел до нейното бързо охлаждане до толкова ниски температури, че протичането на реакцията на



Фиг. 5. Така ще изглежда международният термоядрен реактор ITER в Кадараш, Южна Франция

В ITER удържащото магнитно поле ще се създава чрез пропускането на силен ток през свръхпроводящи намотки. За изработването на свръхпроводящия кабел ще се използва Nb_3Sn сплав. Общо ще са необходими 400 t свръхпроводник или 80 km кабел. Максималната сила на удържащото плазмата магнитно поле ще достига в някои точки до 13 T. В магнитното поле на ITER ще се натрупва гигантската енергия от 50 GJ. Производството на свръхпроводящия кабел започна през 2009 г. и ще продължи до 2013 г.

Много сериозни са изискванията към използваните конструктивни материали. В термоядрения реактор те са подложени на интензивна бомбардировка с неутрони, което предизвиква бързото им разрушаване. Освен това те трябва да издържат на температурни градиенти от 4K до 150 млн. K на разстояние от само няколко метра.

ITER трябва да бъде първият термоядрен реактор, който произвежда повече енергия, отколкото консумира. Общата консумирана мощност ще бъде 50 MW, докато получената от термоядрената реакция мощност се очаква да бъде 500 MW, т.е. десет пъти повече. Тази мощност трябва да се поддържа в течение на повече от 500 s. За сравнение, най-големият работещ в момента термоядрен реактор от тип токамак, Европейският токамак JET в Кулхам (Culham), Великобритания, произвежда само 16 MW в продължение на 1 s.

Строителните работи на площадката в Кадараш започнаха през 2010 г. Началото на монтирането на реактора е предвидено за 2015 г. Междувременно са направени поръчки за изработване на необходимото оборудване. За термоядрения реактор ще са необходими над един милион компонента с висока сложност и прецизност. Общо ре-

синтез би станало невъзможно. Освен това подобен контакт на нагрятата до гигантска температура плазма с камерата би довело до нейното моментално разрушаване.

За да се постигне самоподдържаща се работа на термоядрения реактор при D-T плазма, е необходимо произведението от плътността на плазмата (n) и времето, за което тя се удържа в реактора (τ), да бъде по-голямо от една критична стойност: $n\tau > 10^{20} \text{ cm}^{-3} \text{ s}$ (критерий на Лоусън).

акторът ще тежи 23 хиляди тона, което е три пъти повече от Айфеловата кула. Първите експерименти по управляем термоядрен синтез са планирани за 2019 г.

6. ELI: научна инфраструктура за изследвания с изключително мощни и изключително къси импулси кохерентна светлина

ELI (Extreme Light Infrastructure) е голям европейски проект, ориентиран към разработването на различни приложения на лазерни системи, излъчващи много къси (10 fs) и с много голяма енергия (няколко kJ) светлинни импулси⁶. Проектът е част от пътната карта за изграждането на европейска изследователска инфраструктура (European Strategy Forum on Research Infrastructure, съкр. ESFRI). Той обединява над 40 изследователски и академични институции от 13 европейски страни. В рамките на ELI ще бъдат изградени три лазерни лаборатории: в Република Чехия – за създаването на компактни лазерни ускорители на електрони, в Унгария – за изследване на динамиката на много бързо протичащи процеси, и в Румъния – за изследвания по ядрена физика. Планира се трите обединени лаборатории да бъдат изградени за периода 2011–2015 г. Всяка от трите лаборатории ще струва по 300 млн. евро.

Координатор на проекта ELI е Gerard A. Mourou от Лабораторията по приложна оптика на Националния научен център CNRS на Франция.



Фиг. 6. Така ще изглежда чешката част на проекта ELI, разположена в Прага

Реализацията на проекта ELI ще представлява истинска революция в лазерните технологии. В неговата основа стои създаването на лазерни системи от ново поколение с изключително голяма импулсна мощност, която ще достига 100 PW (1 petawatt = 10^{15} watts). Тази гигантска мощност ще е силно фокусирана, до 10^{24} W/cm². Изградената научна инфраструктура

ще се използва за провеждането на фундаментални изследвания в областите на ядрената физика, физиката на частиците, атомната и молекулната физика, химията, биологията, изследването на материалите и др. Тя ще намери и многочислени приложения в микроелектрониката, нанотехнологиите, създаването на нови материали и др. Създадените на основата на технологията ELI компактни лазерни ускорители на частици ще имат важно приложение в медицината за радиография и за адронна терапия на ракови заболявания.

Лъчението на използваните в проекта ELI лазерни системи ще бъде с над 6 поря-

дъка по-интензивно от това на съществуващите в момента лазери. В лазерната вълна ще се създават електрични полета с гигантска сила, по-голяма от 1 PV/m (10^{15} V/m). Това ще открие богати възможности за провеждането на експерименти за проверка на някои от най-фундаменталните положения на съвременната физика.

Чешката част на ELI ще бъде разположена в Прага. Нейната изследователска програма е ориентирана към създаването на изключително компактни лазерно-плазмени ускорители на частици (електрони, протони, йони) до високи енергии (100 MeV), групирани в много къси и много интензивни импулси.

Унгарската част на ELI ще бъде разположена в Сегед. Тук с помощта на лазерни системи от ново поколение, излъчващи високоинтензивни импулси кохерентна светлина (средна мощност няколко kW и честота на повторение няколко kHz) с изключително малка продължителност, от порядъка на атосекунди (10^{-18} s) и дори на зептосекунди (10^{-21} s), ще се изучава динамиката на електроните в атоми, молекули, плазма и твърди тела.

Румънската част на ELI ще бъде изградена в Магуреле. Тя ще е ориентирана към изследвания по ядрена физика с помощта на лазери. За целта при взаимодействието на лъчението на мощен лазер с ускорен в 600 MeV линеен ускорител електронен сноп ще се генерират интензивни импулси от фотони с висока енергия ($\leq 19 \text{ MeV}$, $10^{13} \text{ } \gamma/\text{s}$). Това ще позволи провеждането на изследвания по фотоядрена физика.

Бележки

1. Шустов, Б. М. Големите оптични телескопи на бъдещето. – Светът на физиката, №1, 2006, с. 19–29.
2. Динев, Д. Мощни импулсни неутронни източници, базирани върху ускорители. – Светът на физиката, № 3, 2001, с. 203–209.
3. Динев, Д. Лазери със свободни електрони. – Светът на физиката, №4, 2002, с. 304–310.
4. Динев, Д. Ускорители на частици. Академично издателство „М. Дринов“, 2006.
5. Динев, Д. Започна строителството на международния термоядрен реактор ITER. – Енергетика, № 8, 2006, с. 23–30.
6. Динев, Д. Екстремна светлина над Чехия, Унгария и Румъния. – Светът на физиката, №2, 2011, с. 129–135.

ДОМАШНИ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ ЗА ФИЗИЦИ

Томас Мърфи-младши

Инсталирането на скромна фотоволтаична система и използването ѝ, за да се хранят няколко домашни уреда, е от образователно значение и е истинско удоволствие. Тази статия, представляваща „как да“ напътствия, ще ви помогне в това начинание.

Физиците рядко биха позволили на своите студенти да се „измъкнат“ в курсовете, без да са разбрали концепцията за енергия и без да могат да извършват пресмятания, свързани с енергия. Извън научните среди обаче терминът „енергия“ не се свързва с една винаги запазваща се величина, а по-скоро с превръщането на съхранена в големи количества енергия в електричество, в движение или с производство. Физиците имат много по-ограничен досег с проблеми, отнасящи се до трансформацията на енергията, макар че това е от огромна важност за обществото.

Възможността да се извлича енергия помогна преди двеста години да се стимулира индустриалната революция, която беше придружена от експлозивно нарастване на селскостопанската производителност, населението и икономическия растеж. Но обществото никога преди не е разполагало с достъп до енергия в днешните мащаби – всяка година около 4×10^{20} J се превръщат в енергия за нуждите на човешки дейности. В даден момент и това ще се случи в близкото бъдеще, човечеството ще се сблъска с намаляваща наличност на ресурсите от изкопаеми горива, произтичащо от факта, че ресурсите са с крайна наличност, а така и от геологическите условия, които налагат ограничения върху добива. Това намаляване ще бъде почувствано най-остро за петрола, но ще се отнася също за природния газ и в по-малка степен за въглищата. Изчерпването на световни запаси, които са от такава важност за нашия начин на живот, е безпрецедентно. Ние нямаме друг избор, освен да се адаптираме чрез намаляване на потреблението или да преминем към алтернативни енергийни източници, или използвайки някаква комбинация от двете стратегии.

Тази загриженост в мен самия ме накара да изследвам фотоволтаичната (ФВ) енергия в нейните практически аспекти за използване. За тази цел през 2007 г. направих ФВ система, за да храня моята всекидневна. Въпреки че съм сравнително добре запознат с полупроводниковата физика на ФВ преходи, аз не се чувствах достатъчно подготвен да оценя практическите проблеми, свързани с притежаването и управлението на персонална ФВ система. И защото вярвам, че физиците могат да играят важна роля за нашето енергийно бъдеще, която надхвърля онова, което, без съмнение, правим на предния фронт на изследванията, аз искам да споделя моя опит с надеждата, че и други биха могли да развият свои домашни ФВ проекти. А какъв по-добър начин да се

мотивират иновациите в сектора на алтернативните енергии от това да се заангажира талантът на физиците персонално?

ФВ за телевизора ми

Жилищните ФВ системи могат бъдат от много малки – такива, които генерират по-малко от 100 W, до такива, които произвеждат повече от 5 kW. Те биха могли да бъдат включени в местната електрическа мрежа – в този случай се наричат интегрирани в мрежата системи, или биха могли да са изолирани, свързани с батерии, системи. Съществуват и хибридни системи, които са свързани в мрежата, но притежават и резервни батерии. Повечето щати в САЩ позволяват пълно измерване на свързаните с мрежата системи, при което клиентите плащат само електричеството, непроизведено от собствените им ФВ системи. Правилата са различни за различните щати, като 37 от тях предлагат обобщено измерване на месечна или годишна база [1]. Производство над консумираната енергия обаче рядко бива заплащано от електроразпределителните мрежи, както например това се прави в Германия.

Чрез намаляване на сметките за ток подходящо избраната по мощност система би могла да възвърне цената си в най-добрия случай за 8 години, макар че 15 години е типичният за това срок. Малките, несвързани с мрежата, системи по-вероятно не биха възвърнали цената си при сегашните цени на тока. Причината е, че много компоненти са необходими и желателни както за големите, така и за малките, като цените им са сравними и в двата случая. Все пак да кажа, малко от притежателите на ФВ системи са мотивирани от икономичност. Последното е особено вярно за мене. Аз реших да си направя малка, несвързана с мрежата система и да ذخарня скромната си всекидневна, която включва телевизор, DVD/VCR, стерео система и осветление. Моята цел беше да науча тънкостите на една собствена ФВ система, да опиша функционирането ѝ и да експериментирам с разнообразни конфигурации. Удовлетворението, което получавам, когато, гледайки филм или четейки книга, използвам съхранена слънчева енергия, е достатъчна награда.

С цел по-пълно разбиране аз изпълних две паралелни системи. Едната, използвана за осветление, се основава на 64 W тънкослоен гъвкав панел с троен преход. Другата, ذخарнаваща системата за забавления, използва 130 W поликристалинен силициев панел. Фиг. 1 показва как изглеждат двата панела. Аз също тествах четири различни зарядни контролера (устройства, които регулират зареждането на батерията) и с времето постепенно усложнявах системата.

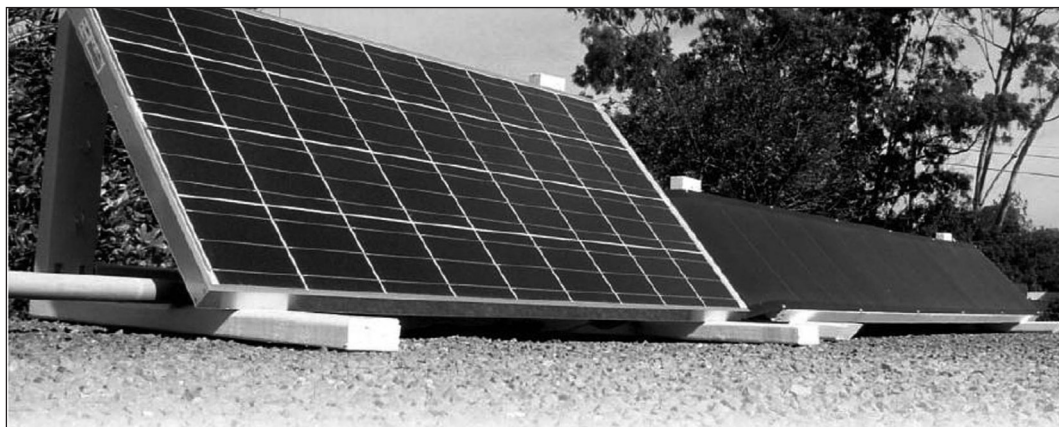
Тази статия описва изолирана система, която би могла да служи като основа за каквото и да е специфично изследване. Такава система би трябвало да включва поне един ФВ панел, батерия или комплект батерии, заряден контролер, преобразувател от прав в променлив ток, бушони и ограничители на ток, устройства за свързване, изолационни тръби и проводници. Към моята система аз включих и монитор, който обаче не е задължителен. Фиг. 2 показва типична схема на всички компоненти. Инсталирането на пълна система, свързана в електрическата мрежа, изисква контрактор, който може да даде разрешение и да извърши инспекциите за включване.

Какви да бъдат параметрите на домашната ви ФВ система?

Какво бихте искали да захраните с малка, несвързана в мрежата, ФВ система? Съществени фактори, които трябва да се вземат под внимание, са дневният разход на електроенергия на устройствата, необходимата пикова мощност и слънцееосветеността на мястото. Допълнително трябва да се отчете колко лесно е да се осъществят връзките. Всичко което може да се включи в стенен контакт и лесно да се закачи чрез кабел за инвертора на ФВ системата. Не е толкова лесно обаче да се подвключи интегрирана домашна система като например осветлението. Продавани на пазара преносими уреди могат да измерят моментната мощност и нетния разход на електроенергия, така че да можете да тествате различни възможности с цел оптимизация. Няколко параметъра определят размера на системата ви – количеството произведена соларна енергия, средният разход и пиковата мощност.

По време на ясен ден директно огряващо слънце би могло да „достави” до 1000 W/m^2 соларен поток във всички дължини на вълните. Типичен поликристален ФВ панел би могъл да превърне около 16 процента от тази енергия в електричество¹. Годишни и сезонни ефекти, комбинирани с метеорологичното време, намаляват средното годишно слънцегреене около пет пъти, т.е. до около 200 W/m^2 и до още по-ниски стойности в по-високи географски ширини и климат с повече облачност.

Друг начин да се характеризира слънцегреенето е в часове пикова слънчева светимост на ден. В района на Сан Диего например средната пикова светимост е



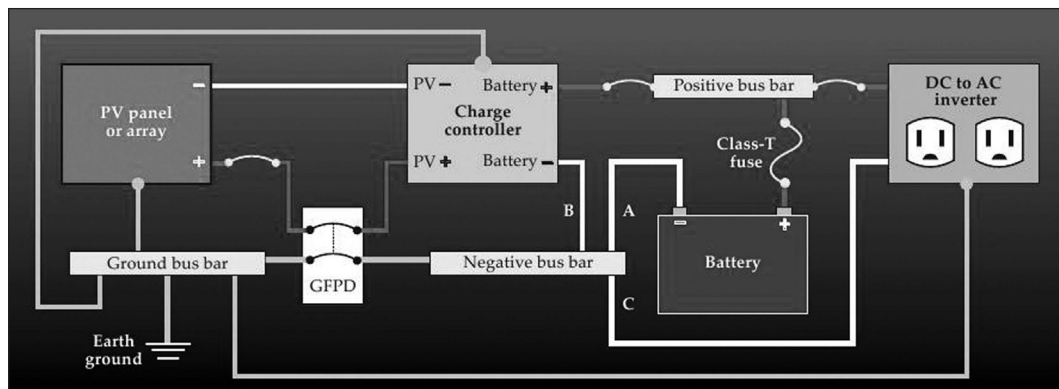
Фиг. 1. Фотоволтаични панели за моята дуална система. По-високият е 130-ватов поликристален панел, който функционира с 16% ефективност. Той се състои от 36 силициеви p-n прехода, или клетки, включени последователно, всеки с напрежение без товар (нулев ток) от 0.6 V. По-тесният, но по-дълъг панел е 64-ватов, състоящ се от 11 клетки с аморфни тройни прехода, организирани последователно. Всяка клетка е с напрежение 1.9 V, оперираща при 8% ефективност. И двата панела са монтирани в рамки, позволяващи да се променя наклонът им в зависимост от сезона. На снимката са показани при зимна позиция

еквивалентна на 5.7 часа на ден, така че панел от 100 W ще произведе дневно 0.57 kWh. Средното месечно слънцегреее за града варира от 4.6 до 6.5 часа. Ако вземем обаче Сиатъл, тази стойност е 3.7 часа на ден и варира месечно от 1.4 до 5.7 часа. За континенталната част на САЩ годишните средни се движат около 3.5 до 6.5 часа [2]. През зимния период средномесечните стойности обхващат от около 1.5 до 2.5 часа в тихоокеанския северозапад, Северните средни щати и Нова Англия, до повече от 5 часа в югозапада. Летните средни стойности са от 5 часа за Нова Англия до почти 8 часа в югозапада. Тези средни предполагат плосък панел, ориентиран на юг и наклонен по отношение на хоризонта под ъгъл, съответстващ на географската дължина. Настройка на наклона, така че да следва сезонното изместване на слънцето, води до увеличаване на „добива“ с грубо 8%. Проследяването на траекторията на слънцето, въртейки панелите около ос, паралелна на оста на Земята, би могло да доведе средногодишно до 20–40% допълнителна енергия – като ефектът е по-значим през лятото и при предимно слънчеви места. Едно перфектно следене на слънцето, което изисква въртене около две оси, дава възможност за допълнително подобрене, но то не надвишава 4%.

ФВ панелите понастоящем произвеждат ток добре даже и в облачни дни. При по-малко слънчеви дни производството на енергия често е 20–50% от енергията, произведена по време на перфектен слънчев ден. От друга страна, слънчево-термичните методи и всяка ФВ система, която прибегва до концентрация на лъчите, са неефективни при непряко осветяване.

Средната необходима енергия за конкретно потребителско устройство заедно с наличното слънцесветене, определят размера и броя на ФВ панелите, от които се нуждаете. Тези предпоставки предопределят и капацитета на необходимия ви акумулатор. Следователно средната необходима енергия е най-важният параметър при определянето на размера на вашата система. След като специфицирате количеството ват-часа на ден за потребление, разделете това на средното число слънчеви часове на ден, за да определите необходимата ви пикова мощност на ФВ панела. (По дефиниция пиковата мощност е тази, която се постига при пълно директно (перпендикулярно) осветяващо слънце със соларен панел, функциониращ при 25 градуса Целзий.) Ако разчитате на потребление през цялата година, използвайте зимните стойности на слънчевите часове, за да получите горната оценка.

Като пример нека да предположим два часа на ден работещ телевизор с мощност 100 W, плюс 22 часа 8 W потребление в изключено състояние (2 W за инвертора, 6 W за домашната система за забавление) – дава около 400 W на ден. Обърнете внимание, че изразходваната енергия, когато устройствата са изключени, е почти същата, когато са включени! Аз се освободих от една стереоуредба, която изискваше 12 W, когато е изключена. Този разход доминираше целия енергетичен бюджет. Открития от този вид са част от неочакваното знание, което се случва, когато човек придобива непосредствен опит с ФВ. Те ни правят много по-грижливи към енергийната ефективност, грижливост, която ще ни потърбава в бъдеще. За моята домашна система за забавление



Фиг. 2. Електрическа верига за свързване на самостоятелна (невключена в мрежата) фотоволтаична система. Дъгите означават бушони за силен ток и прекъсвачи едновременно, но те могат да бъдат реализирани и поотделно. Ако ФВ панелите не са монтирани към жилище, заземяващото устройство (GFPD) би могло да се елиминира и една и съща шина може да се използва за отрицателен полюс и за земя. Всички модули имат заземени рамки. Последователни шунтове могат да се включат в точките А, В и С, за да се измерват нетният ток съответно на акумулатора, токът на соларния панел и локалният ток. Тъй като тези токове се подчиняват на закона на Кирхов, е достатъчно да се измерят два от тях

в Сан Диего при среднозимни 4.6 часа пик еквивалентни часа на ден, аз, по принцип, бих могъл да я храня, използвайки един 100 W панел.

Разумно е да се предвидят панели с площ 25–50% повече от предварително изчисленияте. Една от причините е, че мощността на ФВ панелите се оценява при режим на работа 25 градуса Целзий – много по-ниска температура от тази, при която те реално работят. Наистина моят 130-ватов панел рядко достига 110 W в реални условия и аз измервам 10% моментално увеличение, ако плисна студена вода върху панела. Друга причина – зарядната система, която включва и акумулатора, обикновено работи при ефективност от 60–80%.

Необходимата среднодневна енергия диктува и големината на акумулатора или акумулаторната система. Смята се, че е достатъчна енергоемкост, необходима да поддържа работата на потребителя най-много три пълни дни без допълнително хранване. За моята домашна система това означава 1200 Wh или 100 Ah при 12 V. По-голяма батерия би позволила да се избегнат пълни изтощавания и се подсигурият нейният по-дълъг живот. Ако някога сте се питали каква площ соларни панели и система от акумулатори са необходими, за да бъде посрещната необходимостта от енергия на цялата страна, вижте отделения текст.

Пиковата мощност на устройството, което се хранва от ФВ системата, не е от значение за размера на ФВ панела, но тя е определяща за параметрите на използвания конвертор, а възможно и за волтажа на батериите. За малки системи евтин 400

W инвертор, работещ при 12 V, е достатъчен. От друга страна, ако потреблението ви включва например микровълнова печка, която има нисък среден разход на 1000 W максимална мощност, вие се нуждаете от инвертор с по-сериозни възможности. Вие би трябвало да изберете и 24-, 36-, или 48 V акумулаторен пакет, за да свалите тока под впечатляващите 80 A, които един 12 V акумулатор би трябвало да даде. Инверторите трябва да се съгласуват с напрежението на акумулатора, така че изборът на двойката акумулатор-инвертор не може да се реконфигурира лесно.

От фотони към променлив ток

Следващата стъпка, след като сме установили основните параметри на системата, е да прецизираме някои детайли. Вашите избори ще зависят от вашите крайни цели. Експериментална ли е вашата система? Ще бъде ли разширена с времето? Необходимо ли е системата да е напълно надеждна или ток от мрежата все пак ще бъде достъпен, в случай че акумулаторът се изтощи?

Фотоволтаичните панели са достъпни в няколко разновидности. Типичната ефективност на силициевите поликристални или тези, използващи единичен кристал, панели варира от 13–18%. Панелите, които се основават на тънки слоеве, имат к.п.д. от порядъка на 4–8%. И двата вида обаче са сравними като цена – приблизително 4–5 долара за ват – но трябва да се има предвид, че тънкослойните устройства имат тенденция да поевтиняват. Така че 100 W панел би трябвало да струва приблизително 450 долара². Панелите обичайно идват с гаранция от производителя за работа с ефективност, по-добра от 80% в сравнение с началната за 25 години. Обратно на съществуващия упорит мит, че един ФВ панел никога не произвежда толкова енергия, колкото е изразходвана, за да бъде произведен, може да се каже, че времето на изплащане е от 3 до 4 години и се подобрява³.

В северната полусфера панелите трябва да бъдат ориентирани на юг, наклонени спрямо хоризонтала под ъгъл от порядъка на географската дължина. Никаква сянка не трябва да пада дори върху част от панела. Индивидуалните клетки са аранжирани последователно, така че сянка върху една част от панела може да затрие тока от целия панел, по същество редуцирайки изходния ток до този на най-слабата клетка. Заобикалящи диоди често се враждат в панела с цел поне донякъде да се смекчи проблемът от частично засенчване. Въпреки това големи групи от клетки се шунтират от един-единствен диод, така че и една-единствена клетка би могла да „убие“ половината от панела. Друг съвет: опитайте се да разположите панела колкото се може по-близо до зарядния контролер и акумулатора, за да минимизирате дължината на проводниците. За една енергийна система, работеща при ниско напрежение, проводниците трябва да бъдат изненадващо „тлъсти“.

Оловните акумулатори са най-нискобюджетният вид устройство за съхранение на ел. енергия. Батериите, които се използват в голф-картовете, са много подходящи и за домашните ФВ системи. За разлика от автомобилните акумулатори, които са лош избор за ФВ системи, батериите за голф-картовете са от вида батерии с дълбоки амплитуди

на разреждане, направени така, че толерират чести разреждания до 80% от енергоемкостта, преди да бъдат презаредени. Все пак трябва да се има предвид, че такава батерия би имала по-дълъг живот, ако се поддържа близо до пълния си капацитет: моята 12 V, 150 Ah батерия обикновено използва 30 Ah, или 360 Wh за един цикъл на зареждане и рядко слиза под 80% от пълния си капацитет. Оловните акумулатори изискват периодична грижа, като например изравняване на клетките веднаж месечно (което означава да се върнат послабите клетки до пълните им възможности; един добър заряден контролер би могъл да е от помощ при изравнителния цикъл). Друга грижа е добавянето на дестилирана вода горе-долу със същата периодичност. Ако човек се грижи добре за голф-карт акумулаторите, те могат да се използват в една самостоятелна ФВ система в продължение 4–6 години. По-скъпи батерии могат да имат живот от 15 и повече години. Акумулаторите, или акумулаторните па-



Фиг. 3. Ел. таблото за моята дуална ФВ система. Само половината от нещата са необходими за по-често използваната система от един панел. В дъното се вижда горната част на двата 12 V, 150 Ah акумулатора (един за всеки от панелите). Непосредствено над тях са 110 А бушони от клас Т (съгласно стандартите на САЩ, Канада и Мексико този клас бушони се включват при надвишаване на определена стойност на тока – бел. прев.). Вляво са двата зарядни контролера. Тъмният представлява зарядов контролер от тип, който следва максималната точка на мощност (MPPT), вж. описанието му в текста; той със сигурност е изключително добър за тази малка система. Горевдясно са два инвертора по 400 W. Под тях е един MPPT зарядов контролер, който засега не се използва. Наляво от инверторите е разположена системата за мониторинг, която понастоящем има възможността да измерва две напрежения и три различни тока. В центъра с отворен капак е кутията с прекъсвачи, показваща три прекъсвача на система, четири връзки, осигуряващи правените измервания (аз използвам едновременно само три), и за всеки от панелите, свързани и заземени шини, метални пластини, които позволяват разклоняващи се връзки. Заземените, отрицателните и положителните проводници са с различни цветове. Двата изходни кабела най-вдясно са връзката към домашните устройства, захранвани от системите. Тази специфична реализация на системата не изисква защитно устройство срещу авария в заземяването

кети, използвани за ФВ системи, най-често се конфигурират за 12 V, 24 V или 48 V, макар че понякога се използват и конфигурации от 36 V или 60 V.

Зарядните контролери, наричани също регулатори, поставят акумулаторите на внимателно подбрана диета от напрежения, която обобщено се състои от „храна с три ястия“. Такъв режим е необходим, защото прекалено високо напрежение, приложено към батерията, води до електролиза и причиненото от нея, съпътствано обедняване на електролита.

За батерия от 12 V например зарядният контролер първоначално функционира в т. нар. обемно-заряден мод, по време на който той захранва с пълния ФВ ток и при напрежение – обикновено между 12 V и 14 V – съгласувано със степента на зареждане на батерията. Поради необходимостта от съгласуване повечето зарядни контролери губят около 20% от генерираната ФВ мощност, както е показано на Фиг. 4. Обемното зареждане продължава, докато батерията достигне напрежение, характерно за „абсорбционен състояние“, обикновено около 14.6 V. Това напрежение се поддържа, но токът, с който батерията се захранва, се редуцира посредством модулация на дължината на пулса до такъв, какъвто е необходим, за да се поддържа напрежението на абсорбционното състояние. След час или два батерията ще е напълно заредена и напрежението ще падне до „плаващото състояние“, обичайно 13.3 V. Батерията се държи в това напрежение, докато захранващата слънчева мощност не е повече в състояние да го поддържа. Това става или поради залез на слънцето, или ако някакво устройство се включи. Когато се включи товар, батерията може да получи или да не получи ток в зависимост от баланса между наличната ФВ мощност и изискванията за работа на товара. В този случай зарядният контролер действа така: той доставя толкова ток, колкото е необходим, за да поддържа подходящото напрежение, и доставя целия наличен ток, ако последният е недостатъчен.

Тъкмо при зарядните контролери се открива най-голямото разнообразие от устройства, пригодени за системи, несвързани в мрежата. Обикновено зарядните контролери се класифицират по това, до какъв максимален ток могат да работят. Повечето позволяват да бъдат конфигурирани да работят с различни напрежения на батериите, а много изискват подаващото ФВ напрежение да се съгласува с батерията. Например една батерия 24 V би изисквала два стандартни ФВ панела, свързани последователно.

Изключение представлява така нареченият следващ максималната точка на мощност (MPPT) зарядов контролер, който оперира ФВ панела или панели при напрежение, което подава максимална мощност. Това напрежение в общия случай ще е по-високо от напрежението, необходимо за зареждане на батерията, така че напрежението в излишък се трансформира в допълнителен ток в батерията. Следователно MPPT контролерите не само максимализират мощността, извличана от ФВ панелите, но позволяват също и голяма гъвкавост при ФВ конфигурациите. Например четири стандартни ФВ панела, свързани последователно, биха могли да функционират при максимална мощност с общо напрежение от 64 V и ток във веригата 8 A с мощност от 512 W. Един MPPT контролер би могъл да приложи 51.2 V върху 48 V акумулатор при ток от 10 A, или

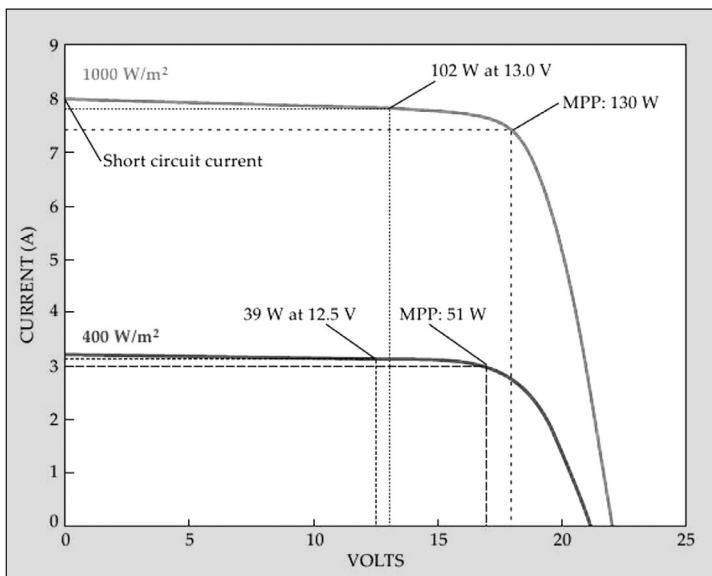
да поддържа 11.8 V на единична 12 V батерия при 40 A ток. Ако разполагаме с един стандартен контролер, то ще ни е необходим акумулатор от 48 V и той ще поддържа ФВ системата при 51.2 V и ток 8 A. Така той би извлякъл само 410 W от четирите панела.

Фотоволтаици за цялата страна:

Какво би било необходимо, ако цялото електропотребление на САЩ идва от слънцето? Сегашната електроснабдителна мрежа не се нуждае от акумулиране, защото се възползва от гъвкавостта на електроцентралите да увеличават и намаляват електропроизводството в зависимост от текущото потребление. Ако обаче соларните мощности станат доминиращи, националната енергийна система няма да е в състояние да реагира на големите разлики в количеството необходим моментен електрически ток, т.е. ще се наложи и създаването на електросъхраняваща система.

В югозападната пустиня средногодишната инсулация е еквивалентна на шест пълни слънчеви часа на ден. Всеки квадратен метър ФВ панел, опериращ при 16% к.п.д., би произвел дневно 1 kWh. САЩ произвежда около 10^{12} W електричество, или 24×10^9 kWh дневно. Това означава, че площ на квадрат със страна 160 km би трябвало да се отдели за ФВ електропроизводство – това е невъзможно голяма площ.

А какво ще е необходимо за акумулирането на енергията? Гарантирането на седмица ел. енергия, ако няма слънце, изисква 2×10^{11} kWh енергоемкост на акумулатора. Моята 150 Ah, 12 V батерия заема около 0.01 кубични метра; ако преескалираме



Фиг. 4. Волт-амперни криви за фотоволтаичния панел, продаван като 130 W при температура на работа 25 градуса. Горната крива показва пълно осветяване; долната крива – 40% осветяване. Типичните ФВ панели с 36 клетки, свързани последователно, се характеризират с 22 V напрежение при нулев ток, т.е. без товар. Максималната мощност обикновено се постига при напрежение 15–18 V. При по-ниски напрежения ФВ токът се насища; при пълно слънцесветене токът на насищане се нарича ток на късо. Точката на максимална мощност (MPP) е отбелязана и на двете криви, а така също и редуцираната мощност, получавана чрез извеждане на ток при типичните за батерията напрежения

този обем, за да посрещнем националните нужди, получаваме оловен акумулатор с обем от 1 кубичен км. Не е прекалено трудно да си представим този обем, разпределен в цялата страна.

Дали САЩ притежава материалите, необходимостта и решимостта да върви по ФВ посоката, е съвсем отделен въпрос.

Освен ако се нуждаете от захранване на уреди, специфични за морски или ваканционни превозни средства, вие ще се нуждаете и от инвертор, който да преобразува правия ток от акумулатора в променлив. Моята дуална система използва евтини 400 W инвертори. Те са от вида даващи модифицирани синусоидални вълни, които се синтезират на стъпки. Моят телевизор, VCR/DVD и флуоресцентните лампи видимо се справят с това, че синусоидалните вълни далеч не са перфектни. Моето стерео обаче издава леко жужене независимо дали е включено или изключено. По-скъпи инвертори, които произвеждат „по-чисти“ синусоидални вълни, елиминират жуженето.

Асемблиране на всички елементи

Една от особеностите на моята система, която ме изненада, беше колко дебели трябваше да бъдат проводниците при високите стойности на токовете и ниските напрежения. Разбира се, проводниците трябва да бъдат съобразени с протичащите токове, но често даже е по-важно да се гарантира, че при рязко спадане на напрежението не се губи много енергия от загряването на проводниците. Взимайки предвид специфичното съпротивление на меден проводник $1.73 \times 10^{-5} \Omega \text{mm}$, сечението на проводника се определя по формулата $0.035 I L / fV$, където I е токът в амperi, L – дължината на проводника в едната посока в метри, f – частта на загубена мощност, която сте готови да допуснете, и V – напрежението от ФВ-ка, поддържано на входа на схемата. За пример, моята система използва 12 V панел при 8 A на 15 метра разстояние в едната посока. За да имам загуби под 5%, аз се нуждая от 7 mm^2 проводник, което означава че трябва да използвам проводник № 8 по AWG (американска класификация за проводници). От горното следва, че свързването на няколко панела последователно вместо паралелно води до голямо спестяване от сечението на проводниците; при паралелно свързване напрежението се увеличава, а токът намалява с един и същ коефициент. Поради това изборът на заряден контролер от вида MPPT се превръща в привлекателна възможност, защото за такъв контролер аранжирането на ФВ-ците е независимо от конфигурацията на батериите. Скъсяване на разстоянието между ФВ-ка и контролера е един очевиден начин за намаляване на диаметъра на проводника.

Акумулаторът и инверторът в най-често срещания случай ще се нуждаят от връзка, която е значително по дебела от тази, която свързва ФВ-ка. В този случай солидният проводник е нужен да поеме високи стойности на тока, а не поради възможните резки спадове на напрежението, последвани от загуба на мощност. За да захраните например една микровълнова печка от 12 V батерия, ще ви трябва 80 A и проводник № 2 с диаметър 6.5 mm. За щастие, макар че големият диаметър не може да се избегне, тази връзка, макар и нежелана, може да е къса.

Заземяващият проводник трябва не само да е в състояние да понесе по-силен ток от токовете в който и да е от компонентите, но и да понесе сумата от всички двойни или многокомпонентни системи с евентуално многобройни подсистеми от панели и контролери, които използват общо заземяване.

При инсталирането на системата аз безкомпромисно следвах Националния електротехнически правилник (NEC). По този начин имам една безопасна система, но следването на правилника предоставя и полезни упътвания. Грижливото документиране на съобразена с правилниците инсталация може да убеди подозрителни застрахователни агенти, които ще изследват скрупулوزно причините в случай на пожар. Може да намерите за полезно и да осигурите сертифициран експерт, който официално да потвърди, че системата ви използва изискванията на електротехническия правилник.

Многобройните аспекти на NEC, отнасящи се до ФВ системите, не могат да се опишат в една статия, но ето някои от по-важните:

Използвай червени за положителните, бели (не черни) за отрицателните и зелени за заземяващите проводници.

Увери се, че проводниците могат да приемат максимално възможните токове, като отчетеш температурните условия – ФВ панелите могат да станат горещи и да предадат топлината си на свързващите проводници.

Земята и отрицателните полюси са свързани в една точка, обичайно това става с обща шина, както е посочено на Фиг. 2.

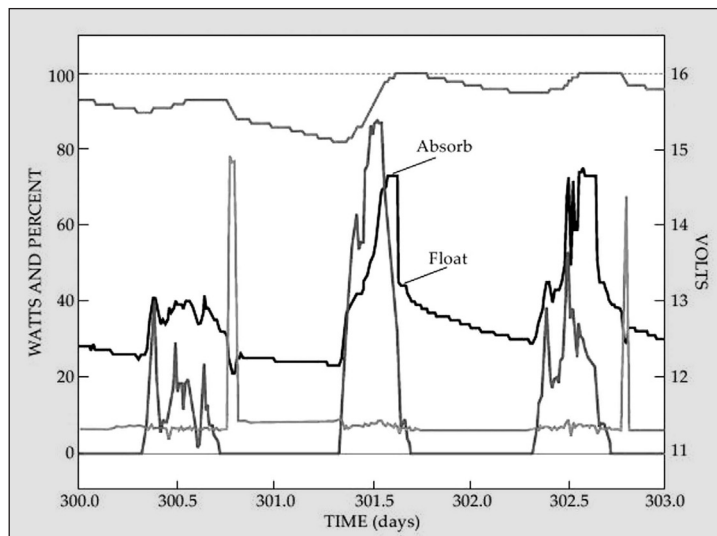
Използвай устройства за предпазване на прекъсване на заземяването (GFPD) при всяка система, която свързва ФВ панели към жилището. Отделните гаражи или портали за коли не изискват GFPD.

Подсигури всеки положителен проводник за протичане на ток над лимита, като го подбереш да има подходящо сечение.

Постави прекъсвачи на ФВ панелите или набор от панели, на зарядните контролери, на инвертора и на всяко устройство, работещо на прав ток.

Бушоните и превключвателите може да служат като прекъсвачи и да осигуряват защита от токове над лимита, но правотоковите схемни превключватели вършат и двете функции едновременно. Отделни NEC правила са свързани с електротехническите канали за проводници, одобрените практики за нагъване и др. Едно добро резюме на NEC стандартите, отнасящи се специално за ФВ-ците, е компилирано от Джон Уайлс и ми служеше като основен източник на информация.

За мен, „луд по данни“ физик, експериментът по инсталиране на малка ФВ система беше неизмеримо по-удовлетворителен поради наличието на системата за мониторинг. Известно време аз рутинно излизах навън с табличка за записки и дигитален волтметър, за да измервам и записвам напрежения и токове. Една мониторингова система към инсталацията обаче никога не се уморява от задачата да записва параметри през определени от потребителя регулярни интервали от време. Директно включени шунтове, по същество дебели сегменти проводник, позволяват *in situ* измерване на токовете. За мо-



Фиг. 5. Изводка данни за 130 W панел, захранващ една домашна система за забавление. Денят 300 имаше, общо казано, висока, но и променлива облачност; денят 301 беше предимно слънчев; денят 302 беше облачен. Кривата с продължителни нулеви периоди следва слънчевата енергия, доставяна от панела на зарядовия контролер. Втората от долу на горе крива показва консумираната мощност: обърнете внимание на постоянната консумация, въпреки че системата е в изключено състояние, прекъсвана от кратки пикове по време на работата на телевизора. Третата крива представя напрежението на акумулатора, вж. скалата за него вдясно. Акумулаторът достига състояния на абсорбиране в дните 301 и 302, но също и „плаващо“ състояние – индикация за напълно заредена батерия – в края на двата дена. Най-горната крива показва заряда като процент от максималния капацитет. Първия ден добавя много малко към заряда на акумулатора, но последващият слънчев ден компенсира дефицита. Обърнете внимание, че намаляващата соларна мощност по време на слънчевия ден не се дължи на намаляваща осветеност, а е отговор на намаления ток, необходим, за да се поддържа напрежението при абсорбиращото състояние. Допълнителните данни са достъпни на: http://physics.ucsd.edu/~tmurphy/pv_for_pt.html

покачва на пазарите. Диапазонът на цените на зарядните контролери е от 40 долара за най-простите до 500 долара за „луксозния“ MPPT с възможност до няколко киловата. Разумен избор на конфигурируем зарядов контролер с възможност за извършване на

ята система аз инсталирах всеобхватно измерително и записващо устройство, което да следи полезната информация, отнасяща се до нивото на заряда в акумулатора, колко време е минало от момента, когато акумулаторът (или пакетът батерии) е бил зареден и изравнен, поцикличната ефективност на зареждането и още много параметри. Към мониторинговото устройство свързах и компютърен интерфейс, позволяващ да се наблюдават разпределението на зарядите и прехвърлянето на записаните данни.

Накрая удоволствието

Една малка ФВ система би струвала или много, или прекалено много в зависимост от вашите предпочитания. Цената на ФВ панела се определя от неговата пикова мощност и е приблизително 4–5 долара на ват⁴. Една 12 V, 150 Ah батерия би могла да струва 200 долара или повече, като цената на основния метал в тях – оловото – непрекъснато се

изравняване би струвал около 140 долара. Инвертори с неголяма мощност биха били много евтини, примерно 140 долара, но устройства, произвеждащи чиста синусоида, струват 200 долара и повече. Бушоните, прекъсвачите и кутията за инсталацията им струват общо 250 долара. Проводниците могат да ви струват между 50 и 100 долара, за други неща като изолационни тръби, окончания, връзки и включватели се добавят още 100 долара. Мониторинг на системата и шунтовете към него биха могли да се добавят само за 150 долара или да бъде избран по-скъп избор за 600 долара. По този начин 100 W система би влязла в границите между 1200 до 2500 долара. Добавянето на повече ФВ панели не увеличава значително цената на системата, като изключим допълнителната цена на самите фотоволтаици. Времето на възвръщаемост на евтиния вариант е 40 години, ако цената на тока се запази 15 цента на kWh за целия период. Ясно е, че мотивацията да се инсталира домашна ФВ система трябва да е различна от икономическата.

Наистина струва си да притежаваш соларнозареждащ се мобилен телефон или лаптоп, да гледаш филми на слънцезахранван телевизор или да забавляваме гости късно през нощта с акумулирана през деня слънчева светлина. Сега аз имам усещането за енергийна независимост – нещо, което би могло да стане факт за всеки в бъдещето. Аз самостоятелно не съм в състояние да обърна посоката да не се използват фосилни горива с всичките свързани с тях проблеми, но моята домашна ФВ система е малък принос в тази посока. Нещо повече, аз мога да предам знанието, което придобих, на студентите си и приятелите си. Особено ценно е да се привлекат физиците да участват основно в соларните технологии. Допълнителни експерименти със следене на слънцето, концентрация на лъчи, хетерогенна комбинация от панели, частично засенчване и пр. обещават да са плодотворни. Колкото по-голям е броят на физиците, „бърникащи“ във ФВ технология, толкова повече добри идеи ще генерираме. Така че „включете се“ в Слънцето!

Превод: **О. Йорданов**

Източник: Home photovoltaic systems for physicists
Physics Today, July 2008

Бележки

1. Понастоящем ефективността е над 19%. – Светът на физиката, Интересни уеб страници, с. 234, кн. 2, 2012. – *Бел. прев.*
2. В днешно време ефективността е над 19%, а цената на ват мощност е паднала под 1 долар на ват. Следователно цената на панел 100 W би трябвало да е под 100 долара. – *Бел. прев.*
3. Четири години след публикуването на настоящата статия периодът на възвръщаемост е по-малко от година. – *Бел. прев.*
4. Тази цена в „модерния свят“ е свалена до долар за ват. За съжаление, цените в България са все още по-високи. – *Бел. прев.*

Литература

[1] Interstate Renewable Energy Council state-by-state net-metering table, available at <http://www.irecusa.org/index.php?id=90>

[2] Renewable Resource Data Center, Solar Radiation Data Manual for Flat-Plate and Concentrating Collectors, available at <http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/redbook>

[3] National Renewable Energy Laboratory, What Is the Energy Pay-back for PV?, rep. no. DOE/GO-102004-2040, National Renewable Energy Laboratory, Washington, DC (December 2004), <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37322.pdf>

[4] J. Wiles. Photovoltaic Power Systems and the “2005 National ElectricCode”: Suggested Practices, available at <http://www.nmsu.edu/~tdi/Photovoltaics/Codes-Stds/PVnecSugPract.html>

АБОНАМЕНТ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

Абонамент за 1 година (4 книжки) – 16 лв., за пенсионери и студенти – 8 лв.

Ако желаете да се абонирате – пишете на worldofphysics@abv.bg

Броеве от списанието можете да намерите на следните места:

София

- Книжарницата на БАН: София 1000, ул. “15 ноември” № 1, тел. (02) 987 97 86
- Книжарницата на Математически факултет на СУ “Св. Климент Охридски”: София 1164, бул. “Джеймс Баучър” 5
- Книжарница “Нисим”, бул. “В. Левски” 59
- Съюз на Физиките в България, Физически факултет, СУ “Св. Климент Охридски”: София 1164, бул. “Джеймс Баучър” 5, Снежана Йорданова, тел. +359 2 62 76 60, e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg

Варна

Народна Астрономическа Обсерватория и Планетариум „Николай Коперник”,
Приморски парк 4

НЮТОН, ЧОВЕКЪТ

Джон Кейнс

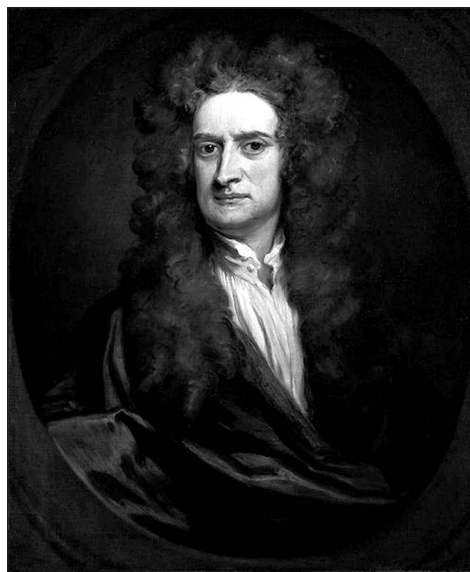
През 1942 г. кралското общество на Лондон планира да организира честване на тристагодишнината от рождението на Нютон. Обаче Втората световна война не позволява да се направи това и честването е проведено едва през 1946 г. Тогава са били изнесени лекции от Е.Н. да Коста Андраде, Х. У. Търнбъл, Нилс Бор и Жак Адамард. Джон Мейнард Кейнс [1] е бил също поканен за изнесе лекция, но за съжаление той умира през април 1946г., три месеца преди честването. Лекцията на Кейнс „Нютон, човекът“, която представлява, е била прочетена на тържествата от неговия брат Джофри Кейнс.

Изпитвам известна неувереност, когато се опитвам да говоря пред вас в неговия собствен дом за Нютон, какъвто той е бил сам по себе си. Дълго време изучавах неговите писания и имах намерението да запиша своите впечатления, така че да бъдат готови за Коледа 1942 г., тристагодишнината от неговото рождение. Войната ме лиши както от свободно време, за да се отдам на такава велика задача, така и от възможността да се консултирам с моята библиотека и със записките си, за да проверявам своите впечатления. Затова се надявам, че ще ме извините, ако краткото изследване, което искам да изложа днес пред вас, се окаже по-повърхностно, отколкото би трябвало.

Още нещо. Мисля, че Нютон е бил различен от общоприетото мнение за него. Но това не значи, че е бил по-малко велик. Той е бил по-необикновен, отколкото представата за него, изградена през деветнайсетото столетие. Гениите са много специални. Нека никога тук да не допуска, че моето намерение днес е да омаловажавам чрез своето описание най-великия син на Кеймбридж. По-скоро аз се опитвам да го представя такъв, какъвто са го познавали неговите приятели и съвременници. А те без изключение са гледали на него като на един от най-великите мъже.

От осемнайсети век насам, Нютон е бил смятан за първия и най-великия от новото поколение учени, рационалист, който ни учи да мислим по правилата на хладния и чист разум.

Аз не го виждам в тази светлина. Не мисля, че някой който се е задълбочил в съдържанието на онзи сандък, който той опаковал, когато окончателно напуснал Кейм-



Исак Нютон

бридж през 1696 г. и който, макар и частично разпилян, е достигнал до нас, би могъл да гледа на него по този начин. Нютон не беше първият от епохата на разума. Той беше последният от магьосниците, последният от вавилонците и шумерите, последният велик ум, който гледаше на видимия и интелектуалния свят със същите очи както тези, които започнаха да изграждат нашето интелектуално наследство преди почти 10,000 години. Исак Нютон, дете родено без баща на Коледа 1642 г. беше последното дете чудо, на което Маговете можеха да отдадат искрена и съразмерна почит.

Ако имаше достатъчно време, аз бих могъл да ви прочета записките, направени от детето Нютон. Защото, макар и добре познати на неговите биографи, те никога не са били публикувани изцяло, без коментар, точно каквито са били. Те наистина свидетелстват за създаването на легендата за младия магьосник, една радостна картина на откриващия се гениален ум, освободен от тревогите, меланхолията и нервната възбуда, характерни за младия човек и ученик.

Защото, според примитивните съвременни представи, Нютон е бил типичният пълен невротик и то – бих казал според неговите записки – екстремален случай. Неговите най-дълбоки инстинкти били окултни (прикрити), тъмни, семантични – с пълно отдръпване от околния свят, с парализиращ страх от разкриване на мислите си, вярванията си, откритията си без завоалиране на преценката и критиката на света. „Най-боязливия, предпазлив и подозрителен нрав, който познавам”, казал Уистън, неговия наследник на Лукасовата катедра. Твърде добре известните конфликти и недостойни разпри с Хук, Фламстийд, Лайбниц са едно твърде очевидно доказателство за всичко това. Верен на характеровите си особености, той странял от жените. Никога не изоставял и не публикувал нещо, освен под силния натиск на приятелите си. През цялата първа фаза на своя живот той бил един изцяло увлечен, всеотдаен самотник, който провеждал своите изследвания посредством напрегнато вглъбяване в себе си, демонстрирайки умствена издръжливост, непостижима за друг човек.

Мисля, че ключът за разгадаване на силата на неговия ум се крие в неговата невероятна способност за продължително, концентрирано самовглъбяване. При него много неща могат да бъдат разбрани, също както и при Декарт, ако го разглеждаме като един завършен експериментатор. Няма нищо по-очарователно от разказите за неговите изобретения от детските години. Като например неговите телескопи и оптичните му експерименти. Това били сериозни постижения, демонстриращи аспекти от неговия общ метод, но не и неговата специална дарба, отличаваща го от съвременниците му. Неговата специфична дарба се заключавала в способността му да задържа продължително в своя ум някакъв интелектуален проблем дотогава, докато не успеел да го прозре в цялата му дълбочина. Мисля, че неговото превъзходство се дължи на това, че неговият ум и интуиция са били от най-силните и издръжливи, с които някога е бил надаряван някога човек. Всеки, който някога е опитвал да размишлява върху чисто научни или философски проблеми, знае, че е възможно да задържиш проблема в ума си за момент и да приложиш върху него цялата мощ на своята концентрация, но после той се разтваря и ти убягва и тогава виждаш, че ти е

останала само празнота. Аз вярвам, че Нютон е бил способен да задържа проблема в своя ум в продължение на часове, дни и седмици, докато той му разкрие своята тайна. След това, притежавайки прекрасна математическа подготовка, той можел да го облече в необходимата форма за целите на представянето, но именно неговата интуиция била тази, която му осигурявала истинското превъзходство – „щастлив във своите предположения“, казва Де Морган, „така че изглежда е знаел много повече от това, което можел да докаже“. Доказателствата, доколкото имат някаква стойност, били набавяни по-късно – те не били основен инструмент на откритията.

Има една история за това как той информирал Халей за едно от своите най-фундаментални открития относно движението на планетите. „Да“, отговорил Халей, но откъде знаеш това? Доказал ли си го?“ Нютон бил изненадан – „Защо, че аз това го знам от години“, отговорил той. „Ако ми дадеш няколко дни, аз непременно ще ти намеря някакво доказателство“ – както и направил след известно време.

Също така има сведения, че Нютон, когато довършвал *Принципите*, до последния момент бил в затруднение, защото му липсвало доказателството за това, че цялата маса на една сфера може да се разглежда като съсредоточена в нейния център и се добрал до него едва една година преди публикуването им. Но това било една истина, която той знаел със сигурност и винаги използвал в продължение на много години.

Без съмнение, специфичната геометрична форма, в която е облечено представянето на *Принципите*, няма нищо общо с интелектуалните процеси, които Нютон използвал в действителност, за да достигне до заключенията си.

Аз смятам, че неговите експерименти винаги са били средство не за правене на откритието, а по-скоро за доказване на това, което той вече знаел.

Защо го наричам магьосник? Защото той гледал на цялата вселена и на всичко което е в нея като на гатанка, като на тайна, която можела да бъде разкрита, прилагайки чистата мисъл към някакви факти, някакви мистични следи, които Бог е заложил навсякъде по света, за да даде възможност на едно посветено братство да се състезава в търсенето на философското съкровище. Той вярвал, че тези следи могли да бъдат открити отчасти в сведенията, получавани от небесата и в състава на елементите (и това е, което създава фалшивото впечатление, че той е бил експериментален естествен философ), но също частично и в някои записи и традиции, предавани на членовете на религиозното братство по една ненарушима верига, водеща назад до първоначалното неразгадаемо откровение на Вавилон. Той разглеждал вселената като една криптограма, създадена от Всесилния – точно както самият той забулил откритието на диференциалното смятане в една загадка, при своето съобщение до Лайбниц. Той вярвал, че с помощта на чистата мисъл, чрез концентрация на ума, загадката ще бъде разкрита на посветените.

Той наистина разгадал гатанката на боговете. И той вярвал, че с помощта на същата тази мощ на своето самовглъбяващо се въображение щял да съумее да разчете загадката на божествената същност, загадката на минали и бъдещи предопределени събития,

загадката на елементите и по какъв начин те са съставени от първичната материя, загадката на здравето и безсмъртието. Всичко щяло да му се разкрие, ако само можел да постоянства до края, необезпокояван, оставен сам на себе си, без някой да влиза в стаята, за да може спокойно да чете, да преписва, да проверява сам всичко, без никой да го прекъсва за бога, без никакво изтичане на информация, никакви разстройващи посещения или критика, когато той страхливо и срамежливо атакувал тези частично предопределени и частично забранени теми, бавно пропълзвайки все по-дълбоко в сърцето на божеството, както в утробата на своята майка. „Да пътуваш през странните морета на чистата мисъл”, не като Чарлс Лам, „човекът който не вярвал на нищо, ако то не било толкова ясно, колкото трите страни на един триъгълник”.

И той правил това в продължение на двајсет и пет години. През 1687 г., когато бил на четиридесет и пет години, били публикувани *Принципите*.

Тук в Тринити, аз би трябвало да ви разкажа как той е живял между вас, в годините на своите най-велики постижения. Източният край на Университетската църква е издаден по на изток от Голямата порта. Във втората половина на седемнайсетото столетие, имало градина, оградена със стена на свободното място между улица Тринити и сградата, която съединява Голямата порта и църквата. Южната стена се простирала от куличката на Портата, докато подминела църквата поне с толкова, колкото е ширината на сегашната уличка. Така градината била със скромна, но разумна големина. Той живеел в стаите между жилището на пазача и църквата – който смятам, че сега се обитава от Професор Броуд. До градината се стигало по една стълба, прикачена към верандата, поставена върху дървени стълбове и издадена над градината, спрямо останалите сгради. На върха на стълбата бил поставен неговият телескоп – който не бива да се бърка с обсерваторията, издигната върху голямата порта още докато Нютон бил жив (но след като напуснал Кеймбридж), за да бъде използвана от Роджър Коутс и Нютоновия наследник, Уистън. Доколкото зная, тази дървена постройка била разрушена от Уиуел през 1856 г. и на нейно място била изградена каменната основа на спалнята на професор Броуд. В края на градината откъм църквата имало една малка двуетажна сграда, също от дърво, която била неговата лаборатория. Когато решил да подготви *Принципите* за публикуване, той ангажирал един свой млад роднина, Хъмфри Нютон, да работи като негов amanuensis (ръкописът на принципите, който бил даден за печат, очевидно бил дело на Хъмфри). Хъмфри останал с него пет години – от 1684 до 1689 г. Когато Нютон починал, зетят на Хъмфри, Кондюит, му писал, за да го помоли за неговите спомени и един от документите, които аз притежавам, е отговорът на Хъмфри.

По време на тези двајсет и пет години, посветени на напрегнати изследвания, математиката и астрономията били само част, и то не най-основната, от неговите занимания. Нашите сведения за тях се ограничават почти изцяло с книгата, които той бил съхранил и които поставил в своя сандък, когато напуснал Тринити, за да замине за Лондон.

Нека да дам някои кратки пояснения по този въпрос. Тези книжа били изключи-

телно обемни – бих казал, че повече от 1 000 000 думи с неговия почерк са запазени и до днес. Без съмнение, те нямат друга стойност, освен като един изключително впечатляващ лъч към умствената дейност на нашия най-велик гений.

Нека сега се спра на другия мит за Нютон, който така усърдно беше създаван през последните двеста години. В неговата лудост имаше екстремален метод. Всички негови непубликувани работи върху езотерични и теологични въпроси се отличават с внимателно изучаване на проблема, точен метод и изключителна трезвост на твърденията. Те са точно толкова смислени колкото и *Принципите*, ако изключим разглеждания проблем и поставената цел, които са магически. Те почти изцяло са били сътворени през същия период от двайсет и пет години, посветен на неговите математически изследвания. Те могат да бъдат разделени на няколко групи.

Много рано в своя живот Нютон изоставил общоприетата вяра в триединството. По това време Социаните били една важна арийска секта в интелектуалните среди. Възможно е Нютон да е попаднал под Социанско влияние, но аз не мисля така. Той по-скоро бил юдейски монотеист от школата на Маимонидес. Той достигнал до това заключение не по рационални или скептични съображения, но изключително въз основа на интерпретацията на древните авторитети. Той бил убеден, че разкритите документи не подкрепят доктрините на триединството, които били резултат на по-късни фалшификации. Съществувал само един Бог.

За някои от Нютоновите аргументи, виж нашата статия „Нютон ариецът”.

Но това била страшна тайна, която Нютон полагал отчаяни усилия да крие цял живот. По тази причина той отказал Свещените ордени и му се наложило да иска специално разрешение, за да задържи своето положение на университетски преподавател и Лукасовата катедра и не можел да бъде магистър на Тринити. Дори Актът на толерантността от 1689 г. изключвал анти-Тринитарианците. Наистина, разпространявали се някои слухове за него, но не по опасното време, когато той бил млад преподавател в Тринити. Общо взето, тайната умряла заедно с него. Но тя била разкрита в много негови ръкописи, намерени в неговия голям сандък. След смъртта му, епископ Хорсли бил помолен да разгледа сандъка, с оглед публикуване на документите. Той изпаднал в ужас, след като разгледал съдържанието и бързо затръшнал капака. Сто години по-късно Сър Дейвид Брюстер разглеждал съдържанието на сандъка. Той прикрил следите с внимателно подбрани откъси и откровено послъгване. Неговият последен биограф, Г-н Мор, бил по-честен. Нютоновите пространни анти-Тринитариански памфлети са, по мое мнение, най-интересното от неговите непубликувани ръкописи. Освен сериозното потвърждение на неговата вяра, аз разполагам с пълния текст на един памфлет, разкриващ мнението на Нютон за крайното безчестие и фалшификация на писмените документи, за което бил отговорен Свети Атанасий и най-вече за неговото клеветническо обвинение, че Ариус умрял в един клозет. Победата на Тринитарианците в Англия във втората половина на седемнайсетото столетие била не само така пълна, но и толкова удивителна, колкото и първоначалният триумф на Свети Атанасий. Има много основания да се смята, че Лок е бил унитарист. Виждал съм твърдения, че и

Милтън е бил такъв. Остава си едно петно в поведението на Нютон, че той никога не промълвил и една дума, докато Уистън, неговият наследник на Лукасовата катедра, бил изхвърлен от своята професура и от университета за това, че публично заявил такива мнения, каквито Нютон тайно смятал за правилни в продължение на предходните петдесет години.

Поддържането на тази ерес довело до още по-голямо утежняване на неговата мълчаливост и потайност и затвореност в самия себе си.

Друг голям раздел се отнася до широко разклонена мрежа от апокалиптични писания, от които той се опитвал да изведе тайните истини за Вселената – измерването на Храма на Соломон, Книгата на Давид, Книгата на откровенията, един огромен обем работи, част от които била публикувана в края на неговия живот. Също така имало и стотици страници с Църковна история и други подобни, насочени към разкриване на истината за традицията.

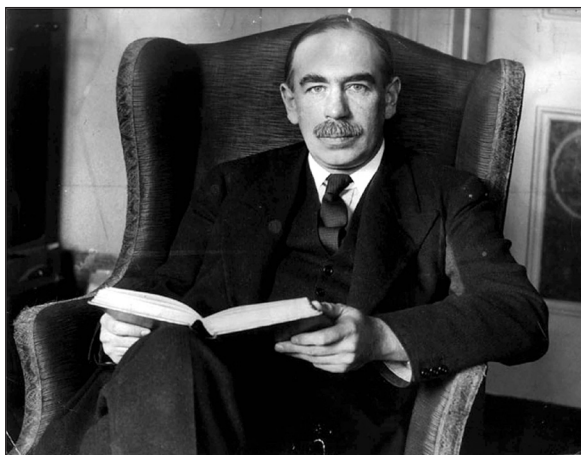
Друг голям раздел, отнасящ се до неговия ранен период, ако се съди по почерка, е посветен на алхимията – превръщанията, философския камък, еликсира на живота. Обхватът и характерът на тези писания е бил премълчаван или поне омаловажаван от почти всички, които са се занимавали с тях. Около 1650 г. в Лондон имало една значителна група, формирана около издателя Купър, която през следващите двацет години възкресила интереса не само към английските алхимици от петнайсетото столетие, но също и към преводите на средновековните и след-средновековните алхимици.

Съществува необикновен брой ръкописи на ранните английски алхимици, които се пазят в библиотеките на Кеймбридж. Може би е съществувала една продължителна тайна традиция в Университета, която отново била активно възстановена през двацетте години от 1650 до 1670 г. Във всеки случай, Нютон очевидно е бил един страничен последовател на тази традиция. Именно с това се занимавал той „около 6 седмици през пролетта и 6 през есента, когато огънят в лабораторията почти не угасвал” точно през тези години, когато съставял *Принципите* и по този въпрос той не казал нито дума на Хъмфри Нютон. Нещо повече, той бил почти изцяло зает, не със сериозен експеримент, но с опити да разчете загадката на традицията, да намери смисъла в тайнствените стихове, да повтори предполагаемите но предимно въображаеми експерименти на посветените от миналите столетия. Нютон е оставил след себе си огромно количество записки за тези изследвания. Аз вярвам, че по-голямата част от тях са преводи и копия, направени от него на съществуващи книги и ръкописи. Но има и голям брой описания на експерименти. Аз прегледах голяма част от тях, бих казал поне 100 000 думи. Абсолютно невъзможно е да се отрече, че те са изцяло магически и напълно лишени от научна стойност; и също така е невъзможно да не се признае, че Нютон им е посветил години работа. Може би ще бъде интересно, но не и полезно за някой студент, по-добре екипиран и с повече свободно време от мен, да изучи в дълбочина отношението на Нютон към традицията и ръкописите от своето време.

В такива разнообразни и необикновени изследвания, с единия крак в средновековието, а с другия прокарвайки път към модерната наука, прекарал Нютон първата

фаза от своя живот, периода на своето пребиваване в Тринити, когато всъщност извършил истинската работа. А сега, позволете ми да премина към неговата втора фаза.

След публикуването на *Принципите* настъпва пълна промяна в неговите навици и начин на живот. Аз мисля, че неговите приятели, и преди всичко Халифакс, достигнали до заключение, че той трябва да е бил изтръгнат от живота, който водел в Тринити, който скоро щял да доведе до деградация на ума и на здравето му. Общо взето, дали по



Джон Кейнс

своя инициатива или под чужд натиск, той изоставя своите изследвания. Той се захваща с университетските дела, представяйки университета в Парламента; неговите приятели се стараят да му намерят достойно и доходно занятие – напр. Провост (висш представител на университета при краля), главен ръководител на конституционните документи, Главен инспектор на монетния двор.

Нютон не е могъл да бъде Магистър на Тринити, защото бил Унитарист и поради това не членувал в Свещения орден. Бил отхвърлен като Провост, поради по-прозаичната причина, че не бил завършил колежа в Итън. Нютон много се засегнал от този отказ и даже приготвил дълго официално писмо, съдържащо правни аргументи, защо нямало нищо противозаконно в това да бъде одобрен като Провост. Но, по злощастно съвпадение, номинацията на Нютон като Провост дошла по времето, когато колежът бил решил да се бори против правото на Короната за номинация, и в която борба колежът излязъл победител.

Нютон притежавал нужната квалификация за всяка от тези дейности. Не трябва да се вади заключение от неговата затвореност, неговата потайност и неговата самотност, че му липсвала способността да упражнява такива дейности, след като е решил да се занимава с тях. Има много свидетелства, които доказват неговите големи възможности. Прочетете, например, неговата кореспонденция с Д-р Ковел, вице-ректорът когато, като представител на Университета в Парламента, той трябвало да се занимава с деликатния въпрос за клетвите след революцията от 1688 г. Заедно с Пепис и Лаундс, той се превърнал в един от нашите най-способни и най-ефикасни административни служители. Той бил много успешен фондов инвеститор, който преодолял кризата на компаниите в Южно море и умрял като богат човек. Той притежавал в огромна степен почти всички възможни интелектуални способности – адвокат, историк, теолог, в не по-малка степен отколкото математик, физик, астроном.

И когато дошъл преломът в неговия живот и той прибрал магическите книги об-

ратно в сандъка, за него било лесно да изостави зад себе си седемнайсетия век и да се превърне във фигурата от осемнайсетия век, която е традиционният Нютон.

И все пак, действията на неговите приятели, имащи за цел да променят живота му, били може би вече закъсняли. През 1689 г. починала майка му, към която той бил дълбоко привързан. Някъде около петдесетия му рожден ден, на Коледния ден на 1692 г., той пострадал от нещо, което сега бихме могли да наречем тежко нервно разстройство. Меланхолия, безсъние, страх от преследване – той пише на Пепис и на Лок, а със сигурност и на други хора писма, които ги карали да мислят че разумът му е повреден. Той загубил, според собствените си думи, „придирчивата последователност на своя ум”. Той никога повече не могъл да се концентрира както преди и не свършил повече никаква нова работа. Разстройството вероятно траяло почти две години и от него изплувал един леко „изкуфял”, но все още, без съмнение, с един от най-мощните умове в Англия, познат Сър Исак Нютон.

През 1696 г. неговите приятели най-после успели да го изтръгнат от Кеймбридж и през следващите повече от два века той царувал в Лондон като най-прочутият човек на своето време в Европа, и – когато неговата интелектуална мощ постепенно затихвала, а неговата приветливост нараствала – може би за всички времена, както се струвало на неговите съвременници.

Той живеел в една къща със своята племенница Катерин Бартън, която без съмнение била любовница на неговия стар и лоялен приятел Чарлз Монтагю, Граф на Халифакс и Ректор на Ексетър, който бил един от Нютоновите близки приятели от времето когато бил студент в Тринити. Катерин имала репутацията на една от най-блестящите и очарователни жени в Лондон на Конгрийв, Суифт и Поуп. Тя била много известна освен с друго и със широтата на своите разкази в Суифтовото *Списание на Стела*. Нютон натрупал доста килограми за своя не особено внушителен ръст. „Когато пътувал в своята карета, едната му ръка излизала от едната страна на каретата, а другата ръка се подавала от другата страна.” Неговото розово лице, под огромната маса снежнобяла коса, която „когато неговата перука била свалена, представлявала една внушителна гледка”, било благосклонно и величествено. Една нощ, в официалната зала на Тринити, той получил рицарско звание от Кралица Ана. Близко до два века и пет години той царувал като Президент на Кралското дружество. Той се превърнал в една от основните атракции на Лондон за всички чуждестранни интелектуални посетители, които съумявал да забавлява много добре. Той обичал да има около себе си умни младежи, които се занимавали с редактирането на новите издания на *Принципите* – а понякога просто благовидни, какъвто е случаят с Фацио де Дуийе.

Магиите били напълно забравени. Той се бил превърнал в Мъдрец и Монарх на Ерата на Разума. Сър Исак Нютон на ортодоксалната традиция – Сър Исак на осемнайсетия век, така далеч от детето магьосник, родено в първата половина на седемнайсетото столетие – се изграждал постепенно. Волтер, след завръщането си от Лондон, разказвал за Сър Исак – „било особено блаженство не само да си роден в страната на свободата, но и във време, когато всички схоластични намеси са били премахнати от

света. Единствено разумът бил издигнат в култ и човечеството могло да бъде само негов питомец а не враг.” Нютон, който положил такива огромни и продължителни усилия да прикрие своите тайни ереси и схоластични предразсъдъци!

Но той никога повече не успял да се концентрира и да възстанови „предишната последователност на своя ум”. „Имало нещо много отпуснато в неговия вид и маниери.”

А аз предполагам, че той много рядко поглеждал в чекмеджето, където, при напускането на Кеймбридж бил опаковал всички свидетелства за това, което преди занимавало и изцяло поглъщало неговия интензивен и пламтящ ум в стаите му, в градината и в лабораторията между Голямата порта и църквата.

Но той не ги унищожил. Те останали в сандъка, за да шокират дълбоко всички любопитно надничащи очи от осемнайсетото или деветнайсетото столетие. Те станали притежание на Катерин Бартон, а после и на нейната дъщеря, графинята на Портсмут. И така Нютоновият сандък, съдържащ толкова много стотици хиляди думи с неговите непубликувани писания, станал известен като „Книжата от Портсмут”.

През 1888 г. математическата част била дадена на Университетската библиотека на Кеймбридж. Те са били индексирани, но никога не са били редактирани. Останалите, една много голяма колекция, били продадени на търг през 1936г. от наследника на Катерин Бартон, сегашния Лорд Лимингтън. Разтревожен от тази непочтителност, аз съумях постепенно отново да събера около половината от тях, включително почти цялата биографична част, т.е., „Книжата Кондюит”, за да ги върна в Кеймбридж, където, надявам се, ще останат завинаги. По-голямата част от останалите книжа беше изтръгната от ръцете ми от един синдикат, който се надяваше да ги продаде на висока цена, вероятно в Америка, по повод неотдавнашната тристагодишнина.

Когато човек размишлява над тези странни колекции, му изглежда по-лесно да разбере – с едно разбиране, което, надявам се, не е изкривено в друга посока – този странен дух, който е бил съблазнен от дявола да вярва по онова време, когато, намирайки се между тези стени, той намирал толкова много решения, че би могъл да постигне всички тайни на Бога и Природата, използвайки само силата на своя ум, Коперник и Фауст в едно цяло.

Превод: **Св.Рашев**

Източник: John Maynard Keynes, *Newton the Man*

http://www-history.mcs.st.andrews.ac.uk/Extras/Keynes_Newton.html

[1] – John Maynard Keynes (1883-1946) – световно известен британски икономист, създател на т.нар. ”кейнсианска школа” в макроикономиката, със силно влияние върху икономическата политика на редица правителства през средата на XX век. Удостоен през 1942 г. с благородническата титла „барон”. Интелектуалец – аристократ, принадлежащ към прочутия „кръг Блумсбъри” (Виржиния Улф, Лайтън Стричи, Е.Форстър и др.) Колекционира картини на импресионистите и оригинални ръкописи на Нютон. Кейнс е бил възхитен от ръкописите на Нютон и бил първият, който видял някои от тези ръкописи, които са били държани в тайна, преди всичките му книжа да бъдат продадени през 1936 г.

НЕУТРОНЪТ НА 80 ГОДИНИ (История и поуки)

Н. Балабанов

Въведение

Всеки знае, че атомните ядра са изградени от протони и неутрони. Двете частици са равноправни партньори в ядреното семейство, разбира се, всяка със свои конкретни „задължения“. Протонът е положително заредена частица и представлява ядрото на първия елемент в периодичната система – водорода, откъдето идва името му (от гръцки „протос“ – първи). Неутронът не притежава електричен заряд, но това, както ще видим, съвсем не го прави безличен и безпомощен.

Когато разглеждаме двете частици като индивидуалности, изолирани една от друга, тяхното поведение се определя от електромагнитните им свойства: заряди и магнитни моменти. Но в ядрото действат сили – наричаме ги ядрени, за които двете частици са неразличими, електромагнитният им произход няма съществено значение. Ядреният свят е демократичен, в него привилегии няма!

Това, че за съществуването на протона и неутрона сме узнали преди няколко десетилетия, си е наш проблем. Всъщност те са се „родили“ още в първите мигове след Големия взрив, поставил началото на нашата Вселена. Една от нейните първи „рождби“ е и електронът – добавката, с помощта на която природата е конструирала уникална стабилна структура – атома. Цяло чудо е, че тя е успяла от три елементарни частици – протон, неутрон и електрон, да сътвори близо 300 стабилни разновидности (изотопи) на химическите елементи. Ние трябва да сме благодарни за инженерното майсторство и технологичната далновидност на природата, защото според Антропния принцип (една от методологичните идеи на космологията) цялото развитие на Вселената – от Големия взрив до появата на човека, е било запрограмирано още в началния миг. (Сега вече се досещате защо програмирането стана водеща дисциплина в училище.)

Що се отнася до развитието на самото човечество, много неща (не всички!) се програмират, планират и стимулират от обществото. Една от неговите основни грижи е да удовлетвори любопитството на хората при търсенето на нови знания. Защото любопитството е първата отличителна черта на човека от останалия животински свят. Втората му отличителна черта е стремежът да предаде знанията на следващите поколения. И това качество липсва при животните – при тях всяко поколение започва обучението си „от нулата“. При хората знанията се предават от родителя на детето, от учителя на ученика, натрупват се и се умножават.

Историята с откриването на споменатите три частици е прекрасен пример за ролята на учителя. Ето я накратко.

През 1897 г. Дж. Дж. Томсън открива електрона.

През 1919 г. Ъ. Ръдърфорд след десетгодишни опити и анализи на резултатите дава „живот” на протона.

През 1932 г. Дж. Чадуик открива неутрона.

Зад тази суха хронология стоят два забележителни факта. Първият: посочените имена са част от една верига „учител–ученик” – Томсън е учител на Ръдърфорд, а той е учител на Чадуик. Вторият: и тримата са работели на едно и също място – в Кавендишката лаборатория на университета в Кембридж. Тази лаборатория заема особено място в развитието на физиката през последните 150 години. Нейни ръководители освен посочените учени са били: Дж. Максвел (създател на класическата електродинамика); Дж. Рейли (Нобелов лауреат през 1904 г.); У. Браг (Нобелов лауреат през 1915 г.), Н. Мот (Нобелов лауреат през 1977 г.).

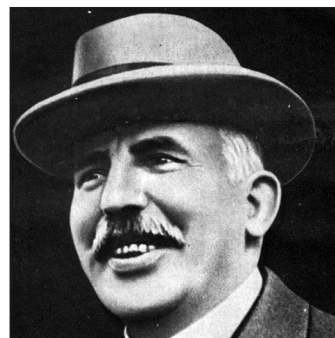
Първата поука в разказа дотук е в осъзнаването на *голямата роля на учителя* за израстването на младите учени (за съжаление, много от новозащитилите докторанти бързо забравят този урок).

Историята на откриването на неутрона

Мъгляви догадки за съществуване на микрочастица, подобна на неутрона, са изказвани още в първите години на XX век. Но най-ясно тази идея е формулирана от Ъ. Ръдърфорд в неговата Бейкърова лекция „Ядрен строеж на атома”, изнесена на 3 юни 1920 г. В лекцията ученият лансира „възможността за съществуване на атом с маса 1 и нулев заряд на ядрото... Такъв атом би имал доста своеобразни свойства. Външното му поле би било практически равно на нула навсякъде с изключение на областта, лежаща непосредствено до ядрото, благодарение на което той би могъл да преминава свободно през веществото... би било невъзможно такива атоми да се пазят в херметически затворен съд”(1).

Твърдо решил да потърси потвърждение на своето предположение, Ръдърфорд набелязва методиката за търсенето на тези „атоми”: „Ако съществуването на такива атоми е възможно, те трябва да възникнат, макар и в много малки количества, при електрическо разреждане през водород... Авторът има намерение да проведе експерименти, за да провери дали няма никакви указания за образуването на подобни атоми при споменатите условия”(1).

През следващите години Ръдърфорд и неговите сътрудници провеждат множество безуспешни опити по указаната методика. По-късно се оказва, че идеята е можела да бъде реализирана при използването на най-добре познатата от големия учен методика – обстрелването на



Ъ. Ръдърфорд



Д. Чадуик

ядрата с алфа-частици (хелиеви ядра). С помощта на алфа-частиците през 1911 г. Ръдърфорд открива атомното ядро, а през 1919 г. осъществява първото изкуствено превръщане на елементите.

Един от най-близките сътрудници на Ръдърфорд в неговите изследвания е Джеймс Чадуик. Тъй като той е централен персонаж в сагата за неутрона, ще посочим някои любопитни факти от неговата биография.

Първото си откритие Чадуик прави още като абсолвент на университета в Кембридж. През 1912 г. той открива, че под действието на алфа-частици някои ядра изпускат гама-лъчи. През следващата година той прави ново важно откритие – пръв се ориентира в сложните дебри на електронните спектри на атомите (смесица от електрони с различен произход) и доказва, че бета-лъчите притежават непрекъснат енергетичен спектър. Това откритие поставя началото на една загадка, до чието решение се стига след 20-ина години.

През същите години при Ръдърфорд работи един немски специалист Х. Гайгер, известен като конструктор на един от най-популярните ядрени детектори – гайгеровият брояч. През 1914 г. той се завръща в Германия, като взима със себе си и Чадуик. След избухването на Първата световна война Чадуик е задържан като поданик на неприятелска държава и в продължение на четири години пребивава в лагер. Благодарение на авторитетните професори от Берлинския университет В. Нернст и Х. Рубенс Гайгер успява да „вреди“ Чадуик в лагер близо до столицата и дори да оборудва за него малка лаборатория. В нея английският заточеник провежда интересни (неядре-ни) изследвания и поддържа формата си. Както се вижда, по онова време „интернационалното семейство на физиците се държало по-сплотено, отколкото писателите и другите интелегенти, които се бомбардирали помежду си със злобни манифести. Физиците, работили преди войната в близко общуване, не могли по команда отгоре да се превърнат във врагове”(2).

След войната Чадуик се връща в Англия и отново активно се включва в изследванията на ядрените реакции. Двайсетте години на XX век са труден период за ядрената физика. Загадката за непрекъснатия характер на бета-спектъра остава неразрешена. Това е в противоречие с представите за дискретните състояния на ядрата. Друго противоречие се явява при изучаването на квантовите характеристики на азотното ядро – теорията и експериментите се „разминават”. В ядрената физика тази ситуация е известна като „азотна катастрофа”.

Протонно-електронният модел на ядрото, приет дотогава от специалистите, се оказва „съшит с конци”, които се „късат” след възникването на квантовата механика. Съотношението на неопределеност – един от основните принципи на тази теория, доказва невъзможността електроните да се задържат вътре в ядрото. А в същото време десетки ядра изпускат електрони – т.нар. бета-частици. Липсват идеи, как да се решат тези противоречия. Но това е, както се казва, затишие пред буря.

Бурите в науката стават не в атмосферата, а в лабораториите; по същия начин и революциите в науката не стават на барикадите, а в тишината на кабинетите. Първи-

ят предвестник на наближаващата „буря“ се появява през 1930 г. в лабораторията на Берлинския физико-технически институт при опитите на физиците В. Боте и Р. Бекер (Още един интересен факт: като участник в Първата световна война през 1915 г. Боте е пленен от руснаците и изпратен в Сибир. Там и на него е предоставена възможност да продължи теоретичните си разработки по физика. През 1920 г. се връща в Германия. През 1954 г. получава Нобелова награда!)

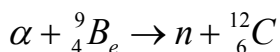
Изследвайки превръщането на химични елементи при бомбардирането на атомните им ядра с алфа-частици, Боте и Бекер регистрират силно проникващо лъчение при облъчването на елемента берилий. Енергията на непознатото лъчение била оценена като петкратно по-голяма от всички известни дотогава източници. Затова ги нарекли внимателно „берилиеви лъчи“.

През следващите месеци подобни експерименти се провеждат в няколко европейски лаборатории, в т.ч. във Виенския радиов институт, с участието на нашата сънародничка д-р Елисавета Карамихайлова. Най-прецизни са изследванията на парижките учени Ирен Кюри и Фредерик Жолио. Те подлагат на по-задълбочена проверка „берилиевите“ лъчи, като ги пропускат през вещества, богати на водород (парафин, вода и др.). Установяват, че лъчите избиват от тях протони с големи енергии. Приемайки, че протоните възникват в резултат на разсейващи удари на предполагаеми гама-кванти с водородни ядра, Кюри и Жолио пресмятат енергията на тези гама-кванти, за която получават твърде високи стойности. Тези стойности не се съгласуват с енергетичния баланс (т.е. със закона за запазване на енергията) на предполагаемата реакция $\alpha + \text{Be} \rightarrow \gamma$.

Тук в изследванията се намесва Чадуик. Веднага след като прочита статията на френските учени, той се заема с повторението на техните опити. Него никога не го е напускала идеята на Ръдърфорд за „неутралния атом“ и тълкува резултатите от своите опити в духа на тази идея. На 17 февруари 1932 г., само две седмици след публикацията на Кюри и Жолио, Чадуик изпраща в списание „Природа“ статия, в която твърди:

„Резултатите, получени от мен в хода на работата, трудно могат да бъдат обяснени въз основа на предположенията, че берилиевото излъчване е електромагнитно, ако при сблъскванията трябва да се запазват енергията и количеството движение. Трудностите обаче изчезват, ако се предположи, че излъчването се състои от частици с маса 1 и заряд 0, т.е. от неутрони. Може да се предположи, че в резултат на захващането на алфа-частици от ядрото на ${}^9\text{Be}$ се образува ядро ${}^{12}\text{C}$ и се изпуска неутрон”(3).

Според Чадуик истинската реакция, наблюдавана от немските и френските учени, има вида:



В края на статията си Чадуик уверено заключава: „Досега всичко свидетелства в полза на неутрона, докато към квантовата хипотеза (според която се наблюдават лъчи) можем да се придържаме само ако в някой стадий се откажем от законите за запазване на енергията и на количеството движение”(3).

Откриването на неутрона се е изплъзнало на френските учени, защото те са „изневерили“ на законите за запазване на природата. А това са нейните „божи закони“.

Поуката: *Всяко посегателство върху фундаменталните закони на природата води до погрешни изводи.*

Отклонение. Естествено е да възникне въпросът: как е възможно големи учени да допуснат такива грешки? За тях не важат ли „Божиите закони“?

Коментар. Когато някой ученик се опитва да „наруши“ законите за запазване, можете без колебание да му поставите „двойка“. Но когато голям учен „посегне“ към тях, това може да означава, че той търси нещо по-дълбоко в природните процеси.

Пример за такова търсене неведнъж дава датският учен Нилс Бор. За да обясни свойствата на атомните спектри, той се отказва от някои общоприети схващания на класическата физика – и на механиката, и на електродинамиката. В резултат на това „кошунство“ се получава удивително съвпадение на получените от него формули с експерименталните резултати. Неслучайно Айнщайн нарича неговата теория за атома „най-висша музикалност на мисълта“.

Тези постижения дават самочувствие на Н. Бор. Той разбира, че микросветът се подчинява на свои закони, и се стреми да се отърси от класическите предубеждения. Затова през 20-те години при обяснение на „ефекта на Комптън“ (еластичното разсейване на рентгеновите лъчи от свободни електрони) Бор предлага да се откажем дори от фундаменталните закони за запазване на енергията и импулса.

Самият А. Комптън намира друго обяснение на открития от него ефект – именно на основата на законите за запазване. Той приема хипотезата за квантовия характер на електромагнитното лъчение и обяснява явлението като удар между две „топчета“ – корпускулите на лъчите се удрят с електроните. 250 години преди това английският учен Р. Хук така обяснява удара между телата – при съблюдаване на законите за запазване.

Няколко години по-късно, за да обясни спектъра на бета-лъчите, Бор отново „посяга“ на законите за запазване. Много от физиците му вярват (той е полубог!), особено „тийнейджърите“, които по онова време творят новата физика. Един от тях обаче изказва друга хипотеза, с която „спасява“ законите на природата. През 1930 г. австрийският физик Паули обяснява непрекъснатия характер на бета-спектъра, като допуска, че заедно с бета-частиците радиоактивните ядра изпускат още една микро-частица – неутрино (ν).

По-нататъшното развитие на представите за процесите в ядрото вече се основава на съществуването на тази хипотетична частица (въпреки че експериментално е уловена 25 години по-късно). Самият Бор проявява голям „инат“ – публично признава своите погрешни възгледи едва през 1937 г.

Поука: *Вярвай на големите учени, но не им се предверявай!*

И още една: *Това, което е позволено на гениите, не важи за нас, простосмъртните.* (Край на отклонението.)

Откритието, направено от Чадуик, бързо намира потвърждение и признание сред научните среди. Затова датата на неговата публикация – 27 февруари 1932 г. – някои приемат за „рожден ден“ на неутрона. Три години по-късно той заслужено е удостоен

с Нобеловата награда по физика. Продължително време обаче остават неизяснени въпросите за

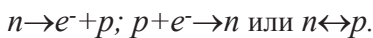
Природата на нейтрона и силите, на които се подчинява

Чадуик, подобно на своя учител Ръдърфорд е смятал, че нейтронът е някаква комбинация от протон и електрон. Той се „убедил“ в това, след като измерил масата на нейтрона – тя се оказала малко по-голяма от масата на протона. В. Хайзенберг, един от първите теоретици в ядрената физика, също предполагал, че нейтронът е съставна частица, изградена от протон и електрон. Първ руският физик Д. И. Иваненко предложил нейтрона да се разглежда като елементарна частица и изказал идеята за протонно-нейтронен модел на атомното ядро (април 1932 г.)

Но загадките оставали. Търсят се отговори на въпросите:

- Какви сили задържат протоните и нейтроните вътре в ядрото?
- Откъде се взимат електроните, които радиоактивните ядра излъчват под формата на бета-частици?

Хайзенберг изказал предположението за съществуване на някаква обменна сила в ядрото. Според него протоните и нейтроните се удържат в ядрото благодарение на това, че си обменят електрони. По-конкретно: нейтронът изпуска „своя“ електрон и се превръща в протон, а електронът се залавя от друг протон, който пък се превръща в нейтрон:



Така обменният характер на силите се обуславя от обмяната на енергията, импулса и електрическия заряд при тези процеси.

Може да се каже, че първите успешни крачки в създаването на теорията на ядрените сили са направени веднага след откриването на нейтрона. Не случайно в летоброенето на физиката 1932 г. е определена като начало на нов етап в развитието на съвременната физика. Това е свързано преди всичко с откриването на нейтрона и с изясняване на силите, които действат в ядрото. Наред с това 1932 г. се характеризира с изключителна концентрация на събитията в ядрената физика:

- Открит е позитронът e^{+} – античастица на електрона;
- Открит е тежкият изотоп на водорода – деутерият;
- Осъществени са първите реакции с нейтроните;
- Построени са първите ускорители на протони и др.

Тези важни открития са дали основание 1932 г. да бъде наречена „година на чудесата“ по отношение на ядрената физика. Въпреки мнението, че тази наука започва с откриването на радиоактивността, по същество нейното развитие датира от откриването на нейтрона. Затова може да се говори за донейтронна и постнейтронна физика.

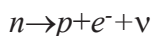
Донейтронната физика е постигнала големи успехи в опознаването на света на атомите и молекулите на основата на електромагнитните взаимодействия. Грандиозните успехи на квантовата механика първоначално също са постигнати в духа на електромагнитната картина на света. Успехите били толкова големи, че идеолозите

на физиката се опитали да поставят и ядрените явления „под чехъла” на електромагнитните взаимодействия. Това разбиране обаче не продължило дълго.

Въпросът за „ядрените електрони” бил разрешен от италианския физик Енрико Ферми. През 1933 г. той създава теория на бета-разпадането. Две важни открития предхождат създаването на теорията:

- Позитронната радиоактивност и
- Хипотезата на неутрино.

Теорията на Ферми се основава на аналогията между бета-разпадането на ядрата и излъчването на светлина (фотони) от атомите. Така както в състава на атомите няма фотони, а те възникват при прехода на електроните от по-високи към по-ниски енергетични състояния, така и електроните не са ядрени частици, а се образуват в момента на превръщането на неутрона в протон:



След това превръщане електронът и неутрино мигновено напускат ядрото. Те нямат място вътре в него!

Същественото в теорията на Ферми е, че изпускането на бета-частиците се оказва



Е. Ферми

результат от нов тип взаимодействие, получило през следващите години названието „слабо взаимодействие”. В границите на ядрото то е милиарди пъти по-слабо от силите, които осигуряват неговата стабилност – т.нар. „силни” (ядрени) взаимодействия. По-нататъшното развитие на физиката потвърди съществуването и разшири обхвата на „слабото взаимодействие” в много явления от света на елементарните частици.

Така като следствие от откриването на неутрона може да се посочи разкриването на две нови взаимодействия в природата. Това е голяма крачка в нейното опознаване. Възниква нова физическа картина на света, в ядрото на която стоят четири фундаментални взаимодействия: гравитационни, електромагнитни, силни и слаби.

Любопитна подробност. Своята теория Е. Ферми изложил в статия, озаглавена „Към теорията на бета-лъчите”, и я изпратил в английското списание „Природа”. Редакцията му я върнала с обяснението, че е твърде далече от физическата реалност. Но той е бил убеден във важността на получените резултати и публикувал статията в италианско списание, след това и в немско. След време теорията на Ферми била оценена като блестящо постижение на физиката.

Поука: Ако сте убеден в значимостта на своята идея, не се отчайвайте от действията на късогледни редактори и рецензенти.

Неутронът поднася нови изненади (4)

Друго голямо събитие през 1933 г. е откриването на изкуствената радиоактивност.

Семейство Жолио-Кюри се реабилитират за грешката си при „недовиждането“ на неутрона и наблюдават ядрени превръщания, предизвикани от действието на алфа-частици. За важността на тяхното откритие говори фактът, че през 1935 г. си поделят Нобеловата награда (Чадуик по физика, Жолио и Ирен Кюри по химия).

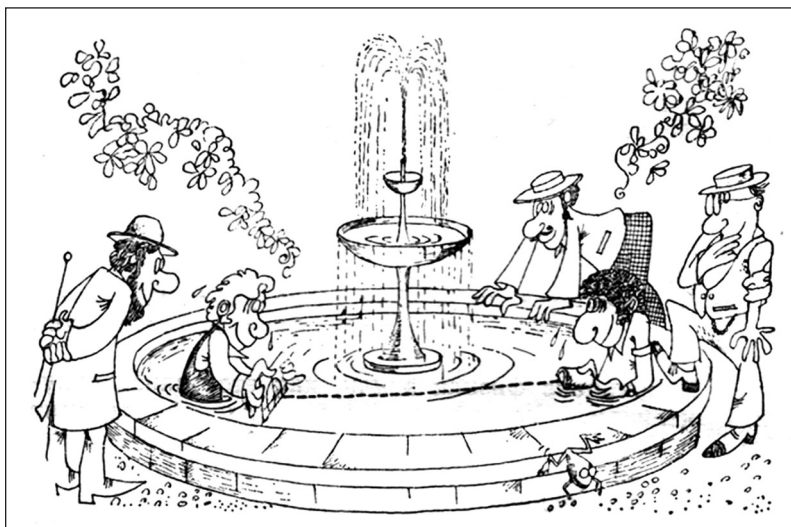
Е. Ферми, по това време ръководител на група физици в Римския университет, незабавно решава да пусне в действие неутроните. Очакванията не били големи, защото неутронните източници още били твърде слаби в сравнение с алфа-източниците. Но Ферми разчитал на по-безпрепятственото проникване на неутроните в ядрото.

За два-три месеца били изследвани всички достъпни елементи на периодичната система. В 40 от тях била наблюдавана слаба изкуствена радиоактивност. С благословията на Ръдърфорд резултатите на римската група били публикувани в трудовете на Лондонското кралско дружество.

Прекъснати поради лятната ваканция, опитите били продължени в началото на октомври. След като ефектът на облъчването с неутрони бил установен, групата се заела с подобряване на установката за облъчване и измерване: по-добри геометрични условия, търсене на подходящи материали за намаляване на фона и т.н. Една сутрин – това се случило на 22 октомври 1934 г., Ферми решил да постави между неутронния източник и облъчвания образец (сребро) парче парафин. Резултатът бил неочакван и нелогичен – активността на сребърния образец многократно нараснала. Известно е, че всяка преграда намалява интензитета на лъчите, достигнали до нея. А опитът показвал обратен резултат.

Дефект в апаратурата? Грешки при измерванията? Недоглеждане в условията на опита? Сътрудниците на Ферми – все умни младежи, се надпреварвали да търсят обяснение. Възбудата била голяма, защото резултатите били наистина нелогични. „Нелогично“ било и поведението на Ферми, който внезапно охладил страстите с репликата: „Хайде да обядваме!“.

Ето какво разказва един от участниците в опитите, бъдещ нобелист, Емилио Сегре: „Когато се върнахме в института около 3 часа следобед, Ферми беше вече намерил обяснението на всички странности. Той изказа предположението, че в резултат на еластични



взаимодействия неутроните се забавят и стават по-ефективни – идея, свършено противоположна на нашите предишни представи”.

За да провери хипотезата си, Ферми предложил опитът да се проведе с вода – материалът, съдържащ най-лекия елемент, водорода. Предложението било реализирано по елементарен и оригинален начин. В двора на физическия факултет имало фонтан със златни рибки, който предоставял достатъчно количество вода. Неутронният източник и сребърният образец били потопени във фонтана. Златните рибки (и младежите, естествено) станали свидетели на голямо откритие – броячите показали, че активността на среброто многократно превишила онази, регистрирана при опитите с парафин. (Днес всеки мой студент повтаря този опит, но поради липса на фонтани – да не сме в Рим! – използваме варел с вода.)

Същата вечер съобщението за направеното откритие било написано и светкавично изпратено за публикуване. То съдържало и кратко обяснение на ефекта. Неутроните, попаднали във водородосъдържаща среда, се удрят многократно в ядрата на водорода, в резултат на което енергията им, респективно скоростта, намалява. Колкото е по-малка скоростта на неутроните, толкова е по-голяма вероятността те да взаимодействат с ядрата на водорода. Затова забавените неутрони предизвикват много по-голяма активност от „бързите”.

Сега разсъжденията на Ферми изглеждат логични. Представете си, че трябва да преминете през централната улица на вашия град. Кога ще се поздравите с повече приятели (това е форма на взаимодействие между хората) – когато се дните със скоростта на Ивет Лалова или пристъпвайки бавно като кандидат-депутат преди избори? Отговорът е очевиден!

Що се отнася до репликата на Ферми, с която прекъснал опитите, за „да обядват”, обяснението съвсем не е свързано с неговите гастрономически наклонности. Неговото желание било да обуздае емоциите, за да може спокойно да се обмислят неочакваните резултати. Спомнете си, че Архимед е открил закона за подемната сила не като е правил опити, а като е лежал замислено във ваната. И Нютон не е правил опити с падащи тела (подобно на Галилей), а е лежал – навярно отново замислено – под ябълковото дърво.

Поука за бъдещи учени: работете, измервайте, обработвайте внимателно резултатите, но *не забравяйте да мислите*. Във връзка с тази препоръка е полезно да си припомним един разговор на великия Ръдърфорд с негов млад сътрудник – навярно много работлив. На въпросите на шефа, какво прави сутрин, обед, вечер, усърдният младеж отговорил едно и също: „Работя!”. „Ами кога мислиш бе, човече!?” – избухнал ученият и го изгонил от лабораторията.

След като си обяснихме една от странностите на неутроните, нека си зададем още един странен въпрос, също свързан с техните необикновени „способности”:

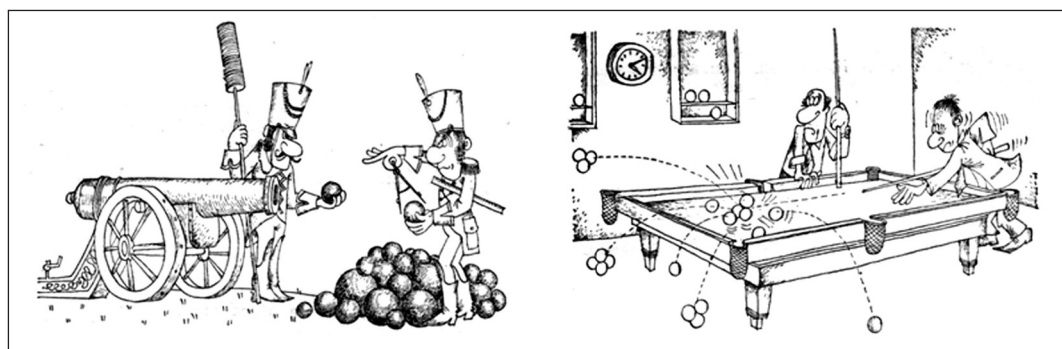
Може ли с топка за пинг-понг да се разбие крепост?

Преди да продължим историята на неутрона и да отговорим на този странен въпрос, нека уточним някои термини, използвани в неутронната физика.

Названието „бързи” и „бавни” неутрони, които вече употребихме, са свързани с

техните енергии. В света на атомите и атомните ядра за единица енергия се приема електронволтът (eV). Един електронволт е енергията, която частица, притежаваща един елементарен електричен заряд ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кулона), придобива при преминаването през потенциална разлика 1 Волт. За големите тела енергията се измерва в Джаули. Връзката между двете единици е $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

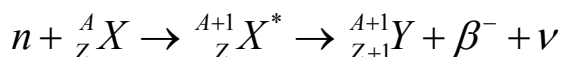
Всички първоначално възникнали неутрони независимо от източника притежават енергии над милион електронволта (MeV). Такива неутрони наричаме „бързи“. За „бавни“ се смятат неутроните с енергии, по-малки от 1000 eV. Неутрони, които са приели енергията на топлинните колебания на атомите в дадена среда (след многократни удари с ядрата им), се наричат „топлинни“ (0,024 eV). А неутроните с още по-малки енергии наричаме „студени“. (Ако ви е станало студено, наметнете се!)



Откриването на явлението „забавяне на неутроните“ донесло на Ферми Нобеловата награда по физика за 1938 г. Интересно! На спортните олимпиади дават награди за най-бързите състезатели, а Ферми получил медал (Нобелов!) за това, че „забавил“ неутроните.

Бавните неутрони се оказали изключително полезни за получаване на изкуствени радиоактивни изотопи. За няколко години били получени стотици радиоактивни изотопи. Те намерили огромни приложения в най-различни области на науката, техниката, медицината, селското стопанство.

Получаването на нови изотопи с помощта на неутроните става благодарение на това, че нахлуият в ядрото мишена неутрон нарушава създадения от природата баланс в неговата структура. Претовареното с неутрони ядро става нестабилно, т.е. радиоактивно и за да се възстанови балансът, един от неутроните му се превръща в протон. Това е съпроводено с изпускане на бета-частица (плюс неутрино) и с получаване на ново ядро, чийто заряд е с единица по-голям от заряда на обичайното ядро.



Както се вижда от схемата, при облъчване с неутрони на елемент с пореден номер Z, може да се получат ядрата (атомите) на следващия в Периодичната система елемент с пореден номер Z+1. Съблазнителното в посочената реакция е надеждата, че може да

се опитахме да видим какво има зад урана – последен елемент, който природата ни е подарила ($Z=92$). Ако горните разсъждения са верни, защо да не опитахме да надникнем в „забранения двор“ на природата – облъчвайки урана, да получим задуранови елементи.

Разбира се, групата на Ферми не искала да изпусне тази възможност. Още през 1934 г. италианските физици започнали да облъчват с бавни неутрони ядрата на урана с цел да получат по-тежки елементи. И не само ги „получили“, но ги и „кръстили“. Без да се бавят, нарекли елемент с пореден номер $Z=93$ „аусоний“, а следващият, $Z=94$ – „есперий“.

По-късно се оказало, че резултатите от изследванията са тълкувани погрешно. След няколко години било установено, че в посочените реакции – бомбардиране на уран с неутрони, са се „раждали“ не задуранови елементи, а елементи от средата на периодичната система. А това означава, че под действието на неутроните тежките ядра се разцепват на ядрени късове.

И най-големите специалисти смятали това за невероятно (още сме в средата на 30-те години). В продължение на десетилетия атомните ядра били обстрелвани с алфа-, бета- и гама-лъчи, притежаващи високи енергии. Всички вече били убедени, че ядрената крепост е непробиваема. Изведнъж се оказало, че някакъв „тронав“ неутрон може да извърши онова, което ядрената голямокалибрена артилерия не е успяла.

Тази ситуация много образно е коментирана във великолепната книга на Р. Юнг „По-ярко от хиляди слънца“: „Все едно по време на война някой да предложи на артилеристите, които безуспешно са водили огън със снаряди от най-едър калибър по укрилия се в подземни скривалища противник, да се опитат да постигнат успех с помощта на топки за пинг-понг“(2).

Прекрасна метафора! Не ви ли напомня за Троянския кон, който без усилия превзел крепостта, след като многобройна армия не е успяла да стори това със сила?

Поука: *И в науката са нужни личности като Одисей, които да сменят тактиката при „обсадата“ на даден проблем.*

В изследванията с тежки ядра са участвали освен италианските физици и техни колеги от Париж, Кембридж, Берлин, Виена и др. В някои от тях дори били наблюдавани „парчета“ от средата на периодичната система. Но предубежденията задържали с няколко години изясняването на протичащите реакции.

Откритието било направено в навечерието на 1939 г. от немските физици Ото Хан и Ф. Щрасман, както и благодарение на „озарението“ на тяхната колежка Лизе Майтнер (напуснала преди това Германия поради еврейския си произход). Всички изведнъж осъзнали, че в продължение на няколко години са наблюдавали реакция на делене на урановите ядра. Нилс Бор се плеснал по челото: „Как не се сетихме по-рано!“.

Добре че не са се сетили. Едва ли е възможно да си представим какво би станало, ако откритието бе направено още при първите опити с облъчване на уран с неутрони, т.е. три-четири години по-рано. Това би преместило назад в историята със също толкова години и създаването на атомните бомби. Те щяха да влязат в употреба още в разгара на Втората световна война. Коментирайки изпуснатия шанс на немските

учени да открият по-рано деленето на ядрата, професор Н. Ахабабян го определя като „щастлив неуспех на германските физици”.

Не само германските физици, всички техни колеги от големите ядрени центрове са били заблудени при тълкуването на реакцията „неутрон+тежко ядро”. Много сполучливо американският журналист У. Лоурънс нарича погрешното тълкуване на споменатите опити „безпрецедентна проява на колективна интелектуална слепота”.

Благодарение на тази „слепота” човечеството беше спасено от унищожителна ядрена война!

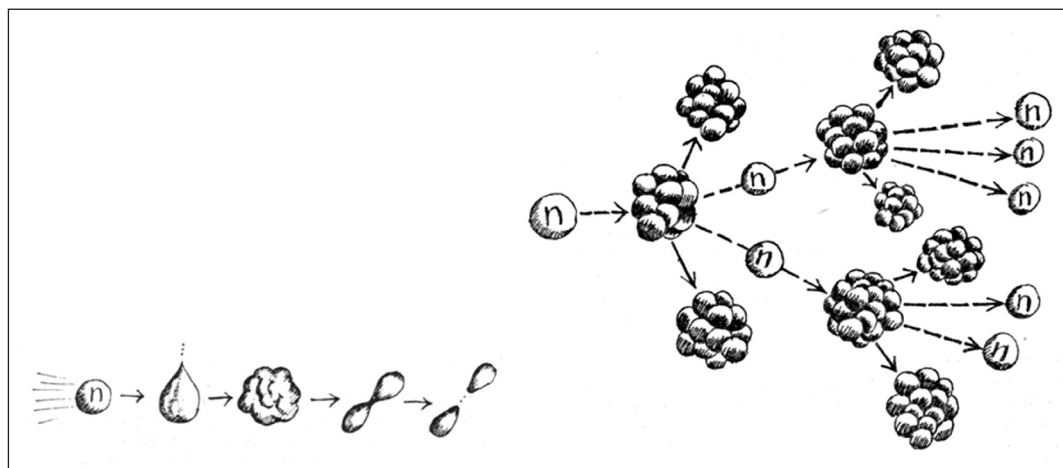
Обузданият неутрон

Още през първите месеци след откриването на деленето на ядрата били установени някои важни факти:

- В тези реакции се отделя огромна енергия, милиони пъти по-голяма от енергията, отделяна при химически реакции.

- Заедно с ядрените парчета при всеки акт на делене се изпускат 2–3 вторични неутрона, което е предпоставка за нейното верижно протичане.

- Някаква малка част от вторичните неутрони закъсняват с появата си (секунди и минути след разцепването на ядрото). „Закъсняващите” неутрони са истински „подарък” от природата, защото дават възможност за управление на верижната реакция.



Отчитайки тези открития, група от първокласни физици в САЩ започва да конструира ядрен реактор – съоръжение за управляема реакция на делене. Първият ядрен реактор е пуснат на 2 декември 1942 г. в Чикаго под ръководството на Енрико Ферми. Интересен детайл от това събитие е обичайното за Ферми прекъсване за „обедна почивка” въпреки всеобщото нетърпение по-скоро да се установи протичането на верижната реакция. Големият учен знаел каква отговорност носи за този експеримент и верен на правилото си, отпуснал време за последна оценка на процесите, които предстоели да протекат.

След 3–4 месеца в Арагонската лаборатория бил пуснат втори реактор с хиляди пъти по-голяма мощност. Неутронът бил обуздан, верижната реакция станала управляема. С това се поставя начало на нова ера в историята на науката и техниката – епохата на ядрената енергетика.

(Ще прескочим историята на създаването на атомната бомба, която също е много богата на интересни събития. Нейното конструиране е един от най-големите експерименти за науката, а използването ѝ от военните – една от най-позорните прояви на цивилизацията. Ще се ограничим с коментара, че благодарение на страха от натрупаното през 50–60-те години ядрено оръжие човечеството избягна опасността от световна атомна война и от настъпването на „ядрена зима“ на планетата.)

На 27 юни 1954 г. в гр. Обнинск, Русия, беше пусната първата в света атомна електроцентрала (АЕЦ). Започна бурно развитие на ядрената енергетика в световен мащаб. За 30 години (1954–1984 г.) мощността на ядрената енергетика нарасна 40 хиляди пъти! Именно бавните неутрони, *този „работен кон“ на ядрената енергетика*, осигуриха нейното бързо развитие.

През втората половина на 80-те години в резултат на някои тежки аварии с АЕЦ това развитие беше временно преустановено. Стана ясно, че еуфорията от „овладения атом“ е преждевременна, че трябва да се потърсят сериозни технически решения за стократно и хилядократно намаляване на риска от аварии. Най-новото поколение ядрени реактори притежават тези качества. Това, разбира се, сериозно ги оскъпи. Но освен финансови пречки не по-малко са психологическите (радиофобията), политическите и др. Въпреки трудностите много специалисти смятат, че предстои Ренесанс в ядрената енергетика.

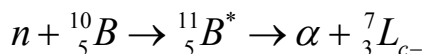
Добивът на чиста и безопасна енергия е един от глобалните проблеми на човечеството в началото на XXI век. Друг такъв голям проблем е здравето на хората. За неговото решаване са ангажирани хиляди специалисти в медицината и фармацевцията. Съществен дял в тези усилия има и ядрената медицина, най-вече в приложението на лъчевата терапия. И на този терен неутронът може да бъде полезен.

Лъчевата терапия се утвърди като ефективен метод за лечение на много форми на злокачествени образувания. Тя се основава на способността на йонизиращите лъчи да предизвикват гибел на клетките в облъчваните тъкани. За целта се използват алфа-, бета- и гама-лъчи, протони, неутрони, дори и пи-мезонни снопове. Въпреки разнообразието от методи специалистите продължават да търсят такъв, при който злокачествените клетки да се поразяват с голяма ефективност, без да се засягат нормалните. Един такъв метод, който претендира да се приближава до идеала за лечебен ефект, е

Бор – неутронната терапия

Методът се основава на ядрена реакция между топлинни неутрони и ядрата на един от стабилните изотопи на елемента бор (бор-10 със съдържание 20% в естествената смес). Ядрата на този изотоп с голяма вероятност залавят топлинните неутрони, вследствие на което се образуват ядрата на изотопа бор-11 във възбудено състояние.

Тези ядра мигновено се разпадат с образуване на алфа-частици (хелиеви ядра) и ядра на елемента литий:



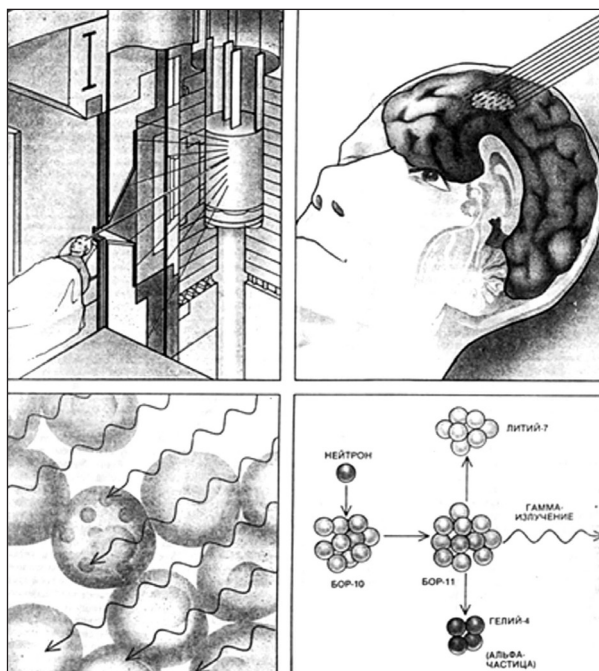
Алфа-частиците имат пробег, дължината на който не превишава диаметъра на клетката (около 10 микрона). По своя път тя предизвиква йонизация с висока плътност, с което унищожава раковите клетки. Изследванията са показали, че за унищожаване на ракова клетка са достатъчни няколко алфа-частици.

Проблемът се състои в това, как в раковите клетки избиращително да се внедри достатъчно количество бор. Търсенето на подходящи съединения на този елемент, които избиращително се натрупват в раковите клетки, е продължило няколко десетилетия (в опити с животни). В резултат на това са получени някои боросъдържащи съединения, които притежават повишено сродство към тези тъкани.

Поразяващото действие на продуктите на реакцията влияе най-вече на онези ракови клетки, в които е натрупан бор. Нормалните клетки не се поддават на това въздействие. Що се отнася до участието на другите елементи от състава на клетките (като водород и азот например), изследванията са показали, че при тях вероятността за поглъщане на неутрони е няколко хиляди пъти по-малка от тази при бор-10 (Илюстрацията е заимствана от (5).)

Друг проблем на неутронната терапия е свързан с осигуряването на подходящ източник на неутрони. Разбира се, реакторът е най-добрият източник, към него могат да се оборудват специални помещения за терапия. Но за специализираните клиники много по-подходящи и достъпни са изотопните неутронни източници. За сравнително прост, безопасен и надежден източник се смята калифорний-252, който може да се използва близо 4 години.

Ние разгледахме само една малка част от приложенията на неутронната физика. Съществуват още много области, в които се използват свойствата на неутроните: неутронна оптика, неутронография, неутронна спектрометрия, неутронно-активационен анализ и др. Изследванията в тези области са изключително полезни за изучаване на структурата и свойствата на веществата, за свойствата на атомните



ядра, за определяне на микроелементи в биологични обекти, в археологията, електронната промишленост, криминалистиката, геофизиката и мн. др. Показателно е, че Нобеловата награда по физика за 1994 г. беше присъдена на Кл. Шул и Б. Брокхаус за техните пионерски изследвания в областта на неутронното разсейване. Първите свои изследвания в тази област учените са провели през 40–50-те години.

Поука: Имайте търпение! Нобеловата награда може да закъснее с няколко десетилетия.

Отделна тема представляват мястото и ролята на неутроните в развитието на Вселената. Известно е, че в нея непрекъснато протичат процеси на *неутронизация* – превръщане на звездното вещество в неутронно състояние. Уникален физически обект представляват *неутронните звезди*. Със своите екстремални физически свойства те са истинска „божествена лаборатория“, проникването в която ще обогати нашите знания за природата.

Както се вижда, макар да познаваме и изучаваме неутрона от 80 години и до днес той крие още тайни и възможности, разкриването на които ще позволи на науката да узнае за нови свойства на материята, пространството и времето.

В заключение нека отделим скромно място за

Приносите на българските учени в неутронната физика

В началото на 30-те години на миналия век българката Елисавета Карамихайлова – по онова време сътрудник във Виенския радиов институт, под влияние на опитите на Боте и Бекер, на семейство Жолио-Кюри и на Чадуик изследва ефектите на облъчване на берилий с алфа-частици. *Тя е първият българин, който се е „докоснал“ до неутрона.* През следващите години тя провежда опити с облъчване на ториеви ядра с неутрони – направлението, което в края на същото десетилетие достигна до голямото откритие – деленето на тежките ядра. Опитите на нашата сънародничка остават недовършени поради заминаването ѝ на специализация в Кембридж.

По същество ядрената физика в България започва да се развива в началото на 60-те години. Във връзка с пускането (1961 г.) и експлоатирането на изследователския реактор във Физическия институт на БАН се поставя начало на изследванията по неутронна физика. Те се провеждат в сътрудничество с ядрени центрове в чужбина, преди всичко с Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ) в Дубна, Русия (6).

Под ръководството на проф. Кашукеев са проведени оригинални неутронооптични изследвания за получаване на студени и ултраз студени неутрони. Заслужава да се отбележи оригиналната идея на проф. Кашукеев за механично забавяне на неутроните.

Група сътрудници под ръководството на проф. В. Христов провеждат физически и реакторофизически изследвания – за преноса на неутроните в активната зона, за изучаване на редки ядрени реакции с неутрони, разработване на измерителни методики и др.

Под ръководството на проф. Н. Янева е проведена широка серия от изследвания във физиката на деленето и за оценка на данни за делящи се ядра, необходими за целите на реакторостроенето.

Професорите К. Крежов, Ст. Неов и техни сътрудници са оборудвали канал на реактора за експерименти по неутронна дифракция и са провели неутронографски изследвания за редица магнитни съединения, сплави и аморфни смеси.

В продължение на няколко десетилетия колегата П. Яйджиев участва в уникални експерименти, провеждани с мощни реактори, за определяне на някои от фундаменталните свойства на неутрона – електричен заряд, електричен диполен момент и др.

Скромнен принос в неутронната спектроскопия имат и сътрудниците на катедра „Атомна физика” към Пловдивския университет. В сътрудничество с колеги от ОИЯИ ние изследвахме екзотични прояви на алфа-разпадането на високоенергетични състояния на 20-ина атомни ядра, възбудени с помощта на неутрони.

Заключение

Историята с откриването на неутрона започнахме с предсказанието на Ръдърфорд. Може би е удачно да я завършим с един епизод от неговия живот през 1917 г., когато той изследвал възможностите за разцепване на ядрата. Светът бил във война и Ръдърфорд бил включен в Комитет по военни изследвания. Веднъж той закъснял за заседание на комитета, но вместо да се оправдае, нахакано заявил: „Господа, аз бях зает с изследвания, които ми се струва, че могат да доведат до изкуствено разцепване на атома. Ако това действително е така, то подобно изследване е несравнимо по-важно, отколкото войната!”.

В нашето въображение, подхранвано от разказите на неговите ученици, образът на Ръдърфорд се е утвърдил като символ на твърдост, кипяща енергия и тщеславие, човек горд и със самочувствие за своята мисия и за своите постижения.

Може би не е зле българските учени да възприемат някои от тези качества. Добрият учен трябва да притежава самочувствието, че прокарва или се движи по магистрали, които не са по-малко важни от асфалтовите пътища на страната.

Литература

1. Ръдърфорд, Ъ. Из Бейкъровата лекция. В: Неутрон – предистория, откриване, последиствия. С., Наука и изкуство, 1978, с. 159–160.
2. Юнг, Р. Ярче тысячи солнц. М., ГИ, 1960, с. 280.
3. Чадуик, Дж. Възможност за съществуването на неутрона. Виж 1, с. 165–166.
4. Балабанов, Н. По магистралите на ядрената физика. Пловдив, унив.изд-во „Паисий Хилендарски”, 2010, с. 180.
5. Барт, Р.Ф. и др. Бор-нейтрон – захватная терапия рака. – В мире науки, 1990, №12, с. 56–61.
6. 25 години български атомен реактор. С., БАН, 1986.

ИМАТ ЛИ МЯСТО НЕСТАНДАРТНИТЕ ЗАДАЧИ В ОБУЧЕНИЕТО ПО ПРИРОДНИ НАУКИ В БЪЛГАРИЯ

Милен Замфиров

*„Като четеш историите на другите народи, виждаш,
че те са правени от крале, генерали и политици.
Нашата история, българската, е правена от учители!
Това някои или не го знаят, или не го разбират!“*

Георги Марков

*„Ако майката иска детето да е някакъв даскал,
трябва да му се остави пътят в училището.
На Бъдни вечер се готвят постни сарми с кайма и ориз.*

*Мога да говоря за Великденските острови,
а за Великден – не чак толкова.*

*Ловец или хищник? Никога не бих могла да убия някое животно,
затова твърдо избирам да съм хищник.*

*Как да обясним на децата, че питката се ражда от зърното,
като те я виждат в найлонова торбичка.*

Това е свръхнестествено.”

Малка част от отговорите
(подбрани от колега преподавател в Университета)
на студенти, бъдещи учители, по време на изпит.

УВОД

За нестандартните задачи не се пише често. Както е отбелязано в [8]: „Като правило тези задачи не фигурират в училищните сборници със задачи по физика. Много често те не са и формулирани в явен вид. Тях учителят следва сам да открива във физичната литература, в списанията, в научно-популярните текстове и най-вече – в заобикалящото ни всекидневие”.

И наистина: „Със сигурност може да се твърди например, че задачата “Намерете съпротивлението на меден проводник с дължина 2 m и напречно сечение 0,4 mm²” е абсолютно стандартна и това твърдение сигурно не се нуждае от обосновка. За ученика, който я решава, е абсолютно ясно, че от него се изисква да си припомни една формула, единиците за няколко величини, да надникне в таблицата със специфичните

съпротивления, да замести стойностите във формулата и да извърши пресмятанията. А защо се търси съпротивлението, какво от това, че то се окаже $0,1\ \Omega$, $5\ \Omega$ или $50\ k\Omega$? Самата задача не провокира поставянето на подобни въпроси. Какво удовлетворение може да изпита ученикът след решаването ѝ?”[8].

Според [9] проблем в училище се явяват формализмът на знанията на учениците, неспособността на учащите се да приложат знанията си в различни жизнени ситуации. Според същия автор учащите все повече се затрудняват да обясняват от гледна точка на физиката струващи ни се обикновени явления като например: „Защо небето е синьо?”, „Как е направено светенето на неоновите лампи в различни цветове?”, „Как действа пулверизаторът?”. Те знаят закона на Нютон, решават задачи с приложение на формула, но не разбират защо струговете трябва да бъдат масивни. Знаят законите на електростатиката, дават примери за наелектризиране на телата, но не могат да обяснят как може да се отстрани прилепването на изкуствените дрехи към тялото ни.

В подкрепа на това мнение са и данните от PISA 2006, в които се казва, че обучението на учениците в България все още е ориентирано към запаметяване и възпроизвеждане на определена информация. Българското училище все още не допринася за формиране на умения за справяне с проблеми, произтичащи от реални житейски ситуации [13].

В. Доценко (преподавател по физика и математика в Парижкия университет) в своя статия [2] се чуди как е възможно неговите студенти да са минали матурата с ниското си ниво на знание. Доценко с изненада достига до откритието, че всички предлагани на матурата задачи могат да се решат с помощта на добър калкулатор, още повече че използването му на матурата е разрешено официално. И тъй като съвременните младежи бързо и правилно се научават да натискат копчетата, то най-лошото, което може да се случи, е да натиснеш по грешка друго копче. Доценко пише: „Например, един мой студент нещо там не натиснал правилно и получи, че радиусът на Земята е равен на 10 милиметра. За лош късмет, в училище не го научили (или е забравил) размера на нашата планета, затова получените 10 милиметра изобщо не го притесниха. Когато му казах, че отговорът е неправилен, той отново започна да натиска копчетата, но този път по-внимателно и от втория опит получи правилния отговор. Това беше старателен студент, но изобщо не го интересуваше какъв е там радиусът на Земята: 10 милиметра или 6400 километра, колкото кажат – толкова. Само не си мислете, че проблемът ще се реши, като се забранят калкулаторите: в този случай никой няма да вземе матурата, децата, завършващи училище, ще трябва вместо да учат, да започнат да си търсят работа, в същото време безработни ще останат и цяла армия университетски преподаватели – с две думи, ще се получи страшен социален взрив. Така че не трябва да се пипат калкулаторите, а и децата в повечето случаи правилно натискат копчетата”.

Разбира се, подобен проблем, свързан с мисленето и осъзнаването, не е характерен само за една или две държави. Карл Сейгън [10] споделя, че учениците от гимназиалните класове в САЩ запаметяват факти, но радостта от откритието зад тези факти ги

е напуснала, загубили са удивлението, а не са придобили много скептицизъм. Тревожат се да не зададат „глупави“ въпроси, готови са да приемат неадекватни отговори. Малцината, които се интересуват, са осмивани като зубрачи. Сейгън открива, че много родители се объркват, когато децата им задават научни въпроси. Защо Луната е кръгла? Защо тревата е зелена? Кога е рожденият ден на света? Твърде много родители и учители отговарят с раздразнение и присмех: А ти каква искаш да е Луната – квадратна? Децата скоро разбират, че този вид въпроси по някакъв начин дразнят възрастните. Още няколко подобни преживявания и детето е изгубено за науката [10].

От друга страна, нестандартната задача, съдържаща и парадоксален на пръв поглед извод, може да провокира така липсващия интерес на учениците към природните науки, в частност физиката. Това е така, понеже *„парадоксите се запомнят. Запомнят се, защото те насилствено достигат до нашето съзнание и по пътя нанасят удари по здравия разум“*[1].

ОПИСАНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Бяха реализирани проучване и анализиране (статистически и de visu) на поставени през учебната година едни и същи за класовете нестандартни задачи на 78 ученици от 9., 10. и 11. клас през двата срока на учебната 2010–2011 г.

Задачите бяха давани за домашно с достатъчно дълго време за обмисляне (една седмица).

Поставените задачи предварително бяха проучвани за наличие в интернет с цел да се елиминира „свалянето“ на отговорите.

Поставянето на задачите беше свързано с даването на някакъв (писмен) отговор, който, колкото и да е парадоксален, да се базира на някакъв дедуктивен силогизъм, така че да е видно дали ученикът схваща извеждането на особеното и единичното от общото, както и дали схваща единичния случай на базата на един всеобщ закон[14]. Отговори, съдържащи единствено описателни изречения без анализ, не се приемаха.

Оценяване

Оценката ставаше по четиристепенния модел на мислене, създаден от Р. Марцано.

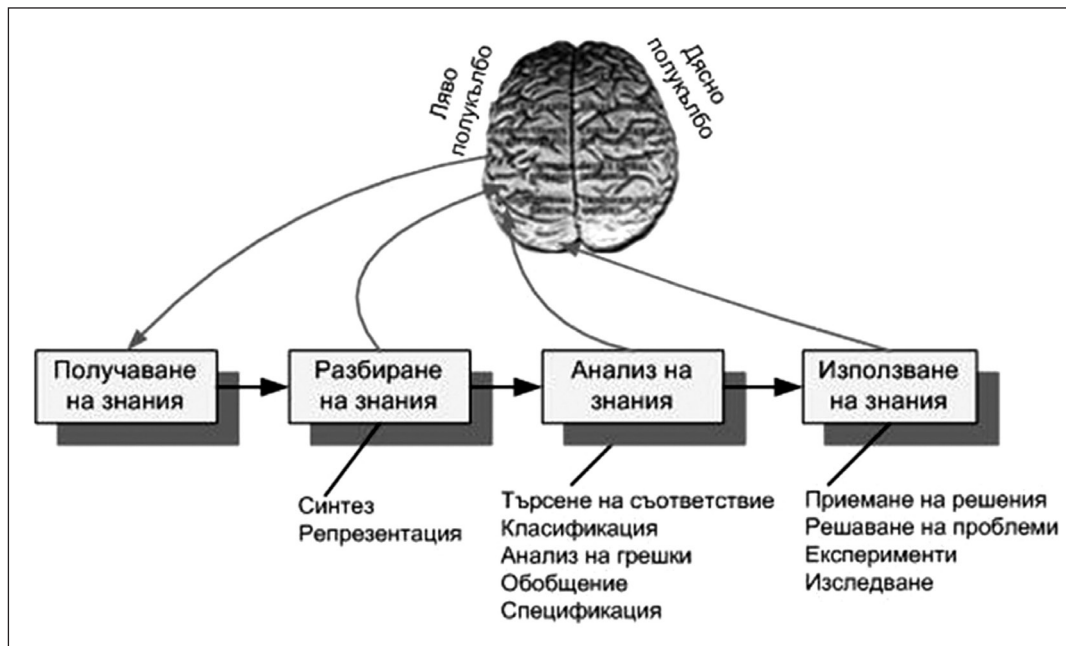
Моделът на мислене „Марцано“ включва в себе си многообразни фактори, влияещи на мисленето на обучаемите, и предоставя основана на научни факти теория, предназначена да подпомогне преподавателите при формиране на мисловни навици у обучаемите.

Марцано определя в структурата на когнитивната система четири компонента: получаване на знания, разбиране, анализ и използване на знания [12].

Задачите се оценяваха именно по четирикомпонентната структура на Марцано:

1. Получаване на знания – включва извличане на минали знания от паметта. На това ниво се възстановяват факти, последователности или процеси във форма, в която те се съхраняват.

2. Разбиране – на това ниво е необходимо да се определи това, което е важно за запомняне, и да се структурира информацията по категории.



3. Анализ – пет процеса се определят като основни при извършване на анализ: търсене на съответствие; класификация; анализ на грешки; обобщение; спецификация. Чрез използване на тези процеси обучаемите могат да прилагат това, което изучават, за намиране на начини за използване на наученото в нови ситуации.

4. Използване на знания – процесите по използване на знания са особено важни, когато обучаемите трябва да решат конкретни задачи [12].

ОПИСАНИЕ НА ЗАДАЧИТЕ

Задачите бяха разпределени в две основни групи: теоретични и такива с демонстрация.

Едни и същи 12 задачи бяха дадени и на трите класа (9., 10. и 11. клас) с цел да се провери дали различията във възрастта и класовете ще дадат отчетливи разлики и в резултатите от задачите.

Отделно 5 задачи бяха дадени само на 9. и 10. клас, както и още 5 допълнителни на 10. и 11. клас, за да се проследят евентуалните различия в отговорите на учениците по клас, възраст и брой учебни часове по физика седмично.

След представяне на отговорите от учениците от страна на учителя следваше подробно разяснение, за да се затвърдят правилните изводи от задачите.

Някои от задачите бяха повторно дадени след около 2 месеца, за да се установи дали учениците са разбрали и вникнали в разясненията.

Задачите бяха подбрани от следните сборници: „Забавни опити по физика /механика/” (Иванов, Др., 2001) [3], „Забавни опити по физика /термодинамика и молекул-

на физика” (Иванов, Др., 2003) [4], „100 загадки по физика” (Каразия, Р., 1990) [5], „Къде е истината?” (Маковецки, П., 1971) [6], „Задачи и упражнения за 5.-8. клас по природните науки” (Манев, Ст. и др., 2011) [7].

В таблицата са дадени като описание само задачите, чиито резултати се анализират в статията.

Табл. 1. Описание на задачите

1. Картезиански водолаз. (демонстрация) Дадена повторно като контрола.
2. Имате нужда от храна и решавате да уловите риба, която може да се яде. Заставате на брега и виждате във водата образа на рибата. Разполагате с харпун. Как ще насочите харпуна, за да не изпуснете рибата? (теоретична)
3. Къде трябва да стоите, за да не ви види рибата? Граничният ъгъл за водата е 49° . Направете чертеж. (теоретична)
4. Има ли разтворени газове в морската вода? Дайте примери за значението им за живота във водата. (теоретична)
5. Видимостта във водата е значително по-лоша, отколкото във въздуха: контурите на предметите са размити, подробности трудно се различават. Ако си сложим подводна маска, видимостта се подобрява. Какво ни пречи да виждаме добре във водата без маска? (теоретична) Дадена повторно като контрола.
6. Самолетът лети със свръхзвукова скорост. Летецът се намира в носовата част на тялото на самолета, двигателите – на крилата му. Ще може ли летецът да чува звука от двигателите на самолета си? (теоретична)
7. Защо водата не тече, а спиртът тече? Необходима ви е малка пластмасова чаша за кафе. Запалете свещ и като я наклоните, изливайте разтопения парафин върху дъното на чашата, така че да се получи тънък слой. Добре е да покриете дъното с парафин както отвътре, така и отвън. После с тънка игла надупчете дъното през парафина, за да получите отвори. Налейте вода в чашата. Оказва се, че можете да налеете слой вода с височина няколко сантиметра и водата не протича през отворите, сякаш те не съществуват. Излейте водата и налейте в чашата спирт. Почти веднага той започва да изтича. Как може да се обясни това явление? (демонстрация)
8. От комините излиза дим. Понесен от вятъра, той се носи като шлейф от всеки комин. Могат ли два димни шлейфа да се пресекат? (теоретична)
9. Двама участници в експедиция се намират от двете страни на дълбока клисура, широка 3 метра. Всеки от тях разполага със здрава дъска, дълга 2.80 m. Масата на единия участник е 70 kg, а на другия – 40 kg. а) Какво трябва да направят участниците, за да премине по-тежият участник към по-лекия? б) Направете необходимите чертеж и изчисления. (теоретична)
10. В тавичка с вода е поставена монета. Можете ли да я извадите, без да си намокрите ръцете? Разполагате с празен буркан, хартия и кибрит. Поставете парче запалена хартия да гори в буркана и го захлупете във водата така, че монетата да остане отвън. След малко хартията изгасва, водата започва да се всмуква бързо от тавичката в буркана и монетата остава на сухо. Можете да я вземете, без да се намокрите! Защо водата навлезе в буркана? (демонстрация) Дадена повторно като контрола.

11. Приливът е изхвърлил на брега контейнер с три еднакви по обем и форма непрозрачни затворени бутилки. В контейнера има и бележка. В нея се уточнява, че в едната бутилка има чиста вода, която можете да използвате за домакински цели, в другата – спирт, с който лесно ще запалите огън, а в третата – прясно мляко.

а) Какво ще направите, за да разберете какво е съдържанието на бутилките, без да ги отваряте?

б) Можете ли да определите съдържанието на бутилките, ако в две от тях има спирт и бензин? Как? (теоретична)

12. Налейте вода почти до края на чашата, покрийте я с попивателна хартия, а отгоре поставете парче стъкло от прозорец. Натиснете стъклото към чашата и я обърнете, а след това я върнете в изходно положение. Чашата като че ли залепва за стъклото. В това можете да се убедит, вдигайки стъклото нагоре. Каква сила противодейства на теглото на чашата и на водата? (демонстрация)

Дадена повторно като контрола.

15. В пространството ние можем да се преместим в различни посоки. Защо във времето можем да се движим само напред и не можем назад? (теоретична)

16. Десет мравки решили да свалят от масата сламка. Опитали се да я повдигнат, но не могли, тъй като тя била твърде тежка за тях. Да подръпнат сламката, също не могли, тъй като силата на една мравка била малко по-малка от силата на триенето, действаща на сламката, когато тя се плъзга по масата. Да търкалят сламката, било също невъзможно – тя била извита. Как са постъпили мравките? (теоретична)

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

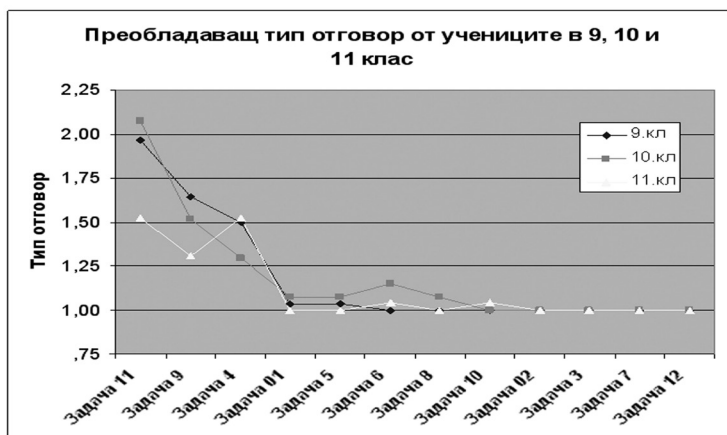
Най-висок коефициент на отговорите се пада на 11 задача (с отговори от 1 до 4 по четирикомпонентната структура на Марцано: 1. Получаване на знания; 2. Разбиране; 3. Анализ; 4. Използване на знания):

„Как ще разберете какво е съдържанието на бутилките, без да ги отваряте?“, следвана от 9 задача: „Как да преминем през клисурата?“ и 4-та задача: „Има ли газове във водата?“

До известна степен тези резултати се обясняват с факта, че тези три задачи се определят за 5.-8. клас.

Любопитно е, че само за една от тези задачи единадесетокласниците дават по-добри резултати от останалите два класа, и то именно 4 задача.

С най-ниски показатели (предимно 1. Получаване на знания по скалата на Марцано) са задачите: 2, 3, 7 и 12.



Фиг. 1. Преобладаващ тип отговори

Тъй като резултатите не показват добри постижения в логическата структура на отговорите на учениците (преобладаващо 1. Получаване на знания), интерес предизвиква анализът de visu, т.е. прегледаните обяснения. Допълнително анализът на слабите резултати е интересен, понеже принципно учениците с най-ниски резултати биха срещнали сериозни затруднения в своята бъдеща реализация.

Например задача 1. Картезиански водолаз. Условието е (обясненията са придружени с демонстрация): „Необходими са ви пластмасова бутилка от 1,5 л, стъклена пипета и чаша с вода. Напълнете чашата с вода и с пипетата всмукнете толкова вода, че след като я потопите в чашата, тя да плава почти изцяло потопена в нея. Напълнете бутилката догоре с вода и преместете пипетата от чашата в бутилката. Завинтете плътно капачката на бутилката. При това положение пипетата се намира в горния край на бутилката. Сега стиснете леко с пръсти. Увеличавайте натиска, докато пипетата започне да потъва бавно към дъното. След като достигне дъното, отпуснете бутилката – пипетата изплава обратно към върха. Защо се получава така?” [2].

Тази демонстрация направи силно впечатление на учениците, тъй като очакваха, че при натискане на бутилката пипетата ще бъде изтласкана нагоре. Самото обяснение е, че когато притискате бутилката, налягането в нея нараства. Това увеличено налягане се предава и на водата вътре в пипетата. В резултат въздухът в нея се свива, обемът му намалява и в нея навлиза още малко вода. Пипетата заедно с водата в нея става по-тежка и започва бавно да се спуска надолу.

Табл. 2. Влияние на пола и класа върху отговорите на задача 1. „Картезиански водолаз”

Пол			Клас			Сума
			9.	10.	11.	
Момчета	задача 1	получаване знания	75,0%	90,0%	100,0%	87,5%
		разбиране на знания	25,0%	10,0%	–	12,5%
	Сума момчета		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Момичета	задача 1	получаване знания	90,0%	76,5%	100,0%	88,9%
		разбиране на знания	10,0%	17,6%		9,3%
		анализ		5,9%		1,9%
	Сума момичета		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

За задача 1. „Картезиански водолаз” съотношението на отговорите за 1. Получаване на знания и 2. Разбиране е:

- 87,5 % към 12,5% за момчетата;
- 88,9% към 9,3% при момичетата (Фиг. 2).

При момичетата се наблюдават и 2% отговори, включващи 3. Анализ (Фиг. 3).

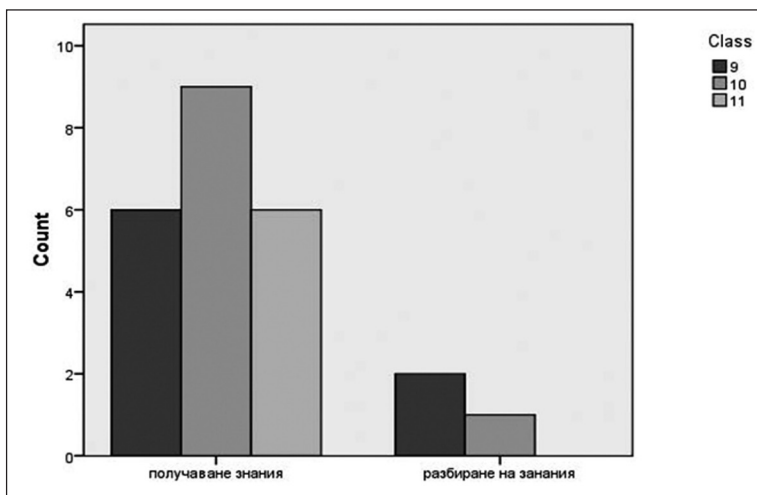
Интересни са обясненията на повечето ученици, от които става видно, че: „Гласът образува сила с още по-голямо налягане, което предизвиква потъването на

пипетата”¹, „Когато стиснем шишето, от тласъка се образува сила (с още по-голямо налягане)”, „Налягането в шишето я дърпа към дъното” (9 клас), „Когато стиснем шишето, тя (пипетата) се пълни с вода, обемът на съда става по-малък и плътността също”.

Правописните грешки на места са фрапиращи: *зеница*, *визична величина*, *капкумер*, *надоло* и *ботилка*.

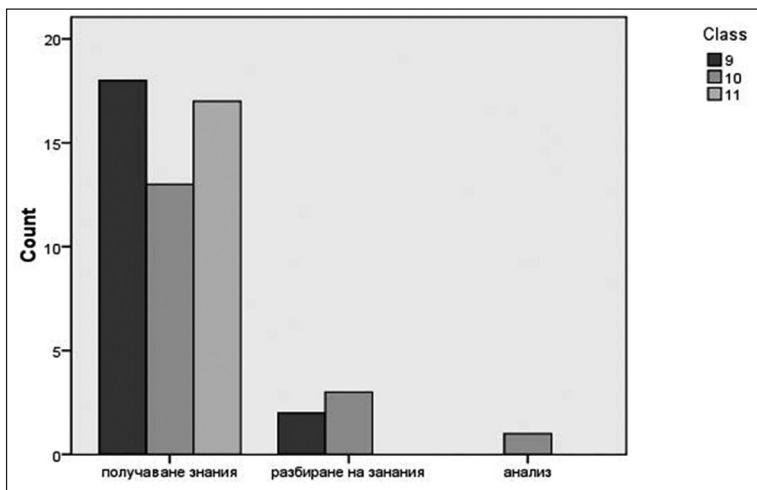
От описанието на задачата става видно, че учениците смесват понятия като *плътност*, *хидростатично налягане*, *съпротивление* и пр., без да могат да свържат явлението със съдържанието на понятието, в случая *налягане*: „Тук играят важна роля *Архимедовата сила*, *хидростатичното налягане* и *земното притегляне*. Ако тези условия са изпълнени, *пипетата променя състоянието си*” (10. клас) и „*Като се натисне бутилката, тя потъва надолу и има някакво съпротивление*” (9. клас).

Заради движението надолу на пипетата промяната на налягането се заменя с това, което им се струва най-очевидно – гравитацията: „*Капкомерът пада надолу под силата на гравитация*” (10. клас).



Фиг. 2. Отговори на момчетата на задача 1, обособени според структурата на когнитивната система на Марцано (6 ученици от 9. клас, 9 ученици от 10. клас и 6 ученици от 11. клас – 1.

Получаване на знания; 3 ученици от 9. и 3 ученици от 10. клас – 2. Разбиране)



Фиг. 3. Отговори на момчетата на задача 1, обособени според структурата на когнитивната система на Марцано

Някои от обясненията са направо на ниво начална училищна възраст, по-специално, че „Горната част на капкомера е направена от гума, също както дървото и пластмасата, плува на повърхността”.

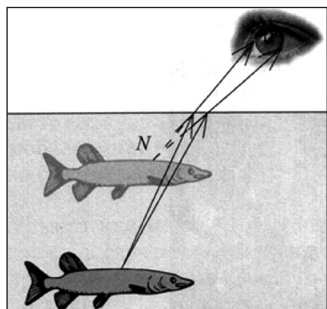
Нито един от учениците не беше достигнал трето ниво по скалата на Марцано (Анализ) при тази задача, а именно чрез търсене на съответствие да приложи това, което изучава за намиране на начини за използване на наученото в нови ситуации. Например нито един ученик не е съобразил да направи съответствие с манипулациите при управлението на една подводница: потопяване, изплаване или оставане на определена дълбочина, т.е. дори да съществува правилно обяснение на някакво явление, то учениците притежават ограничени познания и могат да ги използват в еднотипни познати ситуации. Обясненията и заключенията, които представят, са очевидни и произтичат непосредствено от емпиричните данни.

Втора, трета и четвърта задача са свързани.



(Картинката е взета от [7])

– За наблюдателя светлината се раз-

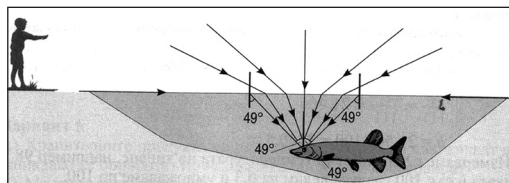


(Картинката е взета от [7])

пространява праволинейно, затова той вижда рибата в т. N. Поради пречупването обаче реалното положение на рибата е под т. N. Следователно

харпунът трябва да се насочи под него (задача 2).

– Когато повърхността на водата е гладка, рибата вижда всичко, което се намира над нея. Образът, който се получава върху ретината на окото ѝ, е изкривен – тя вижда само предметите, които се намират в един конус, половинката от ъгъла при върха на който е равен на ъгъла на пълно вътрешно отражение на водата (приблизително 49 градуса).

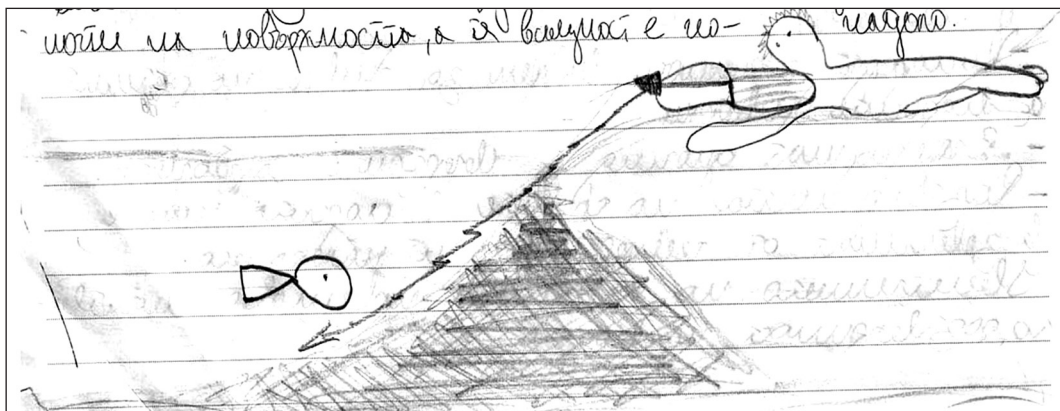


– Във водата има разтворени газове, които се съдържат във въздуха. Най-голямо значение за живота във водата има разтвореният кислород. Водните организми имат специални органи за дишане, които използват разтворения във водата въздух.

На тези сравнително елементарни задачи учениците дават доста верни отговори (Фиг. 1), но придружени често с правописни грешки като „Каде” и „Впредвид”. Независимо от верните отговори съществува и една група от обяснения, които се обединяват около това, че: „Трябва да сме спокойни, защото ако сме напрегнати, рибата ще усети напрежението и ще отплува” (9. клас) и „Харпунът трябва да е насочен право към рибата” (10. клас), т.е. обяснение по напълно несъществен признак, който няма нищо общо с пречупването на светлината и пълното вътрешно отражение на водата.



Типичен чертеж на ученик от 9. клас върху задача 2. Под картинката ученикът е написал: „Ще насочим харпуна точно към очите на рибата и той трябва да е по дължината на тялото ни”.



Типичен чертеж на ученик от 9. клас върху задача 3. Долу вдясно ученикът е написал: „Трябва да легнем и да се приближаваме бавно”.

Все пак някои от учениците явно имат спомен, че става дума за явлението пречупване на светлината, но вероятно са водени от условието на задачата (граничният ъгъл за водата е 49°) и затова отговорите варират от: „Снишаваме се, като по този начин ъгъла, от който гледаме рибата, е по-малък” (11. клас), до: „Трябва да застанем някъде, където не ни осветлява светлината пряко (зад нас)” (11. клас).

Съдържанието на понятието пълното вътрешно отражение на водата не може да бъде свързано с дадената задача: „Впредвид падането на слънчевите лъчи ще насоча така харпуна, че сянката, която ще хвърли, да не пада над водата, за да не изплаши рибата” и „Ще го насоча така, че рибата първо да не ме види и второ да се скрия под този ъгъл, който съм аз, да насоча харпуна срещу рибата. След като се скрия, не трябва да мърда, защото първо е близо до водата и второ тя може да го усети и избяга” (10. клас).

Веднага след коректното обяснение на тези задачи беше дадена следващата задача 5.

Табл. 3. Влияние на пола и класа върху отговорите на задача 5.
„Видимост във водата”

Пол			Клас			Total
			9	10	11	
Момчета	Задача 5	получаване знания	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Total		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Момичета	Задача 5	получаване знания	90,0%	94,1%	100,0%	94,4%
		разбиране на знания	10,0%	5,9%		5,6%
	Total		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

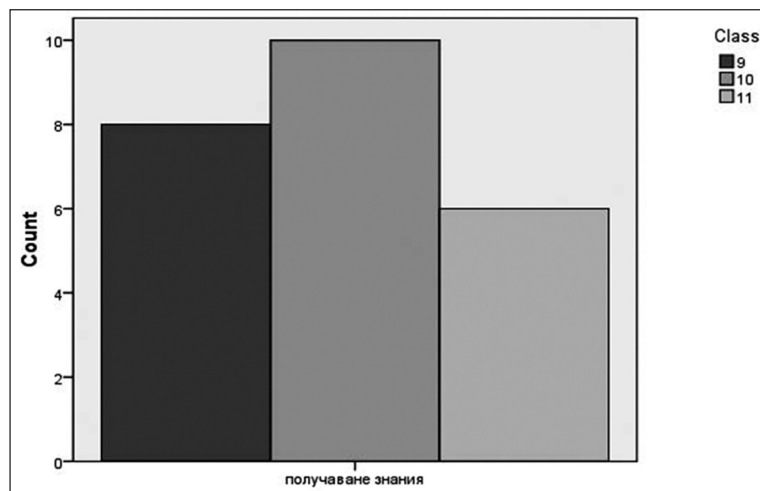
За задача № 5 при момчетата 100% от отговорите са от типа 1. Получаване на знания (Фиг. 4).

При момичетата този процент е 90 за 9. клас, 94% за 10. и 100% за 11. клас.

Допълнително при момичетата от 9. и 10. клас се наблюдават отговори от типа

разбиране на знания (10% и 6%) (Фиг. 5).

Отговорите показват, че учениците отново не познават съдържанието на основни понятия: „Водното налягане действа на човешкото око и му пречи да вижда ясно” (11. клас) и „Когато сме под водата без маска очите ни се затварят заради налягането на водата. Ако имаме маска, налягането на водата не ни



Фиг. 4. Отговори на момчетата на задача 5, обособени според структурата на когнитивната система на Марцано

пречи” (10. клас). Тук изобщо не се съобразява, че налягането на въздуха под гумената маска е равно на налягането на водата, а видимостта през маската се подобрява.

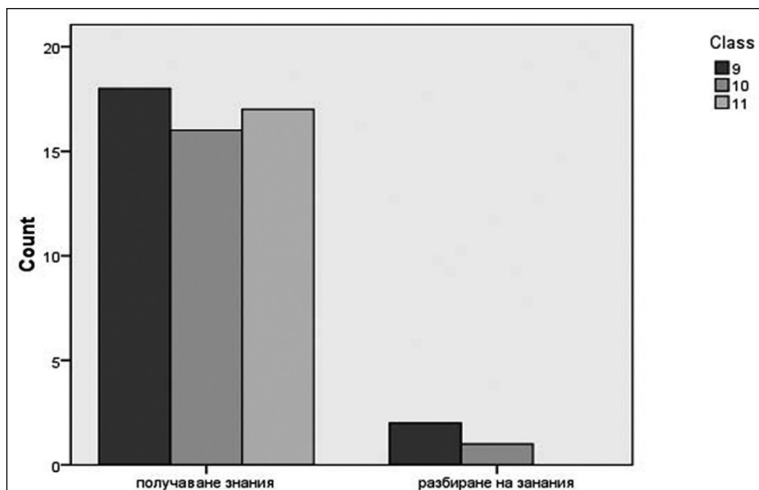
Друг отговор е този, че: „Когато сложим маска на повърхността, ние затваряме атмосферен въздух, с който е свикнало нашето око, и така, гмурвайки се, виждаме по-добре” (11. клас).

Всъщност правилният отговор е, че основната причина за явлението е разликата в коефициентите на пречупване на водата и на въздуха. Светлинният лъч се пречупва под по-голям ъгъл на границата вода–око, отколкото на границата въздух–око. Затова, когато гледаме във водата, лъчите се пресичат не върху ретината на окото, а в недействителна точка зад нея, като не дават ясен образ. Когато си слагаме маска, между водата и окото се появява промеждутък от въздух. Тогава светлинните лъчи попадат в окото ни, след като са преминали през слоя въздух, и водното дъно се вижда така добре, както и дъното на аквариума, който се намира в стаята ни.

За съжаление, масово се срещат такива отговори, които отбелязват само повърхностни наблюдения, без никаква задълбоченост и аналитичност: „Водата съдържа хлор, който допринася за дразнимостта и размазаното виждане”, „Във водата има пясъчинки и виждаме размазано”, „Подводните маски ни предпазват от солта и ни позволяват да са наслаждаваме на морските дълбини” и „Солената вода ни попречва. Когато сме в плувен басейн, водата съдържа хлор, който има същия ефект като морската вода. Водата има различна плътност и дълбочина в различните басейни” (9. клас). Изобщо замърсената вода се отбелязва като водещо обяснение за пречката да виждаме добре във водата без маска.

Често в 10. клас учениците пишат: „Всички частици, растения и пясък във водата ни пречат” и „Има соли и други химични съединения”. В подобни отговори се изброяват само факти, от които по-голямата част от учениците или не могат да преминат към някакво обобщение, или правят погрешно такова. В този случай може да се говори за употребата от учениците на индуктивен силогизъм, който в никакъв случай не може да ги доведе до правилен извод.

Същевременно се срещат (немалко) и такива твърдения като това: „Под водата



Фиг. 5. Отговори на момичетата на задача 5, обособени според структурата на когнитивната система на Марцано

леещата на окоото престава да работи, тъй като светлината преминава от водна среда в леещата на окоото без никакво пречупване” и „Не сме свикнали с водата” (9. клас), „Зависи от напрежението на светлината” (10. клас), „Водата има голяма сила на пречупване на светлината. Тя също и много се движи” (10. клас).

Фактът, че човекът е сухоземно същество, оказва значително влияние върху разсъжденията на учениците и заради това се получават отговори като: „Окоото на човек не е пригодено да вижда под вода. Солите и газовете също оказват влияние”.

„Хората с късогледство могат да виждат и без маска.” Тук ученикът се опитва да направи някаква връзка между разликата в коефициентите на пречупване на водата и на въздуха и ретината на окоото. Разбира се, във водата ние виждаме така, както вижда човек, страдащ от далекогледство, а не от късогледство и неносещ очила. Натрапва се мисълта във водата да се носят очила, които силно пречупват светлината. Ролята на такива очила за рибите играят техните силно изпъкнали очи. Ако извадим обаче рибата на брега, тя ще страда от късогледство.

Интересни резултати се наблюдават и при анализа на 16 задача. Правилните подходи за решението на тази задача са, първо, мравките да преместят сламката, повдигайки единия и край. Тогава силата на тежестта на сламката частично се компенсира от силата на реакция на масата. Силата на триене пък, действаща на сламката при такова движение, е значително по-малка, отколкото при хоризонталното ѝ преместване. Друга възможност е мравките да завъртят сламката, бутайки единия ѝ край. Ако точката, около която се върти сламката, не съвпада с центъра на тежестта ѝ, този център ще се премества по-малко. След това мравките могат да повторят операцията, бутайки другия край на сламката.

Анализът на отговорите на учениците показва, че им е чуждо подобно обяснение. Едната група от отговори се обособява, давайки за обяснение комуникативността на мравките: „Първият начин е да се извикат още мравки. Примерно половината да останет там, а останалите да отидат да повикат още мравки”; и „Мравките оставят след себе си мирисни знаци и така съобщават на другите мравки за местоположението си. Те така ще дойдат на място и ще им помогнат”.

Десетокласниците масово дават отговори, далеч от каквито и да е механични принципи и закони: „Мравките могат да повдигнат двата края на сламката, така че да могат да премахнат изцяло триенето”; „Мравките ще извлекат сламката, понеже силите на триене са по-малки от тези на тежестта” и „Да се разделят на три групи с равен брой мравки и да повдигнат сламката от 3-те ѝ главни точки”.

Трета група дава отговори, не съобразявайки се с условието на задачата, в което става дума за 10 мравки: „С помощта на вятъра една мравка би могла да премести сламката. Около 100 мравки биха могли да бутнат сламката на земята. А за да я повдигнат – 200 мравки”.

Не по-различно е положението при отговорите на учениците от 11. клас: „Ако 9 от мравките намерят зърна ориз и ги използват при пренасянето на сламката. 9 от мравките ще повдигнат края на сламката, 10-ата ще постави ориза под нея. Докато

9-те мравки бутат сламката от единия край, нашата 10-а мравка ще поставя зърно по зърно ориза пред нея”.

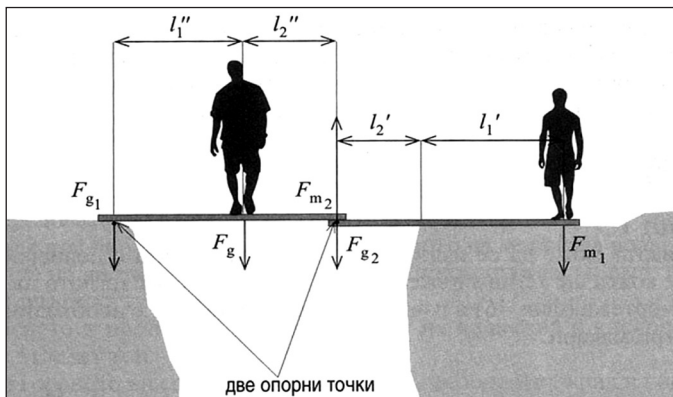
Сходни проблеми срещат учениците и при 9 задача, за решението на която е необходимо да се опише, че трябва да се направи система от две дъски, едната от които да служи за опора на другата. В случая дъската на по-лекия участник служи за опора на

дъската на по-тежкия участник и се разглежда като двустранен лост. Върху свободния ѝ край е опряна дъската на по-тежкия участник. Втората дъска се разглежда като едностранен лост. Опората му е в ръба на клисурата (фиг. 6).

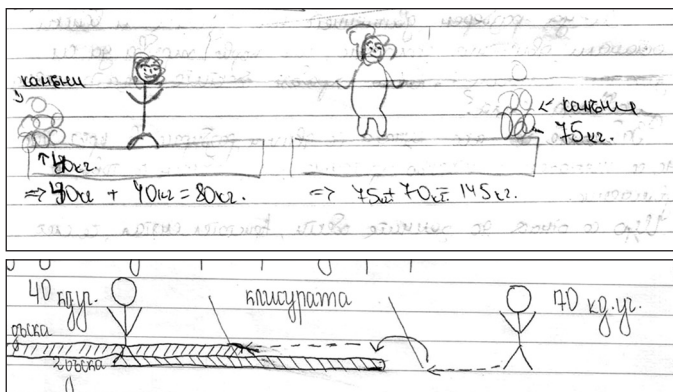
Основната част от отговорите на учениците е свързана с „решение”, подобно на описаното по-горе, а именно с привнасянето на нови елементи, в случая на камъни (над 80% от отговорилите): „От страната на по-лекия човек ще сложим 60 кг и той ще седне върху тях. Така масата ще стане 100 кг. От другата страна ще сложим около 100 кг камъни, за да не падне участника. Той ще премине бавно и успешно”; „Ще доближат максимално дъските и на двата края ще сложат по един голям камък”; „Трябва да се поставят двете дъски една в/у друга и тежестите в краищата” и „Тъй като клисурата е с 20 см по-широка от дъската, трябва да ги съединим, но като нямаме пирони да ги заковем, аз просто бих намерила няколко по-големи камъка да сложа от двете страни, за да няма умора и да не припадне човека”.

Има и обяснения, насочени към преодоляването на разстоянието без използването на допълнителни камъни: „Според мен тежкия му трябва повече сила, за да скочи”.

Изобщо разсъжденията на учениците върху 9 и 16 задача се вписват в рамките на особен вид рационалност, коментиран от В. С. Степин: “Ще напомня известния факт, как групите на Виготски и Лурия изследваха мисленето на селяни в Узбекистан и Таджикистан. Беше установено, че даже и на мъдреците на тези общности, които поучават



Фиг. 6. Правилен чертеж на задача 9 (взето от [7])



Типични чертежи на ученици от 9. клас върху задача 9

другите, липсва абстрактна схема за разсъждение по логиката на силогизма. Например, задават му такава задача: в Германия няма камили; Берлин е град в Германия; има ли в Берлин камили? Логично е да се отговори – не. Но той отговаря: „Вероятно, да” – „Защо?” – „Ами, градът е голям, нали? Може би там е дошъл киргиз с камили или таджик.” По своему той мисли правилно – той мисли по логиката на здравия смисъл, а не по формулите на абстрактния силогизъм” [11].

Както може да се очаква, отчитат се затруднения и в отговорите на по-абстрактни задачи, например като 15. В пространството ние можем да се преместим в различни посоки. Защо във времето можем да се движим само напред и не можем назад?

Няма нито един правилен или дори близък до верния отговор на учениците от 9. и 10. клас, които, оценявайки императивността на въпроса „Защо във времето можем да се движим само напред и не можем назад?”, мъчително се опитват да дадат някакъв отговор, който противоречи на вътрешното им убеждение, че това е възможно („Защо пък не?”). Основна част от отговорите е свързана с идеята, че въртенето на Земята влияе върху придвижването във времето: „Не можем да се връщаме назад, защото Земята се движи само в една посока”; „Защото всичко се върти само напред както ние хората вървим напред и Земята се върти само в 1 посока”.

Невъзможността да се придвижваме назад във времето не се свързва от учениците в 11. клас с величината ентропия (степената на подреденост на системата) и втория принцип на термодинамиката, които са изучавани именно в 11. клас.

Затова пък промяната на движение на Земята според една част би оказала влияние: „Ако земята почне да се движи обратно вместо напред, ще се движи назад”.

Фактът, че една планета (Венера) се върти в посока, обратна на всички останали планети в Слънчевата система и това не оказва влияние върху хода на времето, не влиза в противоречие със схващанията на учениците.

ИЗВОДИ

Чрез тези задачи се установи, че изследваните ученици:

- в по-голямата си част не притежават познание по природни науки и дори да притежават такова, не го използват за обясняване на природни процеси и явления, за правене на аргументирани заключения по въпроси, свързани с природните науки (задачи 5 и 16);

- не разбират особеностите на природните науки като част от човешкото познание и като един от начините за изучаване на природата (задачи 2 и 3);

- в голяма степен не разбират как природните науки и технологиите формират нашата материална, интелектуална и културна среда (задача 1);

- трудно участват в обсъждане на проблеми, свързани с природните науки, и споделянето на идеи;

- се справят по-добре с решаването на качествените задачи, след като се отдели достатъчно време от учебния процес за решаването и обяснението им (проверено чрез контролно).

Част от поставените задачи измерват по-сложни умения за анализ предимно на ситуации, които са сравнително непознати на учениците. Някои от тях изискват използване на познание от различни природни науки (биология, химия, физика, природна география), обясняване и аргументиране на отговора, тълкуване на конкретен аспект от научно изследване, описание на експеримент и др. (задачи 7 и 10).

В някои задачи се изискваха интерпретиране на комплексни и непознати данни, обясняване със средствата на науката на ежедневни ситуации, използване на познание по природните науки в непознат контекст и др. (задачи 4 и 12)

За да се справят успешно със задачите от тези равнища, учениците трябваше да съпоставят отделни елементи от информация, като извършат няколко последователни действия (задачи 15 и 16). За съжаление много трудно достигаха до формулирането на аргументирани заключения и представянето им по определен начин, което е предпоставка учениците да покажат критично и абстрактно мислене.

От разгледаните задачи става ясно, че решенията на повечето от нестандартните задачи не са по силите на всички ученици, въпреки че за решаването им се изискват знания, предимно свързани с общата култура. Според някои тези задачи следва да се използват преди всичко при индивидуалната работа с учениците, които имат по-добри възможности и мотивация за изучаване на природонаучните дисциплини [8]. Именно в тези случаи може да се разчита, че чрез подобни задачи тази начална мотивация ще укрепне и ще се увеличи.

Според нас тези задачи трябва да се прилагат и използват при всички ученици независимо от тяхното ниво. Така този вид задачи може да приучи учениците да си задават въпроси. Разбира се, необходимо условие за постигане на тази цел обаче е самият учител да умее да си задава въпроси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данни на американското правителство, ако учениците в страната отвъд океана подобрят резултатите си от теста PISA, брутният вътрешен продукт на страната ще се увеличи със 100 трилиона долара (седемкратният размер на БВП в САЩ за година), защото икономиката ще бъде захранена с мислещи и креативни хора [15].

Динамичният свят вече трудно приема закрепостяването на един работещ човек само на едно работно място през неговия живот. От настоящите ученици и бъдещи работници се предполага, че ще сменят няколко работни места и кариери, което означава, че сухите знания няма да са най-важното в живота, а умението да се адаптираш.

Според Шели Шот, мениджър на „Интел“, децата днес знаят как да използват комуникационните технологии и социалните мрежи, но не могат да развият кариерата си с тяхна помощ². „Ето защо учителите не трябва да дават информацията на децата, а да ги карат да мислят“, споделя тя [15].

Според изследването на „Интел“ използването на творческото мислене, прилагането на новите технологии и преодоляването на концепцията за изсипване на учебния материал като с фуния и зазубрянето му е по-желано от педагозите с най-дълъг стаж.

Това се дължи основно на факта, че докато младите учители отделят голяма част от времето си да се наложат като лидери в класната стая, то възрастните им колеги, които отдавна са преодолели проблемите с дисциплината, имат повече време и желание за компютрите и възпитаването в нови умения.

Бележки

Правописът е запазен такъв, какъвто е в ученическите описания.

В YouTube на адрес <https://www.youtube.com/watch?v=aXV-yaFmONk> може да видите дете на около една година, което работи със сензорния екран на компютъра, а след това се опитва безуспешно да размести картинките по страниците на хартиено списание (A Magazine Is an iPad That Does Not Work).

Благодарности

Авторът изразява своите благодарности на проф. дфн Т. Дяков от СУ „Св. Климент Охридски”, записал от първоизточниците и предоставил на автора на статията изразените мисли на студентите по време на изпит.

Литература

- [1] Данин, Д. Ръдърфорд. С., 1971.
- [2] Доценко, В. Петото правило на аритметиката (свалено от http://kosmos.dobrich.net/e107_plugins/content/content.php?content.30)
- [3] Иванов, Др. Забавни опити по физика (механика). С., 2001.
- [4] Иванов, Др. Забавни опити по физика (термодинамика и молекулна физика). С., 2003.
- [5] Каразия, Р. 100 загадки по физика. С., 1990.
- [6] Маковецки, П. Къде е истината? Сборник от любопитни задачи и въпроси. С., 1971.
- [7] Манев, Ст., Сн. Томова, А. Тафрова, М. Гайдарова, Кл. Тютюлков, К. Йотовска, Р. Петкова. Задачи и упражнения за 5.-8. клас по природните науки (усвояване на ключови компетентности). С., 2011.
- [8] Попов, Хр. Ролята на нестандартните задачи за засилване мотивацията за изучаване на физика и за задълбочаване на знанията (свалено от <http://phys.uni-sofia.bg/~cpopov/Almanahpdf/1%20chast/1%20metodika/03%20nestandartni%20zadachi.pdf>) 05.09.2011.
- [9] Рабаджийска, Р. Развитие на способностите при обучението по физика, 2002.
- [10] Сейгън, К. Свят, населен с демони. С., 2009.
- [11] Степин, В. С. Наука и лъженаука. – Светът на физиката, бр. 3, 2011.
- [12] Тужаров, Хр. Нова таксономия на Марцано (свалено от <http://tuj.asenevtsi.com/EL09/EL35.htm>) 05.09.2011.
- [13] Училище за утрешния ден. Резултати от участието на България в програмата за международно оценяване на учениците PISA 2009. С., 2010.
- [14] <http://bg.wikipedia.org/wiki/Дедукция>.
- [15] Мисленето замества зубренето (свалено от <http://www.trud.bg/Article.asp?ArticleId=1160208>)

Кралицата на науките – физиката, има понякога реномето на дейност, която пребивава единствено на предния фронт на човешкото познание и напредък. Откриването на частица със свойства, много близки до предсказания преди половин век Хигс бозон; получаването на графена – вещество с необикновени механични и електромагнитни свойства; качествено новото разбиране на различни процеси от планетарен мащаб, многобройните междупланетарни сонди и роботи, позволяващи да изследваме планети, спътници, астероиди и комети; новото поколение телескопи и други инструменти, предоставящи информация за новооткрити извънслънчеви планети, далечни галактики, а така също за еволюцията на Вселената като цяло. Да се състави „списъкът“ от нови знания, инструменти и технологии, дължащи се на работата и таланта на физиците само от последното десетилетие, е непосилна задача. Малко се говори обаче, че физиците със знанията и уменията си могат да са от изключителна полза за обикновените хора в тяхното ежедневие и труд. Следващите две статии, предлагани от редакцията на „Светът на физиката“, са успешни примери за такава дейност. При първия помощта е насочена към най-бедните жители на планетата и им позволява да си осигурят прехраната. При втория е създадена цялостна система за обучение и едновременно изработване на най-разнообразни, иначе скъпоструващи, машини и апаратура, които хора от страни, където науката и технологиите едва сега идват, не могат да си позволят. (Или от страни, както е в случая с България, науката бива изпъждана систематично.) Интересното и в двата примера е, че са дело на физици от най-престижни институции, които отделят време и ум за едни толкова „непрестижни“ занимания.

ТЕХНОЛОГИИ ЗА РАЗВИВАЩИ СЕ ИКОНОМИКИ ИЛИ РИТНИК ЗА СИЛЕН СТАРТ

Т. Федър

Мартин Фишър е впрегнал ума си в използване на съотносими технологии и така улеснява микропредприемачи в Източна Африка.

Петрол, военните или университетска наука? Мартин Фишър, току-що приключил своята докторантура по теоретична и приложна механика в Станфордския университет, не е особено вдъхновен от перспективата за кариера в някоя от тези изследователски области и се втурва през 1985 г. в битката с бедността в развиващите се страни. Appropriate Technologies for Enterprise Creation – благотворителната организация, на която става съосновател, създава и продава инструменти в източната част на Африка. Днес в Кения, където организацията започва дейността си и където се е интегрирала

най-дълбоко, приходите от целия бизнес, свързан с технологиите на ArproTEC, надхвърлят 0,5% от brutния вътрешен продукт.

Докторантските изследвания на Фишър са върху използване на акустиката за измерване на напреженията в алуминиеви сплави. „Разбира се, причината хората да проявяват интерес, е, че остатъчният стрес предизвиква разпространяването на пукнатини. Строителите на самолетни крила могат да се възползват от подобни диагностични методи, тъй като пукнатините заради умора на материала са сериозен проблем“, казва той. Според него това специфично изследване „не е актуално днес, но ме научи да мисля по логичен начин“. И добавя: „От друга страна, в проектантската работа през цялото време използвам инженерните си умения“. Навлизането в науката било естествено за Фишър, чийто баща Майкъл и двамата му братя Даниъл и Матю са все теоретични физици. Той обаче твърди: „Осъзнах, че колкото по-образован ставах, толкова по-малко бях годен за работа“.

По-добрият начин

След завършване на университета Фишър прави лятно пътешествие из Перу. „Беше първото ми пребиваване в развиваща се страна. Бях доста шокиран от бедността и започнах да мисля, че трябва да има по-добър начин“, казва той. Решава да се върне в Перу, за да „направи нещо срещу бедността“. Но когато научава, че без да знае испански, не може да вземе стипендия на Фулбрайт, за да иде дотам, той кандидатства за Кения, където английският е официалният език.

Отначало бил разочарован. Движението за подходящи технологии, започнало през 70-те години на двадесети век с книгата на Е. Ф. Шумахер „Малкото е красиво“ (Blond and Briggs, 1973), било секнало. „Шумахер беше предложил технологиите местно производство с ниска цена, прилагани в малък мащаб, да станат решението за развиващите се страни – казва Фишър. – Имаше еуфория, че малките технологични иновации биха спасили света. Очаквах да прилегна там на точното си място.“ И продължава: „Но се оказа друго – когато през 1985 отидох в Кения, всички спонсори и партньори бяха се отказали от подходящите технологии. Казаха, че те така и не проработили, нито веднъж“.

Той се присъединява към ActionAid, благотворителна организация на Обединеното кралство, и през следващите пет години проектира магарешки каручки и друго фермерско оборудване, помага да се строят евтини училища, учи хората да правят по-добри тухли и подхваща голяма селска водна програма. В ActionAid Фишър среща Ник Муун, дърводелец от Обединеното кралство. „И двамата се обезкуражавахме все повече от липсата на устойчивост в това, с което се бяхме заели – припомня си Фишър. – ActionAid раздаваше притежанията си или ги продаваше на цени, ниски единствено заради високата степен на субсидиране. Състезавахме се с частния сектор.“ А когато работят с младежки групи: „групата претърпяваше крах в минутата, в която я оставяхме сама на себе си. Започнахме да осъзнаваме, че ако страната ще се развива, това ще стане чрез индивиди, които искат да продължат напред – предприемачи. Необходимо е да работиш с бедните, но не с най-бедните“.

Малки неща, голямо въздействие

Фишър коментира, че преди края на Студената война „в повечето бедни страни по света образованието беше безплатно, основните здравни грижи бяха безплатни и цените на стоките от крайна необходимост бяха контролирани и високо субсидирани. Фермерът можеше да произведе достатъчно, за да се храни редовно и да поддържа семейството си живо. С края на Студената война всичко това драстично се промени. Изведнъж парите станаха нужда номер едно на бедните хора“. В Кения, допълва той, само 13% от възрастното население официално има работа, като половината от работните места са към правителството.

На този фон през 1991 г. Фишър и Муун пускат в действие ApproTEC. Тяхната цел е да приложат ритник при старта, за да дадат ударно начало за растежа на икономиката, като развиват съответстващи на нуждите на общността инструменти, които да бъдат местно производство, и ги продават на бедни предприемачи, които да започнат нов доходоносен бизнес. В началото на същата година продуктите на ApproTEC създават основата за над 28 000 нови бизнес начинания, като всеки месец по 900 от тях започват да функционират реално. Около 60% от предприемачите са жени.

Типичен купувач на 76-доларовата „Супер машина за пари“, задвижвана с педали помпа за напояване, която може да вади вода от дълбочина осем метра под земната повърхност и да я разпръсква над полето, е Джанет Ондиек от западната част на Кения – разказва Фишър. Когато съпругът ѝ починал, тя и нейните шест деца били оставени да мизерстват. Тя прибрала децата си от училище и използвала кофа, за да напоява една осма от своя акър зеле. „Това я поддържало жива – казва Фишър. – И тогава тя видяла помпата. Отнело ѝ шест месеца спестяване, за да може да си я купи. Днес тя напоява 2,5 акра и е наела трима души. Джанет продава своята продукция в местен магазин. Миналата година припечели 3200 долара. Изпрати всичките си деца обратно на училище.“

„Средностатистическият кениец има само един имот – добавя той. – Малко парче земя. И едно умение – фермерството. Ако си фермер и започнеш да развиваш свързано с напояване комерсиално земеделие, можеш да прибиращ по-богата реколта и можеш да отглеждаш фантастични зеленчуци.“

След успеха на първоначалната водна



Фиг. 1. Микропредприемачите в Кения пускат в действие своята помпа за напояване



Фиг. 2. Разчитайки на своята 370-доларова преса за маслодайни култури, Джейн Матенду (вляво), самотна майка и учителка, която живее в източното подножие на планината Кения, е създала пчеливиш бизнес – прави слънчогледово олио, което продава за готвене. Остатъкният продукт от пресованите семена тя продава като фураж

помпа тип „машина за пари“ – вариант на помпа, за първи път продавана в Бангладеш от IDE, друг поощрител на микропредприемачите – ApproTEC, проектира и по-големи, и по-малки помпи, включително последната модификация, ръчна помпа, която продава за 18 долара. От 31 992 продукта на технологиите на ApproTEC, продадени в началото на тази година, 28 614 са помпи за напояване, отбелязва Фишър. Организацията също е проектира и продава преси за маслодайни култури, машина за балиране на сено и оборудване за направата на бетонни плочи, керемиди за покрив и тухли. Сред продуктите са помпа за ръчно напояване от дълбоки кладенци и технологии за пробиване на кладенци.

„Проектирането и конструирането на подходящи за местно приложение инструменти е предизвикателство – смята Фишър. – Правим анализи и изчисления. Нещата трябва да бъдат здрави, практични и да работят изправно. Това, което ние проектираме, е утилитарно – не ни интересува как изглежда.“ В бедните страни, добавя той, технологиите трябва също така да бъдат на ниска цена, ръчно управляеми, енергийно ефективни, лесни за поправка и да докарват печалба на купувача за три до шест месеца.

Дори при наличието на тези условия продаването на технологичните иновации е трудно според Фишър. „Напоителна помпа от 18 долара е значително вложение за бедния фермер и убеждаването му да я купи изисква по-голямо от обичайното маркетингово усилие.“ Понастоящем помпите се продават в около 200 селски магазина в Кения и Танзания. „Поддържа база данни за всички продажби и сетне на случаен принцип избираме някои от купувачите, за да ги посетим през първия месец, преди те да са извлекли някаква полза, и отново 18 месеца по-късно, за да видим повлияването. Средно – добавя той – намираме, че доходите на хората са се увеличили с повече от 12 пъти. Ясно е, че тези малки неща имат голямо влияние.“

Експанзията на ApproTEC

Но Фишър и Муун искат това влияние да бъде дори още по-голямо. Следващата

стъпка в експанзията на ApproTEC, казва Фишър, ще е по-мощната продажба на помпите. Те тъкмо са започнали да навлизат в Уганда, Малави, Мозамбик и Южна Африка. „Започваме с помпите за напояване, защото широката маса хора в развиващите се страни са все още селски фермери, които са в положение да извлекат полза при промяната от едва задоволяващо собствените нужди земеделско производство към комерсиално земеделие. Относителното влияние на други нови технологии общо ще е по-малко“, казва Фишър.

По същото време ApproTEC обмисля преместването на производството си от Африка в Китай, където разходите около продукцията са по-ниски. Производството е създадо относително малък брой работни места, според Фишър, „а организирането на производството е тежък етап, особено по отношение на обучението на работната сила. Ще сме способни да доставим нашите технологии до нови страни много по-бързо, ако ги внасяме, отколкото ако организираме местно производство.“

ApproTEC понастоящем има 68 работници и годишен бюджет от около 2 млн. долара. За да реализира плановете си за експанзията, през последната година Фишър напусна Африка и се премести обратно в САЩ след 16-годишно отсъствие с намерението да се фокусира върху събирането на нужните средства. От своята база в Сан Франциско той се стреми да натрупа 30 милиона долара за три години. „Това, което в действителност се опитваме да направим в Африка, е да създадем средна класа отдолу – от дъното – нагоре. Деветдесет процента от богатствата са в ръцете на десет процента от населението. Повечето страни имат демокрация, но тя е безсмислена при такова неравенство.“

Превод: **Вихра Йорданова**

Източник: KickStarting Developing Economies With Relevant Technologies,
Physics Today, April, 2003

**РЕДАКЦИЯТА НА „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА” БЛАГОДАРИ НА
СЕМЕЙСТВО КОРНЕЛИЯ И ВАЛЕНТИН КАРЛСОН
ЗА ВЕЛИКОДУШНОТО ИМ ДАРЕНИЕ В ПАМЕТ НА ДЪЩЕРЯ ИМ,
НАШАТА КОЛЕЖКА АНТОНЕЛА КАРЛСОН (1960-2008)**

ФАБ-ЛАБ: АЛТЕРНАТИВЕН МОДЕЛ ЗА ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ В ПОМОЩ НА РАЗВИТИЕТО

Б. Михак, Кр. Лайън, Т. Гортън,
Н. Гершенфелд, К. Макинис, Дж. Тейлър

В последно време набира сила усещането, че схващанията ни за дигиталния вододел¹ и за ролята на информационните и комуникационните технологии (ИКТ) се нуждаят от основно преосмисляне. Настоящата статия представя причините за създаването и устройството на мрежа от производствени лаборатории, т.нар. Фаб-Лаб (Fabrication Laboratories), чиято мисия е да даде конкретни образци, които да заложат основите за новата конструкция на това преосмисляне. В сърцевината на тази идея стои убеждението, че при развиващите се общности най-устойчивият способ за получаване на най-крупни резултати от дигиталната революция е общностите да бъдат обезпечени с възможности да създават своите собствени технологични инструменти и именно с тях да намират решения на своите проблеми. Всяка Фаб-Лаб се състои от колекция инструменти за конструиране и моделиране, създаване на прототипи и фабрикуване на крайни продукти, тестване, намиране и отстраняване на дефекти и документация, обхващаща широк кръг приложения във формалното и неформалното обучение, в здравеопазването и екологичния мониторинг и изобщо в икономическото и социалното развитие.

Увод

Следващата фаза от дигиталната революция ще ни отведе отвъд персоналното компютърно моделиране – към персоналното фабрикуване. Това разрастване ще има дълбоко въздействие и за да сме готови да разберем в пълнота последиците му, трябва да разглеждаме фабрикуването под възможно най-широкия ъгъл, и то от гледната точка на въздействие върху най-широката възможна аудитория.

Като насочваща аналогия нека използваме „персоналната фотография“ и „персоналното кино“. Словосъчетанието „персонална фотография“ за мнозина сигурно ще звучи странно днес, защото не помнят времето, когато фотографията е била изключително професионално занятие, каквато беше и компютърната обработка на данни през първите години на големите ЕИМ. Днес потребителите се радват на далеч по-голям контрол над процесите на създаване и обработка на своите снимки и видеозаписи. Съвременните софтуерни инструменти позволяват всеки да изпита какво е да си режисьор, продуцент или оператор.

Според нашите идеи близко е времето, когато ще има богата колекция от достъпни инструменти, които ние наричаме „персонални машини за фабрикуване“ и които

ще позволяват всекиму да произвежда свои артефакти, физически реални и с вградени възможности за компютърна обработка, комуникация, детектиране и реакция на въздействия. И още – не е далеч бъдещето, когато всеки ще може да си „принтира“ активна електроника и дори компютри с пълна функционалност върху разнообразни основи, включително например върху хартия [1].

Няма да е лесно да се предвиди пълното въздействие от тези технологии, но и през 1970-те малцина са прозрели докъде ще се простре въздействието на персоналния компютър. Макар да е въодушевяващо да се разсъждава за възможностите, които ни готви бъдещето, тази статия има за предмет, какво може да се направи с инструменти, които или са налични, или без затруднения могат да бъдат произведени още сега. Движени сме от предпоставката, че ако сме достатъчно съсредоточени върху въпросите за достъпността на дизайна, програмното осигуряване и производствените инструменти, бихме разработили нов набор от евтини инструменти, които ще имат дълбоко, положително и устойчиво въздействие върху развитието на събитията и ще доведат до преосмисляне на текущите дебати за ролята на ИКТ за това развитие.

По-конкретно, по наше убеждение най-подходящите за разработване изчислителни технологии са онези, които създават условия хората да се научат не само да замислят, разработват и обработват своите проекти с помощта на компютрите, но и да използват управлявани от компютри производствени инструменти, за да строят и реализират тези си собствени проекти.

В настоящата статия ще представим една нова инициатива, наречена Фаб-Лаб, с която въвеждаме група производствени лаборатории, обезпечени с избран първоначален инструментариум за проектиране и моделиране, създаване на прототипи и фабрикуване, тестване и непрекъснат контрол, както и за документиране [2]. Група от забележителни наши колеги – водещи личности в техните общности, преподаватели и инженери, които работят в различни провинциални общности по целия свят – използва тези инструменти, за да разработват своите собствени решения на местните проблеми.

Важно е да се подчертае, че този проект, макар да е твърде активен, се намира в началната фаза на изпълнението си и ние все още не сме готови да правим каквито и да било изводи относно социалното му въздействие. Надяваме се в близко бъдеще да можем да предоставим анализ на социалните измерения на проекта. В тази статия ще опишем техническото устройство на сега действащите примери на отделни Фаб-Лаби, нашия подход за въвеждането им в приемащите ги понастоящем общности и ще съпоставим нашите пориви с началните ни впечатления от въздействието на тези



Фиг. 1. Фаб-Лаб във Вигян Ашрам, малка образователна общност край село Пабал в Махаращра, Индия

инструменти в краткосрочен и дългосрочен план. Един от най-осезаемите резултати на тази статия е дискусиата върху най-спорните аспекти на този вид инициативи и нашите усилия да се справим с предизвикателствата чрез съответни изследвания и разработки.

Какво е характерното за една Фаб-Лаб?

Всяка Фаб-Лаб е обзаведена с инструменти за всичките разклонения на процеса на разработване на една технология: проектиране, фабрикуване, тестване и отстраняване на недостатъци, мониторинг и анализ и за документиране. В началото ние, разбира се, започнахме с еднакъв набор инструменти във всички средища Фаб-Лаб. Естественото развитие на отделните Фаб-Лаб в посоката, определена от уникалните потребности и ресурси на общностите, използващи инструментите, се очакваше с течение на времето да сведе набора до решаващи за желания резултат инструменти и да доведе до разгръщане на възможностите им така, че да отговорят на специфичните нужди.

Крайната цел в изпълнението на предназначените цели е да създадем условията, щото ползвателите на всяка отделна Фаб-Лаб да прилагат нейните инструменти, за да проектират и създават следващото поколение от необходими им инструменти и затова наред с установяването и описването на това, как биват използвани действащите Фаб-Лаб, ние полагаме усилия за изследвания и разработки, позволяващи да проектираме нови, евтини версии на инструментите за Фаб-Лаб, и то такива, които да могат да бъдат изработени изцяло в рамките на съответната Фаб-Лаб. Следващото представяне на инструментите в отделно взета Фаб-Лаб, както и на действащите и предстоящи сценарии за нейното използване, ще придаде повече конкретност на настоящите бележки.

Инструменти за проектиране

Всяка Фаб-Лаб е оборудвана с персонален компютър, който се ползва за връзка с почти всеки друг инструмент в лабораторията. Така той се използва при 2D и 3D проектиране на механизми, както и при моделиране, симулиране, обработка и анализ на данни, проектиране на различни електронни и изчислителни устройства, създаване на схеми на печатни платки и програмиране, като интерфейс за производствените инструменти и разбира се, за документиране и за интернет достъп с цел комуникация и информационно обслужване.

В добавка към подобни инструменти, които се намират на пазара в готов вид, ние предоставяме на общността на ползвателите на Фаб-Лаб нашата система Tower (кула; Фиг. 2) – модулен изчислителен комплект за конструиране с възможност за надграждане до пълна функционалност, който да подпомага проектирането и скоростното създаване на прототипи на сложни електронни системи [3] и който беше разработен от Групата „Оригинални изобретения“ (Grassroots Invention Group, или GIG²) към Media Lab, MIT.

Кулата на системата се строи върху модул „фундамент“, избран измежду няколко различни такива модула, съдържащи ядрения процесор. Следват една върху друга останалите платки, които предоставят широка функционалност, в т.ч. детектиране, реакция на въздействие, съхранение на данни, комуникация, визуален и аудио изход. В

добавка към нарастващите комбинации от етажи за кулата ние добавихме необходимите инструменти за създаване на прототипи, с които всеки може да добавя свои нови етажи към системата според специалните изисквания на конкретното ѝ приложение.

С тази кула хората могат не само да проектират и планират собствените си експерименти и дейности, но могат всъщност да създават свои собствени инструменти, примерно прост евтин осцилоскоп и миниатюрен персонален компютър или дори контролна система за настолна фреза. Получавайки възможността да правят тези инструменти, хората ще могат не само да разширяват без трудности системата, построявайки нови етажи, но и ще имат всичко необходимо, за да я пресъздават или да конструират нови и по-сложни от изходните хардуерни системи. Следващата дискусия ще илюстрира как системата Tower стана ядрото на нашите изследователски усилия за разработки в описаните по-горе посоки.

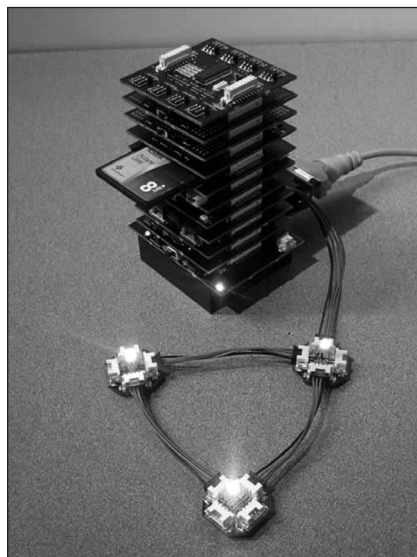
Инструменти за фабрикуване

Най-важното в концепцията за Фаб-Лаб, това, което поражда смисъла ѝ, е персоналното фабрикуване. За сега действащите Фаб-Лаб ние избрахме два инструмента за производство, които са достъпни на пазара, така че да можем да ги използваме без бавене в полеви условия и да почнем да събираме информация за тяхното прилагане. Единият е 3D фреза на фирмата Roland, комбинираща и сканиране, а другата е машината за рязане на винил – пак от Roland. Избрахме също така да използваме стандартния комерсиален софтуер за тези инструменти, като разработим наши версии за различните му приложения.

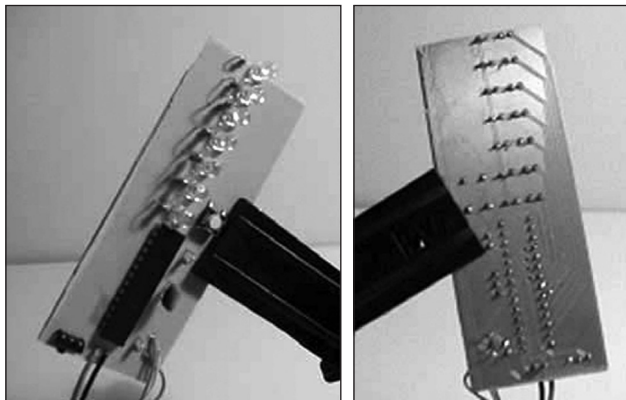
Фрезата и резачката на винил са полезни за множество 2D и 3D проекти. Фрезата може да изрязва 2-измерни части от широк кръг материали – от картон до метал. Може да се използва също за направата на действащи неголеми 3-измерни механични части, проектирани на компютъра с 3D моделиращи инструменти. В другия си режим фрезата работи като входящо устройство – сканира готов 3D обект и вкарва размерите му в компютъра. Тези данни пък позволяват да бъде създаден цифровият 3D модел на оригиналния обект, а моделът да бъде използван на свой ред за бъдещи модификации и/или производство – вече в режима на рязане.

По-нататък, фрезата може да си използва за направата на печатни платки. Пример за една такава, изработена с машина Modela, е показана на Фиг. 3.

Тази способност на окомплектовката на Фаб-Лаб да се проектират и фабрикуват



Фиг. 2. Системата Tower – модулно окомплектован изчислителен инструмент с широки възможности за бързо създаване на прототипи



Фиг. 3. Печатна платка, направена с помощта на фрезата

размер с 3D фрезата. В момента в нашите лаборатории в MIT работим по усъвършенстване на техниките, необходими за този тип приложения на виниловата резачка. Фиг. 4 показва верига, направена с виниловата резачка.

Причината да сме ентузиасирани относно възможността да разработваме, произвеждаме и подобряваме в движение чрез хардуерни проекти, е в нашето усещане, че именно това е естествената стъпка за многообразни общности – намираме ги примерно в Индия, които станаха свидетели на значителни успехи в развиването на софтуера, но на които тепърва предстои да изпитат подобен възход в развиването на хардуер. Способността на ядрата Фаб-Лаб да създават електроника може да се разглежда като възможно средство в служба на тази цел. Важно е да се отбележи все пак, че по пътя към персоналното фабрикуване на електроника все още има препъникамъни, тъй като



Фиг. 4. Печатна верига, оформена от адхезивно медно фолио с виниловата резачка и залепена върху пластмасова платка, изрязана по размер от 3D фрезата

печатни платки, е ключова за самовъзпроизвеждането на същите Фаб-Лаб. И е важно условие за възможността работещите с Фаб-Лаб да могат да разработват свои собствени електронни и изчислителни устройства. За нас едно от основните приложения на виниловата резачка е да изрязва от адхезивно медно фолио пътечки и антени за веригите на платките и да ги полага върху разнообразни криви повърхности или върху пластмасови платки, изрязани по

чипове, а и други компоненти трябва да бъдат поръчвани отделно или свалени от бракувана електроника. Но печатните платки, към които тези елементи ще бъдат запоявани, могат да бъдат направени от Фаб-Лаб, с което се премахва скъпото и времеемко използване на работилниците за печатни платки.

След необходимите изследвания и предварителни разработки ние вече проектираме фреза и резачка, както и 3D сканираща машина, които ще използват системата Tower като управляваща. Предполагаме, че до една година ще пристъпим към тестване на нашата машина в някоя от действащите Фаб-Лаб [2].

Инструменти и оборудване за тестове

За отстраняване на недостатъци и въвеждане на подобрения в устройството на една печатна платка беше избрано определено основно електронно оборудване като съставна част от всяка една Фаб-Лаб [2]:

Осцилоскоп TEKTRONIX

Волтметър WAVETEK

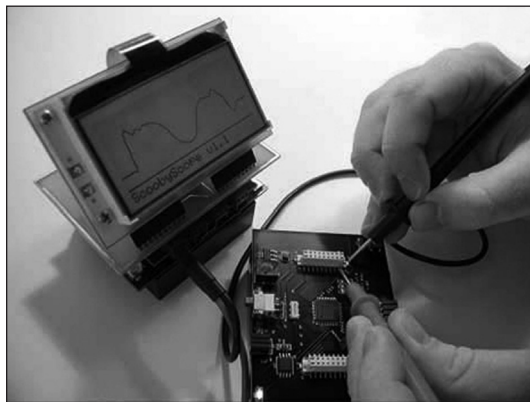
Генератор на функции B&K Precision

Комплект за програмиране на микроконтролери Development Tools на Microchip Technology Inc.

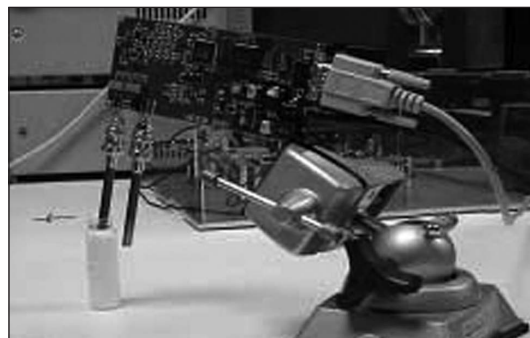
Именно тези инструменти са сред първите, които ще заместим с компонентите на системата Tower. Предвиждаме през следващите 6 месеца да сме изработили прототипите на всяко от тези устройства. Снимка на осцилоскоп, работещ благодарение на „кулата“, е показана на Фиг. 5.

Гъвкавост е ключовата дума за инструменталната секция на Фаб-Лаб. Иса Масуд е изследовател в групата на Нийл Гершенфелд „Физика и медии“ към MIT, който разработи достъпен като цена комплект на радиочестотен схемен анализатор, показан на Фиг. 6.

Когато заявените количества са малки, цената е около 1250 долара, обаче може да падне до 100 долара при големи количества. Радиочестотният схемен анализатор измерва импеданса между 10Hz и 300MHz. Търсенето на връзки между измерените диелектрични константи на материали и техните свойства е част от нашата актуална изследователска програма. Две приложения на нашите резултати са примерно анализът на мазнините в млякото и анализ на пощенски пратки, но се търсят и други приложения [2, 4]. Евтин UV-ВИДИМА (UV-VIS) спектрометър, който използва комерсиална уеб-камера наместо специализираните и по-скъпи детектиращи устройства, специфични за разните модели, също е включен във Фаб-Лаб. Химичните и биологичните анализи са очевидните приложения на спектрометъра, но ако се използват отделните му компоненти, тези приложения могат да се разширят. Така уеб-камерата върши работа за дистанционна медицинска помощ и дистанционно обучение [2, 5].



Фиг. 5. Първи прототип на осцилоскоп, направен със системата Tower



Фиг. 6. Радиочестотен схемен анализатор (RF network analyser) във Фаб-Лаб изпълнение

Включили сме и микроскоп от продуктова линия за любителски електронни устройства Intel Play³. Той може да се използва за проверка на качеството на фабрикуваните печатни платки, за някои микробиологични анализи и за редица приложения в интерактивното и ориентираното към практиката образование [2].

Табл. 1. Структура на стойността на Фаб-Лаб

Инструмент	Задача	Производител	Цена (USD)
3D фреза и 3D скенер	Изработка на печатни платки и механични устройства	ROLAND	3800
Винилова резачка	Прецизно изрязване	ROLAND	2100
Осцилоскоп	Отстраняване на дефекти в електрониката	TEKTRONIX	1300
Мултиметър	Тестове и измервания	WAVETEK	125
Генератор на функции	Тестове и измервания	B&K Precision	250
Радиочестотен анализатор	Характеризиране на материали	MIT	1250
UV-VIS спектрометър	Характеризиране на материали	MIT	200
Комплект Tower	За всичко	MIT	1000
Разнообразни пособия	Разни	Различни	1500
PC	Компютър	IBM	1500
Микроскоп	Обследване и отстраняване на дефекти	INTEL	50
Дигитален фотоапарат	Документиране и взаимодействие	CANNON	300
Обикновен скенер	Документиране	HP	125
Общо:			13 500

Документация

Процесът на разработките може да бъде проследен по оставената документация. Документирането във Фаб-Лаб става с помощта на Think Cycle⁴. Камера и скенер се добавят към всеки компютър, така че използващите Фаб-Лаб да могат да качват проектите си и последващите им подобрения в Think Cycle, където да бъдат обсъждани от потребителите на другите Фаб-Лаб [2, 6].

СЦЕНАРИИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕТО

Индия

Фаб-Лаб притежават потенциала да оказват дълбоко въздействие – на две нива:

Персонално фабрикуване. Когато някой ползвател на Фаб-Лаб има необходимост от определен инструмент или предмет, с помощта на производствените лаборатории от мрежата на Фаб-Лаб той може да го проектира спрямо потребностите си, след което да го фабрикува.

Развитие на общностите по каналите на grassroots⁵ (движение от корените към върха). Фаб-Лаб предоставят на общностите инструменти, чрез които да се развиват

с присъщата им или друга желана от тях скорост, и то без да се отчуждават от собствената си култура.

В Индия сътрудничеството с Фаб-Лаб, разположена във Вигян Ашрам [2], е дало началото на две приложения, които са примери за горните потенциални въздействия.

Вигян Ашрам е малка образователна общност, разположена непосредствено до селото Пабал в Махараштра, и е седалище на втората международна и първа за Индия Фаб-Лаб. Тя е школа, откликваща на нуждите на онези, които по една или друга причина не са намерили място в традиционната индийска училищна система, и е фокусирана върху преподаване на практически умения, които ще позволят тези студенти да започнат собствен бизнес, когато напуснат школата. Тъй като Вигян Ашрам е в порядъчно отдалечена и предимно селскостопанска област, което наред с цената пречатства използването на полуиндустриални работилници за печатни платки, учениците и преподавателите от школата оценяват високо способността на Фаб-Лаб да прави с лекота печатни платки.

Едно специфично приложение, към което пристъпват веднага, било разработването на платки за осъществяване на по-добро синхронизиране на дизелови двигатели. Всички машини във Вигян Ашрам и дори местните спомагателни енергийни системи работят с дизелови двигатели, които имат твърде неравномерни времеви характеристики, но хората там не могат да си позволят комерсиалните регулатори за дизелов двигател. Затова в школата залягат над прототипи за собствени синхронизиращи платки с помощта на системата Tower, след което пристъпват към окончателната изработка чрез фрезата на Фаб-Лаб. Реалистичните им очаквания са по-скоро за собствено производство на регулатори за дизелови двигатели, отколкото за намиране на източници на средства за купуването на фирмени регулатори.

Млечната индустрия на Индия е една от най-големите и най-бързо разрастващите се в национален мащаб. Тя дава работа на значителен процент от населението, преобладаващата част от което са фермерите, които именно доставят млякото. Съответно въпросът за качеството на млякото рефлектира върху голяма част от населението на Индия не само в здравен аспект, но също така в икономически. Бърз поглед върху млечната промишленост разкрива три организационни нива: фермерите, млекосъбирателните центрове и преработвателните съоръжения. Загубите, които индустрията търпи поради замърсено, разводнено или просто развалено мляко, се пренасят надолу през тази йерархия до най-ниската й брънка – фермерите.

Проблемът със замърсяването може да бъде лесно разрешен чрез включването на съоръжения, следящи качеството в млекосъбирателните центрове и сетне отново – в преработвателните предприятия. Това е лесно да се предложи, но трудно да се приложи. Цената на система от такъв мащаб не е единственият обезкуражаващ фактор. По-голямо препятствие от цената е големината на мрежата от млекосъбирателни центрове и многообразието от различни хора, които са въввлечени. Вертикалният подход от горе надолу, приложен от външен източник, е слабо вероятно да успее да промени системата. Оттук следва, че решението трябва да се търси в посока от долу нагоре и

за определяне на качеството на млякото да се използва надеждно съоръжение с ниска цена и лесна поддръжка, което съоръжение да може да бъде направено евтино и лесно в Индия и ако е възможно, на местно ниво.

Това е моментът, в който Фаб-Лаб излиза на сцената. Подходът от корените към върха на модела на Фаб-Лаб би позволил проектиране в духа на т.нар. стратегия just-in-time (JIT)⁶, т.е. да се произвеждат такива сензори, от каквито има определена моментна нужда на местно ниво, и то в желаното количество. Инструментите, които ще се използват, биха били направени от заетите в съответната дейност, за която именно им трябва тези инструменти, вместо да им бъдат спуснати отгоре и да им бъде съобщено, че са полезни.

Коста Рика

Костариканският технологичен институт (известен като ТЕС и по-нататък назоваван с това съкращение) бе избран за основаване на първата международна Фаб-Лаб, което стана през лятото на 2002 г. Фаб-Лаб в Коста Рика бе първата реализация в контекста на Мрежите за обучение по независимост (Learning Independence Networks, LIN), един проект на GIG (Групата „Оригинални изобретения“), започнал една година по-рано [2,7].

Типично за развиващите се държави е да се задоволяват с технологии, които са проектирани някъде другаде и са замислени с други цели. Проектът LIN бе създаден с цел да промени това, като работи с мрежи от организации в развиващите се страни (включително университети, фондации, частни компании и НПО), за да им помогне да изградят капацитета да развиват собствени технологии за местните си нужди. В най-тясна връзка с университетите работеше Бахтиар Мухак, като им помагаше да разработят нови курсове, изследователски програми, технологични инфраструктури и стратегии за сътрудничество с други членове на регионалната мрежа при проектирането на съответни нови технологии.

Изследователското ядро на LIN, състоящо се от преподавателското тяло и студентите на ТЕС, местни научни и технически университети, Централноамериканския институт за бизнес администрация, Педагогическия колеж към университета на Коста Рика и от членовете на GIG, идентифицира задачите и започна работа над редица проекти, особено подходящи за нискодоходни отдалечени провинциални общности в Коста Рика.

Със системата Tower те правят собствени безжични, чувствителни към околната среда модули, със земеделски и образователни приложения, вдъхновени от ранни прототипи на Рич Флетчър от Групата „Физика и медии“ (Physics and Media). В сътрудничество с изследователите от LINKOS [8] група студенти от ТЕС са в началния етап на изработване на ръчноуправляеми, устойчиви прототипи на съоръжения с медицинско приложение (по-специално проследяването на определен проблем на кожата, срещан сред жителите на едно от селата). Студенти от Гимназията по науки, подпомогнати от членове на Мрежата, които заедно покриват широка област на компетентност, правят нови и реални модели в помощ на усвояването на редица концепции от химията и

физиката на гимназиално ниво. Студентите от Техническата гимназия разработват музеен експонат на тема плаваемост – за Детския музей в Коста Рика.

Въображението на изследователите не спира да ражда нови и нови приложения, ден след ден. По време на редовни взаимодействия с бизнес студентите от INCAE групата като цяло обсъжда икономическите предизвикателства и възможностите за развиване на технологии с голямо обществено въздействие. Внимателното съгласуване на очакванията и приоритетите на участниците с техните различни гледни точки е един от аспектите на този проект, който представлява най-голямо предизвикателство.

Бъдещи насоки

Споменахме неколkokратно по-горе своята цел Фаб-Лаб да бъдат оборудвани със средства за самовъзпроизвеждане – разбира се, не без човешко участие в цикъла на производство. Това е една от най-активните области на изследване в нашите групи в момента и поради това бихме желали да я доразвием в тази заключителна част.

През следващата година, като изключим персоналния компютър, с който пускаме в действие своите приложения за проектиране, анализ, програмиране и документация, бихме искали да заменим всички други машини с техни по-малко скъпи заместители, по-подходящи за нуждите на потребителите на Фаб-Лаб и които могат да бъдат местно производство. Ще достигнем до детайлна спецификация на дизайна на тези инструменти, основана на внимателно проучване на по-трудните проекти, предприети в различни Фаб-Лаб. Важна част от този проект ще е проектирането на контролни системи за тези машини, основани върху възможни допълнения в системата Tower.

Наред с механичните проекти възнамерявахме също така да развием потребителски ориентирани софтуерни приложения, които не само биха били по-евтини, но и по-достъпни за онези без обширни технически познания. Пример за такъв инструмент е обикновена печатна платка и 2D софтуерно приложение, наречено ETCH, което развиват понастоящем изобретателите от GIG. Ние сме конструирали също така собствена интегрирана развойна среда, за да програмираме широк клас микроконтролери и търговски достъпни преносими устройства като Palm Pilots и джобен PC, които използват както интуитивен програмен език от високо ниво за различни платформи, така и асемблиращи езици, които са специфични за различните платформи. Също сме интегрирали инструмент за визуализация на данни за вградените приложения, които биха се нуждаели от такава.

Предвид относителната лекота, с която системата Tower може да бъде разширена, така че да изпълнява нови приложения, то щом имаме веднъж тези тестови и производствени инструменти, задействани от Tower, ще сме способни да проектираме, произвеждаме, тестваме и програмираме Tower чрез Tower. (В рамките на следващите шест месеца ще имаме версия на Tower, достатъчно мощна, за да пусне в действие настоящата ни среда за разработки на системи Tower.)

За да имаме напълно интегрирана система, ще надградим системата Tower с необходимите модули, така че настоящият Фаб-Лаб инструментариум (UV-VIS спек-

тросметърът и радиочестотният схемен анализатор, които обсъдихме по-горе) да може да бъде сглобяван от съответните модули на Tower.

Ето защо, доколкото 3D фрезата позволява създаване на крайния облик на повечето части, визията за придаване към Фаб-Лаб на функция самовъзпроизводимост ще стане реалност във вече обзиримо бъдеще. А с този модел на възпроизводими лабораторни компоненти се хранят надежди, че потребителите на всяка Фаб-Лаб ще бъдат в състояние не само да възпроизвеждат лаборатории и да ги разпространяват, но също така да разширят инструментариума, за да отговаря той на нуждите им, и да предадат тези нови инструменти и свързаното с тях ноу-хау на останалите Фаб-Лаб. Наред с всестранното отчитане на важни човешки измерения на усвояването и адекватната употреба на технологиите (които в настоящия встъпителен етап на този проект са извън обсега на тази статия) ние се надяваме, че подобен подход от корените към върха ще ни помогне да се захванем с проблема за въвеждане на технологии в общностите по самоподдържащ се, самонадграждащ се и саморазпространяващ се начин.

За да стане горното възможно, трябва да са налични материали за производство. Повечето материали, които използваме в Бостън, не са лесно достъпни за други части на света. Затова се ориентираме по-скоро към потребители на място, които да експериментират с материали, характерни за тяхната географска област, отколкото да разчитаме на труднозащитима представа за организиране на снабдяване, пренебрегваща всичките трудности, през които трябва да минат местните общности, за да се доберат някак до материалите, иначе тъй леснодостъпни за нас. В Коста Рика проучването на материалите е произвело продукти, направени от бананови листа и водни лилии, като и двете са в изобилие в областта. Студенти от ТЕС се трудят с материалите, които се търкалят наоколо, като бутилки от кола и плексигласови фрагменти; във Вигян Ашрам всеки материал, който още не е вграден в някой проект, не след дълго бива приютен в следващото начинание. Изобретателността, творческата нагласа и духът, необходими за задвижването на такъв процес на проучване на материали, вече съществуват по тези и множество други места, с което ни дават добри основания да вярваме, че този подход към снабдяването на Фаб-Лаб с материали има добри шансове да просъществува.

При условие че Фаб-Лаб осигуряват сами материалите за работата си, те изглеждат, като че ли са оставени самостоятелно да се грижат за себе си. Обаче те няма да бъдат сами. Подкрепа ще бъде осигурявана посредством сътрудничеството между отделните Фаб-Лаб ядра чрез Think Cycle и чрез уеб-сайта на Фаб-Лаб. Чрез тези канали за комуникация и сътрудничество могат да бъдат обменяни проблеми и решения, може да бъде споделян нов дизайн на инструменти и могат да се разпространяват идеите за нови материали и техники, които са експериментирани из различните Фаб-Лаб.

Предизвикателства

Това лято първите две международни Фаб-Лаб бяха основани в Сан Хосе, Коста Рика и Вигян Ашрам, Индия – и при създаването им открихме много предизвикателства. Отвъд обикновените неудобства от международния трансфер на оборудване,

енергийните несъвместимост и недостиг и липсата на материали и инструменти ни чакаше предизвикателството, как да бъдат намерени най-ефективните начини, щото новите потребители на Фаб-Лаб да добият широк спектър умения, нужни им, за да овладеят напълно употребата на всички инструменти в нея.

Образованието ще продължи да бъде важна интегрална част от проекта. Без опита на подходящото обучение не е изключено дадена Фаб-Лаб да стане непотребна и да се провали в изпълняването на своето предназначение, но и нещо по-лошо – провалът ѝ да накара скептиците да повярват, че подходът от корените към върха е неработещ. Следователно е задължително да бъдат посветени значими ресурси на новаторски подходи към обучението и разработването на инструменти, способни да разпознават в дълбочина неизбежните различия в човешкото усвояване на знания. Това е причината да чувстваме, че намирането на силни местни партньори е един от най-значимите аспекти на нашата работа дотук. Д-р Калбаг, който управлява школата на Вигян Ашрам, и членовете на ядрото на Мрежите за обучение по независимост в Коста Рика са актив от решаващо значение за успеха, на който се надяваме, че ще се радва този проект.

При съоръжаването на Фаб-Лаб досега разполагахме с достатъчно време на място за настройване и въвеждане на инструментите в експлоатация. Въпреки искрените ни усилия може да се желае още много, за да сме доволни от степента на тясно събижаване в сътрудничеството с нашите партньори по места. Последвалите посещения и постоянни контакти ни помогнаха да запълним тази празнина, но уроците, които усвоихме, и предизвикателствата, които идентифицирахме, ни показаха: изискват се време, добре подбран персонал и образователен план, за да бъде осигурен за потребителите на Фаб-Лаб дълбок и дълготраен опит на обучение.

Също така важно е да отбележим, че образованието може да отведе потребителите на Фаб-Лаб далече, но присъствието на някого, който е запознат отблизо с идиосинкразии на машините и може да се включи при измъкване от положения, които затрудняват останалите потребители, е невероятно важно. Първоначалното обучение, което ще бъде предоставено на една нова Фаб-Лаб, няма да изисква непосредствено общуване с гурута, но с експерти – местни и от чужбина – ще бъде необходимо през целия жизнен срок на една Фаб-Лаб, за да отговорят успешно на въпросите и да решават неподатливи проблеми с машините. Ние търсим активно постижими начини да осигурим експерт или достъп до експерт от момента на създаването на всяка нова Фаб-Лаб.

Накратко, продължителността на учебната практика и същественото количество интелектуален, практически и материален контакт с експерти са от решаващо значение за успеха на Фаб-Лаб. Въпреки склонността да предполагахме, че колкото повече възли Фаб-Лаб основем, толкова по-близко ще сме до достигането на критична маса, трябва да бъдем много внимателни – да се разпростираме отговорно и разумно. По-настоящем активно работим върху основаването на мрежа от Фаб-Лаб в Коста Рика, уроците от която, надяваме се, ще помогнат в разпространяването на нашите усилия в други региони.

Друго важно предизвикателство, с което сме се заели отчасти, е свързано с употребата на комерсиален софтуер, който е първоначално проектиран в англоговорящите страни, и то в много специфичен контекст. Това не беше кой знае какъв проблем в бостънската Фаб-Лаб, но той сериозно засяга страни, в които английският език не е повсеместно говорим, а концепциите, които са залегнали в основите на Уиндоус и друг западен софтуер, далеч не са достъпни на интуитивно ниво. Работейки над потребителски интерфейс за следващото ни поколение инструменти, много внимаваме за тези обществени, културни и когнитивни аспекти. В това отношение бяхме заинтригувани от един подход за лесно приспособяване на потребителския интерфейс към различните култури и сме се заели да го проучим.

Най-накрая, добрите документационни практики са наистина съществени за устойчивостта и ефективността в оценяване на инициативата Фаб-Лаб, но за съжаление, са времеемка и трудна задача дори за опитните изследователи. Въпреки че сме снабдили Фаб-Лаб на първо време с някои инструменти, които да улеснят документационната процедура, тепърва ще се види доколко може да са полезни. Главният ни инструмент в проучването на този въпрос ще са самите потребители на Фаб-Лаб. Нуждаем се от редовна комуникация с тях и от това да въплътим (или по-скоро да направим възможно за тях да въплътят) техния идеен принос – във функционалността на инструментите за документация и на следващото поколение инструменти за производство.

Общият знаменател на всички предизвикателства, пред които са изправени отделните Фаб-Лаб, е постигането на независимост на някакво сърцевинно ниво наред с развиване на здравословна взаимна зависимост от други Фаб-Лаб средища.

Заключение

Трябва да подчертаем, че инициативата Фаб-Лаб е активен изследователски проект в развитие. Окуражени от твърде обещаващите ранни резултати, заявихме своята убеденост, че тази инициатива ще бъде ефективна и устойчива във времето. Въпреки това оценката ни е все още хипотеза, която следва да бъде проверена. Ние сме ангажирани да докладваме със здрава доза реализъм и скептицизъм, каквото сме научили, за да сме сигурни, че няма да се хвърлим към заключения, основаващи се на преходните ефекти, които обаче няма да са носители на никаква истина след увеличаване на времевия мащаб.

Доверието ни в нашата способност да постигнем през идната година значителен технически прогрес в предлаганите от Фаб-Лаб инструменти не трябва да бъде тълкувано, сякаш вярваме, че техническият успех сам по себе си би довел по необходимост до успех в общественото, политическото и икономическото развитие на състоянието на човечеството. Считаме за много важно да се отнасяме с голямо внимание към обширните контекстуални въпроси, които доминират всички проекти за развитие, за да получим нашия шанс да тълкуваме коректно и неизбежните ходове назад, и желаните постижения пред проекта Фаб-Лаб.

Благодарности

Издаваме благодарност на NSF Center for Bits and Atoms (NSF Grant #CCR-0122419) за снабдяването с главното оборудване за Фаб-Лаб. Също бихме желали да изкажем своята признателност за подкрепата на консорциума Digital Nations (по-специално на INCAE за спонсорирането на Мрежите за обучение в независимост в Коста Рика) и на азиатската Media Lab. Бихме желали също така да благодарим на всички наши колеги във Physics and Media Group и на Grassroots Invention Group към MIT Media Lab.

Библиография

1. Ridley, B.A., Nivi, B., and Jacobson, J. Allinorganic field effect transistors fabricated by printing. Science 286 (1999) 746 ; Виж също <http://www.media.mit.edu/molecular/>
2. Сайтът на FAB LAB, <http://cba.mit.edu/projects/fablab/>
3. Mikhak, B., Lyon, C., Gorton, T. (2003). The Tower System: a Toolkit for Prototyping Tangible User Interfaces: http://pubs.media.mit.edu/pubs/papers/chi02_tower.pdf; Виж също <http://gig.media.mit.edu/projects/tower/>
4. Environmental Sensing and Low-Cost Instrumentation, <http://www.media.mit.edu/~tagdata/>
5. UV-VIS Spectrometer, <http://www.media.mit.edu/~car/>
6. Сайтът на ThinkCycle, <http://www.thinkcycle.org/>
7. Сайтът на The Learning Independence Networks, <http://gig.media.mit.edu/projects/lin/>
8. LINCOS, <http://www.lincos.net/>

Превод: Вихра Йорданова

Бележки

1. Digital Divide – дигитален вододел (дигитално разделение или дори пропаст), термин за обозначаване на разслояването на обществото на групи, различаващи се по достъпа си до съвременните информационни и комуникационни технологии. Още през втората половина на 90-те години на XX в. Бил Клинтън се позовава на „дигиталната пропаст“. След 2001 г. ООН подкрепя инициативи за преодоляване на дигиталното разделение (Фонд за дигитална солидарност и пр.). Критиците на концепцията за дигиталната пропаст оспорват възможността за емпиричното ѝ доказване. В частност твърдят, че възможностите за развитие зависят повече от способностите за използване на технологиите, отколкото от ограничения върху достъпа до тях. Съответно се заговори за дигитално разделение от втори род, отчитащо индивидуално мотивираната ефективност в работата с иначе всеобщо достъпното съдържание (Content Deivide). В тази връзка осезаема е потребността от педагогически и образователни усилия за мотивиране към придобиване на съответна компетентност, обаче и самото съдържание има нужда от структура, чувствителна спрямо различията и подпомагаща интегрирането. – *Бел. прев.*

2. Инициативата за създаване на Фаб-Лаб е на две звена на MIT – Grassroots Invention Group (GIG) и Center for Bits and Atoms (CBA) – и тя възниква на фона на общите им теоретични интереси към отношението между информационно съдържание и физическа реализация. Концепцията Фаб-Лаб се корени и в един популярен курс, предлаган в MIT – MAS.863, „Как да направим (почти) всичко“, който се преподава и до днес. – *Бел. прев.*

3. Този микроскоп може да се свързва с компютър през USB. Увеличението му е 10х, 60х, и 200х. Доставка се със софтуер, позволяващ на компютъра да се свързва с микроскопа, за да сменя изображения, вкл. видеозаписи с резолюция 320х240 пиксела. – *Бел. прев.*

4. ThinkCycle възниква като проект на докторанти към Media Lab в MIT през 2000 година. Проектът е посветен на инициативи за разпределяне на сътрудничеството по създаване на устройства в полза на общности по света, страдащи от дефицит в елементарното обслужване на техните нужди. Първото такова устройство е приспособление за интравенозно вливане на физиологичен разтвор на болелели от холера с производствена стойност 1.25 долара. За всяко следващо устройство се създава сайт с функционалност, наподобяваща Уикипедията, т.е. разполагащ с раздели за дискусии, архиви и пр. – *Бел. прев.*

5. С термина grassroots в английския език се обозначават елементите на общността на местно ниво, а под инициативи grassroots вече по цял свят се разбират дейности, подети там, където са проблемите, и разработени от хората, засегнати от проблемите и заинтересовани от решаването им. – *Бел. прев.*

6. Ритъм на производство, максимално близко съобразен с моментното търсене на продукта с цел избягване на свръхпроизводство и излишен престой на склад. Философията на JIT е проста: съхраняваш ли – губиш. Възниква като част от системата на производство на “Тойота” през 50-те години на XX в. – *Бел. прев.*

**ПОСЕТЕТЕ УЕБ-СТРАНИЦАТА НА
СЪЮЗА НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ
НА АДРЕС:**

<http://www.phys.uni-sofia.bg/~upb/>

ДОЦ. Д-Р ДИМИТЪР МИНЧЕВ РИБАРОВ (27.07.1950–11.08.2011)

На 11. 08. 2011 г. ни напусна д-р Димитър Минчев Рибаров, доцент в Катедрата по експериментална физика и методика на обучението по физика на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски” – талантлив учен и преподавател, дълбоко свързан със своята работа и прекрасен приятел.

Д. М. Рибаров е роден на 27 юли 1950 г. в гр. Пловдив. През 1973 г. се дипломира във Физическия факултет на Софийския университет “Св. Климент Охридски”, специалност Физика на твърдото тяло и е назначен за стажант-асистент по Опитна физика във Висшия педагогически институт, гр. Шумен. От 1975 г. след издържан конкурс е назначен за асистент. Декан е на Физическия факултет на ШУ от 1995 до 1997 г. През 1996 г. защитава докторската си дисертация на тема “Жиротропни свойства на хексагонални кристали от CdS , $CdSe$, и CdS_xSe_{1-x} , предизвикани от деформация чрез усукване”. Хабилитира се през 2009 г. и е назначен за доцент по методика на физиката.

Д. М. Рибаров е един от създателите на Лабораторията за оптични изследвания в Шуменския университет. Научните му работи се отнасят до оптичните и дисперсните свойства на полупроводници и диелектрици (A_2B_6 – съединения и силениди). Изследователската му дейност е концентрирана главно върху: влиянието на едноосно механично напрежение върху двойното пречупване на кадмиев сулфид и кадмиев селенид; спектралното положение на изотропната точка в зависимост от състава на смесени кристали от кадмиев сулфид-селенид; индуцирана с торзия жирация и магнитожирация в хексагонални кристали от групата A_2B_6 . Резултатите от изследванията му са докладвани на международни конференции в страната и чужбина, публикувани са в реномираните физични списания *Zeitschrift fur Physik B* и *Physica Status Solidi A*. В последните години работи в областта на дидактиката на физиката.

В Шуменския университет преподава увлекателно на студентите от различни специалности Опитна физика (Механика, Молекулна физика, Електричество и магнетизъм), както и Методика на физиката. Десетки студенти защитават успешно дипломни работи под неговото ръководство. Автор е на учебници, полезни както за студенти, така и за ученици – “Ръководство за решаване на задачи 1 част. Механика“, Шумен, 2001 г., “Физика за неспециалисти“, Университетско издателство “Еп. Константин Преславски”, Шумен, 2006 г., и електронен учебник, изд. на ШУ “Методика за решаване на задачи по физика”.

От 2002 г. активно работи по подготовката на отбор за участие в Международния турнир на младите физици (IYPT). Под негово ръководство националният отбор участва всяка година в международни турнири и се класира на челни места.

От 2010 г. до смъртта си е ръководител на Катедрата по Експериментална физика и методика на обучението по физика на ШУ „Епископ Константин Преславски”.

Българската физика загуби един изтъкнат физик и забележителен преподавател. Но ще останат споменът за човека, приятеля и добрия физик доцент д-р Димитър Рибаров, както и неговите научни резултати, статии и книги.

И. Илиев, К. Спасова

ЧЛЕН-КОР. ПРОФ. СТЕФАН КЪНЕВ
(17.08.1929–26.12.2012)

Проф. Стефан Кънев е един от създателите на ИФТТ. Зам.-директор е на ФИ с АНЕБ, а след това и на ИФТТ – БАН. Многогодишен преподавател е във Физически факултет на Софийския университет. Той е основоположник на научните изследвания у нас в областта на преобразуване и използване на слънчевата енергия. Създава Централната лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, като организира построяването на нова сграда, определя тематиката, оформя и ръководи научните колективи. Директор е на ЦЛСЕНЕИ – БАН в продължение на 15 години. Работил е с над 80 учени от страната и чужбина.

Научните му приноси са в областта на физиката на полупроводниците и диелектриците (фотоелектричните и оптичните явления в тях) и преобразуване на слънчевата енергия в електрическа, топлинна, химическа и др. Развивал е 16 различни тематики като: вътрешен фотоефект в различни материали; каталитични реакции; контактни явления и методи за изследването им; създаване и усъвършенстване на материали от A_2B_6 съединения, фотохимични реакции, холографски записи, електролуминисцентни явления, хетеропреходи и фотоелементи от A_2B_6 съединения и силиций, хидрогенизиран аморфен силиций, фотохимично разлагане на водата, топлинно преобразуване на слънчевата енергия, термофизични характеристики на материали (общо около 140 публикации). Притежава общо 26 броя авторски свидетелства и патенти, създава оригинални прибори и няколко внедрявания в индустрията.

Награждаван е многократно от научни и правителствени институции с различни награди и отличия, между които 2 ордена “Св.Св. Кирил и Методий” I ст.

От УС на Съюза на физиците в България

(Повече за живота на чл.-кор. Стефан Кънев можете да прочетете в бр. 1, 2010 г. на списание „Светът на физиката“ „Чл.-кор. проф. Стефан Кънев на 80 години“)

ИЗЛОЖБА „ИЗМЕРВАНЕ НА РАДИАЦИЯТА В МЕДИЦИНАТА”

Българската фондация „Ръонтген” скоро ще навърши 3-годишна възраст, а има похвална активност. След като бе съорганизатор на голямата Международна конференция „Радиационна защита в медицината” (Варна, 1–3 септември 2010) с повече от 250 участници от целия свят и проведе Националния конкурс за ученици „Радиацията и човекът” (март 2011 – февруари 2012), сега Фондацията съвместно с Националния политехнически музей (НПТМ) организира изложба *„Измерване на радиацията в медицината”*. Изложбата запознава посетителите с развитието на основните средства за измерване на йонизиращите лъчения, използвани в медицината. Експозицията включва уреди и техни принадлежности от ранния период на дозиметрията до наши дни. Сред експонатите е най-старият дозиметър в света за целите на лъчелечението от 1902 г., основан на фотохимичното действие (оцветяването) на бариево-платиновия цианид при облъчване с рентгенови лъчи.

Изложбата е адресирана към широк кръг зрители и преди всичко към учащите. Посетителите могат да получат безплатно книжка от 36 страници, съдържаща въведение към дозиметрията в медицината, както и каталог на по-голяма част от експонатите. Книжката е богато илюстрирана с цветни фотоси, като първата ѝ част е предназначена предимно за непрофесионалистите. За популяризирането на учени с особени заслуги за развитието на радиационната физика тя включва и кратки биографии на В. Ръонтген и А. Бекерел. В изложбената зала двамата откриватели са представени от табла с фотоси и информация.

Изложбата беше открита в НПТМ в София на ул. „Опълченска” № 66 на 10 декември 2012 г. В официалната част на откриването председателят на Фондация „Ръонтген” проф. Жения Василева представи кратко експозе по темата на изложбата и за Фондацията. Приветствие към организаторите и към участниците в откриването поднесе директорът на НПТМ г-жа Екатерина Цекова. Неофициалната част включваше малко музикално встъпление от две деца пианисти, викторина за учениците с въпроси от областта на радиационната физика и дозиметрията, както и коктейл, поднесен професионално от ученици от Софийската гимназия по туризъм.

Изложбата „Измерване на радиацията в медицината” ще продължи до 31 май 2013 г. и очаква посетители всеки работен ден от 9 до 17 часа.

В. Тодоров

ВТОРИ НАЦИОНАЛЕН КОНГРЕС ПО ФИЗИЧЕСКИ НАУКИ

41 НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИ
НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА

Организатори: Съюз на физиците в България,
Българска академия на науките,
Софийски университет “Св. Климент Охридски”

ПОД ПАТРОНАЖА НА ПРЕЗИДЕНТА НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ
Г-Н РОСЕН ПЛЕВНЕЛИЕВ

25-29 септември 2013, София

Откриване в Големия салон на БАН, ул. „15 ноември“ 1

Заседания в Ректората на СУ “Св. Кл. Охридски”, бул. „Цар. Освободител“ 15
(програмата ще бъде съобщена допълнително)

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

Председател: акад. Александър Петров – председател на СФБ

Зам.-председатели: проф. дфн Иван Лалов – зам.-председател на СФБ

проф. дфн Анна Георгиева – зам.-председател на СФБ

доц. д-р Теменужка Йовчева – зам.-председател на СФБ

Главен секретар: проф. дфн Тодор Мишонов – председател на Софийския клон
на СФБ mishonov@gmail.com

Секретари: проф. дфн Николай Тончев, доц. д-р Олег Йорданов

Организационен секретар: Снежана Йорданова urp@phys.uni-sofia.bg

Членове: УС на СФБ, ръководства на факултети, катедри и институти, представители на министерства и фирми, чуждестранни членове

СЕКЦИИ

	СЕКЦИЯ	ОТГОВОРНИК (Председател)
1.	Проблеми на образованието по физика. Ученическа сесия	проф. дфн Иван Лалов П. Лазарова lazarova@usb-bg.org
2.	Ролята на физическите науки за иновациите и индустрията в България. Физика и енергия. Управляем термоядрен синтез	проф. П. Витанов vitanov@phys.bas.bg доц. Д. Балабански balabanski@inrne.bas.bg

3.	Атомна и ядрена физика. Физика на елементарните частици	проф. дфн А. Георгиева anageorg@inrne.bas.bg
4.	Физика на кондензираното състояние, нови материали, криогенна физика	проф. дфн Н. Тончев tonchev@issp.bas.bg
5.	Радиофизика, електроника и квантова електроника	проф. дфн Ал. Драйшу ald@phys.uni-sofia.bg
6.	Физическа оптика, оптически методи, оптоелектроника	чл.-кор. Петър Атанасов paatanas@hotmail.com paatanas@ie.bas.bg
7.	Физика на Земята, атмосферата и Космоса	чл.-кор. Н. Милошев miloshev@geophys.bas.bg
8.	Астрономия и астрофизика	доц. д-р В. Голев valgol@phys.uni-sofia.bg
9.	Физика на живата и меката материя. Физика в медицината	акад. Ал. Петров director@issp.bas.bg доц. д-р В. Тодоров ventseslav.t@abv.bg
10.	Теоретична физика	проф. дфн Т. Мишонов mishonov@gmail.com
11.	Физика на плазмата	доц. д-р Ж. Кисьовски kissov@phys.uni-sofia.bg

Секционните доклади ще бъдат с продължителност 30 минути.

Пленарните доклади ще се публикуват в списание „Български физически журнал”, а секционните – на диск (supplement). Обемът на всеки доклад ще бъде до 8 страници. Допълнително доклади на български език ще могат да бъдат публикувани в списание „Светът на физиката”.

Резюмета на докладите (както и тези за студентската сесия) да се изпращат по e-mail на председателите на секции до 01 юни 2013 г.

Такса за правоучастие:

до 1.06.2013 г.: за членове на СФБ – 40 лв., за нечленове – 60 лв.;

след 1.06.2013 г.: за членове на СФБ – 50 лв., за нечленове – 70 лв.

**НА ВНИМАНИЕТО НА БЪДЕЩИТЕ ВЕЛИКОДУШНИ И ЩЕДРИ
СПОМОЩЕСТВОВАТЕЛИ НА СП. СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА**

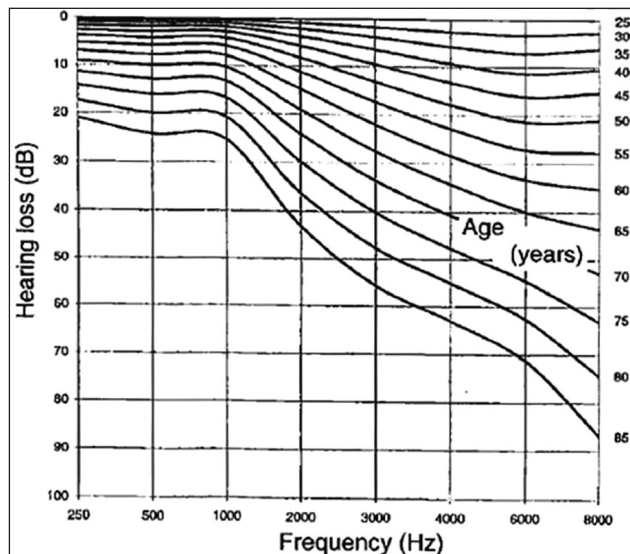
БАНКОВА СМЕТКА НА СФБ
BG82CREX92601013508300
BIC: CREXBGSF
ТОКУДА БАНК АД

ЗАСТАРЯВАЩИЯТ СЛУХ

Дж. Херманс

Ако сте, да кажем, до 35-годишна възраст, бихте могли да спрете да четете – не би трябвало да имате причини за безпокойство за вашия слух. Обаче за много от нас, които сме малко по-възрастни, от време на време може да възникват някои неудобства, свързани с чувствителната загуба на слух. И както се оказва, тази загуба е най-драматична там, където е и най-неприятна – в режима на високите честоти.

Нека първо да погледнем данните. На фигурата са показани данни за намаляването на слуха като функция от честотата за голяма група хора на различна възраст (по данни на Dr. Jan de Laat, Leiden University Medical Center). И наистина, вече при 60-годишна възраст загубата на високочестотните тонове е стряскаща – над 35 dB при 8 kHz, нараствайки с възрастта с по около 10 dB на всеки 5 години. Като достигнем 80-годишна възраст, ние ще бъдем практически глухи за честоти 8 kHz и по-високи.



Защо е толкова голяма загубата на слух при високите честоти? Като си слушаме музикалната уредба вкъщи, без проблем можем да повишим високите честоти за компенсация. И в разговор с някого също няма да имаме проблеми. Така е, докато стане дума за разговор по време на коктейлно парти. И тогава забелязваме, че фоновият шум влошава нещата.

Един аспект, който тук играе роля, са съгласните звуци като п, т, к, ф и с. Те съдържат предимно високочестотна информация и следователно могат лесно да бъдат маскирани или да се сбъркат с други.

Друг аспект е ролята на звуковата локализация при разграничаването на един разговор от фоновия шум (понякога това се нарича „ефект на коктейлното парти“). Ние сме доста добри в локализирането на звука – с точност до 1-20, ако е пред нас (вж. W. M. Hartmann in Physics Today, November 1999, p.24 ff).

За това използваме два механизма. Първо, като използваме фазовата разлика, или разликата във времето на пристигане на сигнала в двете уши – времевата разлика между двете уши (ITD). Разбира се, информацията е еднозначна само ако дължината на вълната е голяма в сравнение с разстоянието между ушите ни. Следователно този

механизъм е ефективен само при по-ниските честоти, да кажем, под 1,5 kHz. Обаче в обикновените стаи и зали често преобладава отразеният звук особено с ниски честоти. Така е, защото звуковото поглъщане намалява с намаляване на честотата за почти всички отразяващи повърхности. В резултат на това механизмът, основан на ITD, става ненадежден в такива ситуации и ниските честоти не могат много да ни помогнат за пространственото изолиране на един разговор от шумовия фон.

За щастие, имаме и втори механизъм, който използва разликата в интензитетите между двете уши на звук, идващ от страни – разликата в нивото на интензитета между двете уши (ILD). Да си спомним, че дифракцията на звуковите вълни става ефективна, когато тяхната дължина на вълната е по-къса от размерите на главата ни. Така да се каже, главата ни хвърля сянка. Следователно механизмът ILD работи добре примерно над 3 kHz.

Уви! Да погледнем графиката – високочестотната област е тази, при която с възрастта се появяват проблемите. Така че механизмът ILD също не работи много добре. В края на краищата, може да се наложи да правим това, което глухите хора правят наоколо – да използваме очите си и да гледаме говоренето...

Превод: **Ренна Дюлгерова, Младен Матев**
от Europhysics News, N 1, Vol. 36, 27

**Посетете нашия сайт
WOR.COINTECH.NET**

**На него можете да откриете всички списания на
СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА от 1991 г. досега**

ПРЕЗАРЕЖДАНЕ С ГОРИВО

Дж. Херманс

Когато шофираме по магистралата, обикновено не мислим как ще изглежда движението по пътищата след края на ерата на изкопаемите горива. Как ще се придвижват по най-бърз начин нашите пра-пра-внуци? Вероятно не с автомобил, задвижван с бензин. А може би с кола, задвижвана изцяло с електричество? Или с водородна кола, задвижвана от горивни клетки? Или ще използват някакъв вид синтетично течено гориво като енергоизточник на техния двигател? Нещата още не изглеждат много ясни.

Да приемем за момент, че ще се използва изцяло електрическа кола. Вярно, има проблем с теглото на акумулаторите. Дори с най-добрите типове акумулатори, които сега съществуват, теглото на нашата кола приблизително се удвоява, ако искаме да носим акумулатори с енергиен еквивалент на около 50 литра бензин. Но нека да бъдем оптимисти и да приемем, че ще сме в състояние да подобрим плътността на енергията на акумулаторите с още един порядък. Това би направило допълнителното тегло на акумулатора твърде приемливо. Някой може да си помисли, че проблемът е решен. Но сега пък възниква нов, интересен аспект. Какво става с презареждането с гориво? Когато трябва да се придвижваме с нашите съвременни коли на големи разстояния, например през отпуските, презареждането с гориво е проста работа. Можем да го направим например, докато си изпием кафето в кратка почивка. Сега да разгледаме случая с електрическата кола. Да допуснем, че акумулаторите ни са изтощени и е късен следобед. За щастие, нашият хотел е наблизко. Няма нужда да ходим до бензиностанция, защото в хотела има електрозахранване и за удобство ние ще платим за електричеството като част от хотелската сметка. Но колко дълго ще трябва да се зареждат акумулаторите, ако на следващия ден искаме да изминем още 700 km?

Да направим една бърза сметка. Един стандартен електрически контакт позволява максимален ток 16 A, без да изгорят бушоните. При захранване 220–230 V това дава мощност например 3.5 kW.

Сравнете това с мощността на среднестатистическа кола, движеща се по магистрала. Тя използва около 15 kW, което е около 4 пъти по-голяма мощност.

Заключението е, че ще трябва да зареждаме акумулаторите приблизително по 4 часа за всеки час шофиране. Тъй като, да кажем, искаме на следващия ден да шофираме 7 часа, ще трябва за тази цел да зареждаме 28 часа.

Така че, ако нашият пра-пра-внук иска да кара електрическа кола, най-добре ще бъде да си избере хотел, специално оборудван за бързо нощно зареждане. И да станат много добри приятели със собственика на хотела. Иначе най-добре да забрави за ранното си отпътуване на другата сутрин.

Предвид този резултат, интересно е да изчислим енергийния поток, вливащ се в

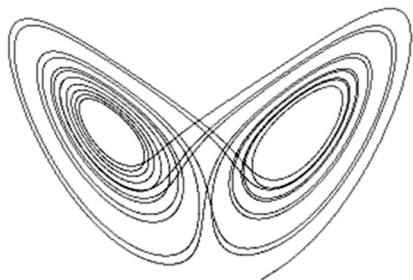
нашата съвременна кола, когато зареждаме резервоара ѝ с бензин. Оказва се, че ние го пълним с около 0.6 литра бензин в секунда. При топлина на енергоотделяне при изгаряне около 35 MJ на литър, това означава вливане на горивен енергиен еквивалент от 21 MJ/s или 21 MW (!). Ако приемем, че тази енергия се преобразува в електрическа с коефициент на преобразуване 1/3, това прави около 7 MW. Това е 2000 пъти по-бързо от презареждането на акумулатори от един стандартен електрически контакт, както се видя по-горе.

И така, ако нашите пра-пра-внуци се замислят за тези числа, докато си карат по магистралата, много е възможно, поглеждайки назад към нас и нашата епоха на петрола, да си помислят: „Ей, онези са били големи късметлии...”.

Превод: **Ренна Дюлгерова, Младен Матев**
от Europhysics News, N 1, Vol. 39, 29

Броеве на Списание СВЕТОТ НА ФИЗИКАТА можете да си поръчате и на електронния магазин на сайта на списанието:
<http://wop.cointech.net/bg/archive.php>

Въведение към тазгодишното „ЧЕТИВО С ПРОДЪЛЖЕНИЕ”



„Някаква твърде малка причина, която се изплъзва от нашето внимание, води до значителен ефект, който ние неизбежно забелязваме. И тогава казваме, че ефектът се дължи на случайността.”

Анри Поанкаре

(Епиграфите към отделните части са подбрани от преводача мисли на Поанкаре)

Годината 2012-а бележи стогодишнината от смъртта на Анри Поанкаре – ученият, чиито открития пронизват цялото съдържание на книгата, която тази година ще бъде представена в рубриката *Четиво с продължение*. По случай тази годишнина френският институт „Анри Поанкаре” организира заедно с родствени институти поредица от прояви през 2012 г. На 19 септември 2012 г. Седрик Вийани, директор на института „Анри Поанкаре”, професор в Лионския университет и носител на Фийлдсов медал за 2010 г., изнася публична лекция, в която между другото казва: „Обхватът и разнообразието на приносите на Поанкаре са толкова големи, че пълното им представяне не би имало край. Като един от последните учени, владеещи всички клонове на математиката, той заедно с това е физик, инженер, астроном и философ... Поанкаре изпълщава универсализма, към който съвременната наука така силно се стреми”.

Кратко за предисторията на настоящата книга. Първоначално неин автор е само Флорин Диаку – румънец, който малко преди събитията в Източна Европа през 1989 г. емигрира в Германия и в Хайделбергския университет защитава докторат, а през 1992 г. се установява в Университета на Виктория, Западна Канада, където преподава математика. В началото на 1994 г., когато вече е готов първият вариант на неговата книга за хаоса, Флориан Диаку се среща в Корнелския университет с американския математик Филип Холмс, специалист по динамични системи. Съчетавайки областите на небесната механика и на динамичните системи, двамата написват настоящата книга като полупопулярно изложение на математическите основи на тези две области.

Повечето герои на книгата са известни в научния свят като математици: Кеплер, Нютон и Поанкаре (Гл. 1. „Голямо откритие – плюс грешка”); Джордж Биркхоф, Стивън Смейл и др. (Гл. 2. „Символична динамика”); Пол Пенлеве, Хуго Цайпел, Чарлз Конли и др. (Гл. 3. „Стълкновения и други сингулярности”); Жан д’Аламбер, Пиер Симон Лаплас, Жозеф Луи Лагранж, Симеон Поасон, Александър Ляпунов и др. (Гл. 4. „Устойчивост”); София Ковалевская, Карл Вайерштрас, Андрей Николаевич Колмогоров, Юрген Мозер, Владимир Игоревич Арнолд и др. (Гл. 5. „Теорията КАМ”). Би било обаче твърде недалновидно – и дори глупаво – да отделяме математическите теории от физическите, заради това че в едните се доказват теореми за съществуване, а в другите съществуването се доказва в лабораторни условия.

За откриването на хаоса принос имат още много други освен изброените горе учени. Това откритие става в резултат на сливането на три отделни развития. Едното е преминаването от изучаването на простото поведение, каквито са повтарящите се цикли, към по-сложното. Второто е навлизането на компютрите, които направиха възможно лесно и бързо да се намират приблизителни решения на динамичните уравнения. (Именно по този начин американският метеоролог Едуард Лоренц открива през 60-те години на XX в. т.нар. *странен атрактор* – математическия образ на динамичния хаос; виж картинката при епиграфа.) Третото е новият математически възглед за динамиката – геометричен на мястото на числения. Първото развитие създаде мотивацията, второто – методиката, а третото – разбирането. Геометризацията на динамиката е започната от Нютон, XVII век, и е развита за сложното поведение на три и повече гравитационни маси от Поанкаре (края на XIX век).

Тук би било уместно да отбележа, че в книгата намираме 4 цитата на статии от българския физик теоретик Георги Манев (публикации през 1924, 1925, и 1930 г.). В текста, съпровождащ тези статии (с. 207 в оригинала), четем следното:

„Заслужава да отбележим някои неотдавнашни резултати, основани върху гравитационния модел, предложен от българския физик Манев (1924, 1925, 1930a, 1930b). Тези резултати показват, че в посочения модел множеството от начални данни, водещи до стълкновения, има положителна Лебегова мяра. Моделът на Манев представлява в определен смисъл релативистично приближение и води до добро съгласие с наблюдаваните астрономични явления. Айнщайн използва този модел в опростен вид, за да получи релативистично приближение и да докаже, че движението на перихелия на Меркурий може да се изчисли с голяма точност. Това показва, че стълкновенията във Вселената може да не са съвсем невероятни”.

Една последна бележка относно подбора на преводния текст. В досегашната практика този (повярвайте ми, много труден) подбор обхващаше цялата книга и така създаваше пълна представа за нея. Подборът се правеше така, че читателят да не се натъква на неясни пасажки и неразбираеми прескоци в изложението. В тази книга обаче водещата нишка принадлежи на математиката. А тя, както знаем, не търпи прекъсване на логическата верига. Самите автори посочват онези раздели (главно математически, от областта на топологията), които на първо четене могат да бъдат прескочени, а после читателят да им посвети особено внимание. Но това означава цялостно прочитане на книгата, което тук не можем да предложим. Затова предлагаме превода на почти цялата първа глава и на избрани откъси от следващите глави, с което представяме зараждането на идеите на динамичния хаос в трудовете на Поанкаре по небесна механика и топология и тяхното продължение в днешно време. Така открехваме вратата към този увлекателен раздел на съвременната математическа физика и надяваме се, възбудяме апетита на читателя за по-нататъшно навлизане в просторите на тази бурно развиваща се интердисциплинна тематика.

Намирането на подходящ текст за рубриката *Четиво с продължение* не е лесна задача. Тази година текстът за рубриката беше предложен – и набавен – от колежата Георги Граховски. За което сърдечно му благодарим.

М. Бушев

СРЕЩИ В НЕБЕСАТА

Произход на хаоса и устойчивостта

Флорин Диаку и Филип Холмс

Част първа

Гл. 1. ГОЛЯМО ОТКРИТИЕ – ПЛЮС ГРЕШКА

Анри Поанкаре отмести стола си и стана. Трябваше малко да се поразходи. Беше хубав пролетен следобед: звуците и ароматите, нахлуващи през отворения прозорец на кабинета му, го правеха спокоен и необяснимо оптимистичен. Нямаше никаква външна причина да се чувства окрилен, тъй като работата му като че ли беше стигнала до пълен застой. Как да повярва на онова, което неговите изчисления му показват? Макар че всяка стъпка от разсъжденията следваше логично от предишната – в крайна сметка той сам ги беше построил и многократно ги беше проверявал, – не можеше да ги разбере в тяхната цялост. Беше се заловил с проблема преди десет години и често се беше връщал към него, но все още му липсваше цялостната картина. А без нея не би могъл да завърши последната глава на книгата си.

Понякога краткото прекъсване на работата помага да се преодолеят такива препятствия. Трябва да се поразтърче навън. Няма значение в каква посока. Важното е да освободи ума си и да се взре в заобикалящия го свят. Париж от края на XIX век е очарователна смес от паркове, история, културни паметници и романтика, такъв е останал и до днес. Докато се разхожда, щеше да види много неща и много неща да премисли. След час или два щеше да се завърне ободрен при бюрото си.

При всичките си необикновени дарби Поанкаре живееше като обикновен парижки гражданин от средната класа. Неговите познати и колеги виждаха в него уважаван професор и член на общността, любящ съпруг и грижлив баща. Само той знаеше колко трудно му беше да дели времето си между преподаването, административните задължения и семейството.

Разходка из Париж

Жюл Анри Поанкаре е роден на 29 април 1854 г. в Нанси, където баща му е бил уважаван лекар. Нанси е град в Североизточна Франция на около 250 километра източно от Париж, на река Мьорт и канала Марн-Райн. В миналото в Нанси се е намирала резиденцията на херцозите на Лотарингия, а сега там се помещава администрацията на департаментите Мьорт и Мозел. И двамата родители на Анри са от Лотарингия и затова семейството Поанкаре живее известно време в тази област. Един от предшествениците, Жозеф Гаспар Поанкаре, е преподавал към края на XVIII в. математика в близкия колеж на Бурмон.

Тази далечна връзка с математиката не е подготвила семейството за появата на

Поанкаре. Преждевременно развитото дете бързо надминава съучениците си по всички предмети. Френско-пруската война прекъсва образованието му, но по време на окупацията, от 1870 до 1873 г., Анри бързо усвоява немски език, без да е получавал уроци. Интересът му към математиката се проявява, когато е на петнайсет години. Когато някаква задача поглъщала вниманието му, никакъв шум или движение в стаята не можели да отвлекат вниманието му.

През 1873 г. Поанкаре завършва като първенец на класа и постъпва в престижното Политехническо училище в Париж, където слуша лекциите по математика, без да води никакви записки. Първоначално е записан за специалността Минно дело и геофизика, но през 1878 г. се прехвърля в Парижкия университет и започва подготовка за получаване на докторска степен, която получава само след една година. В дисертацията си „Интегриране на диференциални уравнения с частни производни с няколко независими променливи” той разглежда сложен технически проблем. Този труд е последван от обилен поток от статии и монографии, които определят цели нови области в математиката, а на много други променя насоката. Любопитно е да се отбележи, че на кандидатския изпит по чертане в Политехническото училище той получава нулева оценка, поради което е приет по особен вид изключение. Човекът, който въвежда нов геометричен подход в динамиката, практически не е можел да нарисува една проста скица.

Започнахме тази глава с разказа за Поанкаре, който през пролетта на 1897 г. търси решение на труден проблем. Наближаващ 45-годишна възраст, професор в Парижкия университет и член на Академията на науките, той вече е известен и уважаван в интелектуалния свят. Публикувал е над триста научни статии и книги не само по математика, но също по физика и философия. Като един от последните научни „универсалисти” той оказва огромно влияние върху математиката и природните науки.

Поанкаре се наслаждаваше на разходката. Опитва се напълно да освободи ума си от мислите за математиката. Краката му сами го заведоха до Сена. При вида на Айфеловата кула той си спомни за нейното тържествено откриване по време на Световното изложение през 1889 г.

За неговата кариера тази година се оказва не по-малко важна, отколкото за кариерата на Гюстав Айфел, защото именно тогава Поанкаре получава учредената от краля на Швеция и Норвегия Оскар II премия за работата му върху динамиката на три тела, за която ще разкажем тук.



Анри Поанкаре

За това изложение Айфел построява най-високата конструкция в света. След повече от едно столетие тя се превръща за целия свят в символ на Париж. Парижани отначало не я харесали, а и в наше време много от жителите на този град не са във възторг от нея. Създава се впечатлението, че тази неземна творба потиска твърде много паметници, символизиращи по-изтънчена красота и притежаващи значително по-голяма архитектурна ценност. Но най-често туристът, който пристига във френската столица, най-напред се насочва към Айфеловата кула. Остров Ситè с катедралата Нотр Дам, Елисейските полета, оградени от Триумфалната арка и площада „Конкорд“, операта, градината Тюйлери и Лувърът, Монмартр и Латинският квартал остават в сянката на огромната кула. Стъпила на своите четири крака, тя дръзко се възвишава над хорските тълпи.

Фантазията и дързостта на Айфел са достойни за възхищение, но Поанкаре просто не може да възприеме подобно творение. С твърде солидна репутация като уважаван математик, като професор и като гражданин, той не може да поеме риска да излезе в подкрепа на противоречивата творба и така да си създаде неблагоприятна репутация в очите на съотечествениците си. От друга страна, в рамките на своята професия на математик подобна опасност за него не съществува. Без да е от значение колко изненадващ е резултатът от него краен резултат, щом като може да покаже, че всяко твърдение е резултат на логически разсъждения и изчисления, той с нищо не рискува да накърни репутацията си. В изобразителните изкуства, в архитектурата или в литературата, където оценката е субективна и важна роля играят неконтролируеми критерии, капризите на общественото мнение могат да разрушат нечия кариера. Много често това е въпрос на късмет. Понякога е въпрос на умениято (или на неумениято) да се улови подходящият социален и исторически момент. Но в математиката подобни неща се случват много рядко, при все че изборът на подходящ момент, случайностите и общественото настроение също могат да окажат, макар и не толкова забележимо, влияние.

Поанкаре е един от малцината учени от неговото време, които познават всяко постижение в математиката и могат да го изведат логически. В днешно време бурното развитие на изследванията и на информацията прави това невъзможно: всеки математик, а и всеки друг учен е затворен в своя ограничен свят и почти не познава проблемите извън собствената си област. Днес на най-важния математически форум – Международният математически конгрес, провеждан на всеки четири години, участниците понякога не разбират даже *заглавията* на докладите, които са във от тяхната специалност.

Продължавайки напред, Поанкаре се улавя, че в мислите си се връща към предишни учени и към шегите, които съдбата им е изиграла. Гаус, най-прославеният математик от първата половина на XIX век, се въздържа да публикува своето откритие на *Неевклидовата геометрия* от страх, че ще предизвика „насмешките“ на своите съвременници. Той знае, че те не биха могли да разберат защо се е отрекъл от „здравия смисъл“ на Евклидовите аксиоми. Няколко години по-късно Янош Бояй, млад трансилвански офицер, чийто баща също е изследвал този проблем, развива подобни идеи и за раз-

лика от Гаус, ги публикува. Бояй даже пише на Гаус по този въпрос. В своя отговор германският математик излага своите предишни резултати. И все пак именно Гаус е този, когото цитират много повече. По ирония на съдбата трудът на Бояй се ползва с малка известност и бива признат едва няколко десетилетия след смъртта му. И други примери изникват в съзнанието на Поанкаре: Галоа, който загива при дуел на двадесет и една годишна възраст, оставя след себе си кратка статия, която бива оценена по достойнство от Френската академия едва половин век по-късно. Днес *теорията на Галоа* представлява самостоятелна област на математиката.

Докато крачи по улиците на Париж по пътя към дома си, Поанкаре се връща към своя собствен проблем. Не е ли прекалено консервативен в подхода си към проблема? Не, той трябва да следва пътя на логиката. Мисълта му се насочва към гледката наоколо. И точно когато решава, че нищо не е постигнал със своята разходка, една мисъл го пронизва като светкавица. *Сега* той разбра. В съзнанието му изниква ярък образ на следствията от резултати, които е получил преди осем години: някои движения в ограничения проблем¹ на трите тела са неустойчиви. Неговите разсъждения и изчисления са напълно правилни. Но техните следствия са нещото, което той не може да приеме. Сега осъзнава, че проблемът, който иска да включи в книгата си, обобщаваща половината от неговите изследвания, фактически разкрива неочаквано и странно поведение. Той още не знае как да го нарече, а и не смее да надникне по-дълбоко в него, но знае, че пред него се е разкрила нова територия. Макар да е неприемливо за неговите ясни и праволинейни възгледи, той ще трябва да се примири с това ново нещо.

До края на тази глава ние ще опишем произхода на това плашещо видение. За целта ще трябва да надникнем в няколко области на математиката и природните науки, защото за изтеклите сто години беше открито не само названието на странното поведение, което се мярка в съзнанието на Поанкаре през онзи ден в Париж. То се превърна в нов начин на мислене. Наричаме го *хаос*.

Прозрението на Нютон

Какво се е случило в съзнанието на Поанкаре в онзи момент? За да го разберем, трябва да се върнем повече от две столетия назад, до средата на лятото на 1687 г., когато сър Исак Нютон публикува своя шедевър *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* (Математически принципи на природната философия). Главната цел на пътешествието в толкова отдалечено минало е да проследим ключовата за развитието на математиката и физиката идея за *диференциално уравнение*. Наченките на диференциалните уравнения са известни още към края на XVI век на шотландския математик Джон Нейпиър – съзателят на Неперовите логаритми (фамилното му име произхожда от ‘na pier’ [неподвластен], т.е. *свободен човек*). Обаче именно Нютон издига диференциалните уравнения до онова централно място, което те заемат в съвременната наука. Той не само показва как с тяхна помощ да се формулират физически задачи, но и създава основните математически инструменти, необходими за тяхното решаване.

Езикът на *Principia* е труден. Предлаганите от Нютон идеи трудно могат да се

разберат от неподготвен читател. Нютон даже споделя, че нарочно е написал книгата си по този начин, „за да се избави от заяжданията на хора, които нямат понятие от математика”. Основният принос на Нютон във физиката е идеята за връзката на гравитацията с динамичното поведение на Слънчевата система – нейната еволюция във времето. Преди Нютон се е смятало, че гравитацията действа само върху близки до земната повърхност тела. Като допуска, че силата на гравитацията се разпространява в цялата вселена, Нютон стига до извода, че движението на Луната, приливните ефекти и прецесията на равноденствията – всички те могат да бъдат обяснени с гравитацията. Изводите, до които Нютон стига в своята книга, му донасят признание и слава в целия научен свят.

При все че влиянието на *Principia* във физиката е огромно, по-далечните следствия, които продължават славата на този труд даже три столетия след публикуването му, се съдържат в неговите математически приноси. Тяхната сърцевина са *диференциалното* и *интегралното смятане* – области на математиката, върху които са основани практически цялата съвременна наука и техника. Тук трябва да посочим, че използваният от Нютон геометричен език е труден за съвременния читател, а приетият формализъм е този, който е предложен от Годфрид Лайбниц (с когото Нютон е имал тежък спор за научен приоритет²). Любопитно е, че предложеният от Поанкаре нов подход към диференциалните уравнения в известен смисъл е по-близък до духа на Нютоновия геометричен формализъм. Този подход би намерил по-добър прием в началното обучение на студентите, но все още не е намерил място в техните учебници.

В по-широк смисъл Нютон показва как да се строят математически модели, с чиято помощ могат да се описват много други физически процеси. Освен небесната механика – науката за движенията на небесните тела – той полага основите на теоретичната механика, с чиято помощ да бъдат обяснени и обединени наблюденията на Кеплер, Галилей и др. Подобно на аксиоматичния подход на Евклид в геометрията, теоретичната механика си поставя задачата да обясни множество различни явления с помощта на няколко основни закона. Централен за този подход е математическият анализ, който Нютон използва, за да създаде и изучи онези математически обекти, които днес наричаме *диференциални уравнения*. В следващия раздел ще предоставим на Поанкаре и Нютон кратко да обсъдят това понятие.

Език за природните закони

Математиката предлага особено полезен език, на който да се изразяват физическите закони, подобни на онези, които Нютон формулира за движенията на гравитиращи тела. Обаче тук трябва да внимаваме. В продължение на векове математиците са превърнали много от думите на обичайния език в свои специални термини и конструкции. Това усложнява нашата задача: понякога ние разбираме обичайния смисъл на дадена дума с всичките нейни значения, а в други случаи използваме само техническия или „математическия” смисъл. За да отбелязваме такава техническа употреба, тук ще курсивираме съответния термин или фраза.

Едно от най-полезните „изречения“ на този математически език е *диференциално уравнение*. Това е средство за съотнасяне на скоростите на изменение на *променливите*, описващи състоянието на една (физическа) система, и текущите стойности на тези същите променливи. За илюстрация ще вземем прост пример: падащо тежко топче. Ако пускаме топчето от прозорец, *състоянието* му във всеки един момент ще се определя от две *променливи*: положението му, или височината, h и скоростта му v . Тези величини са наречени променливи, защото се променят с времето t при падането на топчето и затова са *функции от времето*: $h(t)$ и $v(t)$. Основна предпоставка в нашето разглеждане е, че функциите h и v съществуват и могат да бъдат намерени като *решения* на съответните диференциални уравнения.

И двете посочени променливи са необходими, за да се определи състоянието на топчето. От Нютоновата механика знаем, че скоростта, с която се изменя импулсът на топчето, е равна на действащите върху него сили на гравитацията, въздушното съпротивление, вятъра и всичко, с което то се сблъсква при движението си надолу. Импулсът е производението на масата и скоростта, но тук масата не се променя, така че можем да кажем: *бързината, с която се изменя скоростта* – така нареченото *ускорение*, – умножено по масата, е равно на действащите върху топчето сили. (Това е основата на знаменитото уравнение $F = ma$, познато от средното училище.) На свой ред *скоростта* е точно *бързината, с която се изменя положението*. Като приемем, че топчето е достатъчно тежко и че влиянието на въздуха може да се пренебрегне, а също че по пътя му няма никакви препятствия, остава само действието на гравитационната сила. Съгласно Нютоновата теория на гравитацията близо до земната повърхност тази сила е равна на производението на масата m на топчето и на константа, която обикновено се означава като g . Така получаваме съотношенията:

бързина на изменение на положението = скорост;

бързина на изменение на импулса = гравитационната сила,

или в приетите днес кратки означения на Лайбниц:

$$dh/dt = v, \quad d/dt(mv) = -mg.$$

Първото уравнение е просто дефиниция на скоростта, а второто е израз на един от Нютоновите закони за движението. Означението d/dt има *смисъл* на „бързина на изменението“. (Нютоновото означение с точка над величината за бързина на изменението продължава да се използва във физиката и инженерството.) Отрицателният знак във второто уравнение означава, че гравитацията действа надолу, докато съгласнението е височината и скоростта да се измерват нагоре. Тъй като масата е постоянна и не се изменя с времето, тя може да бъде съкратена във второто уравнение. Както ще видим след малко, тези две съотношения еднозначно определят функциите h и v , след като веднъж сме задали техните стойности в момента $t = t_0$, когато топчето е пуснато.

Това е първото и последно диференциално уравнение, което ще срещнем тук, защото,

благодарение на развития от Поанкаре подход ние можем да дадем красиво геометрично представяне на уравнението и заедно с това да избегнем формулите. Когато наблюдаваме падащо топче, ние оценяваме неговите височина и скорост в някакъв момент от времето и бихме могли да предскажем в кой момент то ще падне на земята. В нашето възприятие на тези изменения положението, скоростта и времето са преплетени. За да ги разплетем, ние преминаваме от физическото пространство, в което топчето пада, към математическото *фазово пространство* или *пространство на състоянията*, в което представяме диференциалното уравнение, описващо движението. Фазовото пространство не е пространството на нашия тримерен свят – то служи само за графично представяне на величините, описващи състоянието на топчето. Горевидяхме, че състоянието на топчето се определя от положението и скоростта, които зависят от времето. Фазовото пространство разделя тези величини, като представя траекторията на топчето във вид на крива, описваща неговите положение и скорост във всеки момент от времето.

На Фиг. 1.1(a) хоризонталната ос представя височината, а вертикалната – скоростта. Тук фазовото пространство е равнината на страницата. Положителните скорости съответстват на издигане на топчето (когато е хвърлено нагоре), а отрицателните – на падането му. Стрелките сочат в посоката на растящото време. Ако топчето е пуснато от височина 20 m (точката a_0), то ще измине кривата $a_0 a_1$, за да падне на земята (0 метра) със скорост -19.81 m/sec . Ако топчето е пуснато от височина 25 m, то ще измине от b_0 до b_1 , за да се приземи с -22.15 m/sec . Хвърлено нагоре от земята със същата скорост ($+22.15 \text{ m/sec}$), то тръгва от b_2 и върви по точките b_2, b_o, b_1 , като първо се издига до 25 m, а после се спуска, следвайки същата траектория във фазовото пространство като тази на топчето, пуснато от тази височина. На Фиг. 1.1(a) *всички* възможни движения на топчето се изобразяват във вид на *семејство* криви. Тук думата „семејство“ означава, че всички криви се получават от едно и също диференциално уравнение.

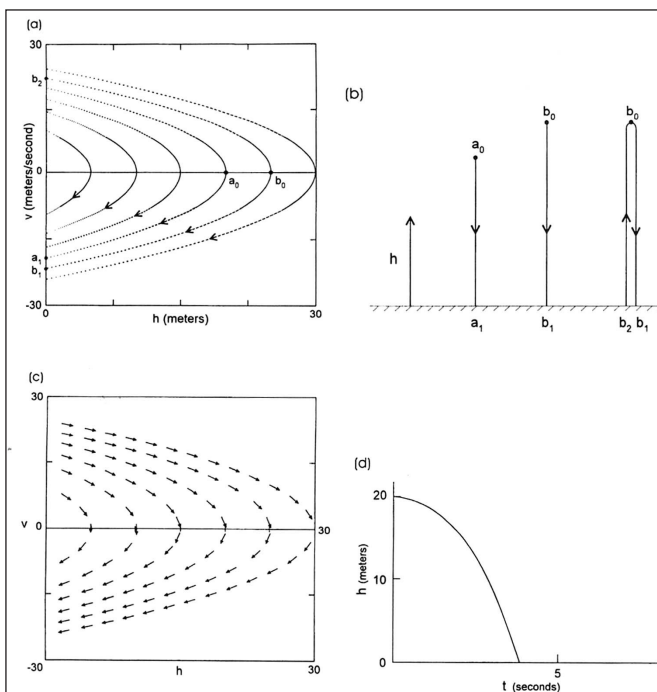
Тези криви във фазовото пространство представляват параболи – едно от коничните сечения, показани на Фиг. 1.5(c). Те обаче не трябва да се бъркат с параболичните траектории на топче, хвърлено под ъгъл във физическото пространство: всички движения във фазовото пространство съответстват на топче, падащо вертикално надолу или хвърлено вертикално нагоре и изминаващо една и съща траектория във физическото пространство; вж. Фиг. 1.1(b). Казваме, че системата има *една степен на свобода*, тъй като има само едно направление на движение и топчето е само едно. Всяка степен на свобода предполага наличието на две измерения във фазовото пространство: едно за положението, а второ – за скоростта. За да представим движението на топче, хвърлено под ъгъл, ще ни е нужно фазово пространство с 4 измерения: две за положението по вертикала и хоризонтала и две за съответните компоненти на скоростта – вертикална и хоризонтална. В този случай имаме *две степени на свобода*. За две топчета ще е нужно по-нататъшно удвояване на размерността на фазовото пространство, защото ще са ни нужни по две променливи за положението и за скоростта. Не е лесно да се направят четиримерни или с по-висока размерност картини, но все пак могат да се изведат някои от техните свойства.

Спираме за малко, за да отбележим, че диференциалното уравнение е възможно най-простият модел за тяло, хвърлено нагоре или падащо вертикално надолу. Така че Нютоновите закони успешно и много икономично обясняват знаменития (а вероятно исторически ненапълно достоверен) експеримент, в който Галилей пуска едновременно топки с различни маси от наклонената кула на Пиза и установява, че те всички стигат до земята в един и същ момент. Нека си спомним, че масата се съкращава във второто от горните уравнения: ускорението на падащото тяло не зависи от неговата маса. Но моделът не включва ефектите „от втори порядък“, например съпротивлението на въздуха. Подобно

на всички теории и модели, той дава идеализирана и опростена представа за реалността. Физиката съществува главно и предимно, защото учените са се научили как да пренебрегват несъществената информация и да се съсредоточават върху същността. Могат да се включат допълнителни ефекти, ако се окаже, че това е нужно. За да можем точно да предскажем движението на перце или на падащ лист, ние ще трябва да включим силите, с които въздухът, през който те падат, им действа.

Модели на реалността

Моделите играят централна роля в науката. При изучаване сложностите на генетиката биолозите прибягват до развъждането на цели поколения от дрозофили (винени мушички), за да изучават техните мутации. Дрозофилата служи като модел за други, по-висши организми. Учените се надяват, че тя съдържа ключови аспекти, така че нейната относителна простота ще позволи по-добре да се разберат общите принципи на генетиката. По същия начин диференциалните уравнения на Нютоновата механика предлагат *модели* на такива физически явления като падащи топчета или в по-глобален смисъл – на движението на планетите. Подобни модели предлагат *приближения* към реалните явления. Теорията на еластичността е в състояние да предскаже напрежението



Фиг. 1.1. (a) Двумерното фазово пространство на падащо топче; (b) някои съответстващи движения във физическото пространство; (c) векторното поле; (d) положението $h(t)$ като функция на времето

в подпорната конструкция на един мост с точност до няколко процента, но не всички модели са толкова точни: диференциалните уравнения, моделиращи невронните мрежи, представляват по-скоро метафора на реалната система. Метафората е литературно понятие, което е много подходящо като сравнение за нашия случай. В същия смисъл, в който поетът У. Х. Одън³ говори за „вторичните светове“ на живописца, музиката и литературата, и диференциалните уравнения обитават един вторичен, математически свят, посредством който ние се надяваме да разберем по-добре нашия собствен „реален“ свят. Като такива диференциалните уравнения се подчиняват на всичките правила на чисто математическия свят и за тяхното решаване могат да се използват всички негови инструменти и методи. Продължаваме да изследваме някои от тях.

Как са получени кривите на Фиг. 1.1? Чрез *решаване* или *интегриране* на диференциалното уравнение, което по-рано записахме във вербална и в символична форма. Както вече отбелязахме, за да постигнат това, Нютон и Лайбниц са изобретили интегралното смятане. Посредством интегрирането уравненията, които свързват скоростите на изменение на различните величини във формули, изразяващи положенията и скоростите на топчето във всеки момент от времето: така получаваме описаните по-рано функции h и v . Грубо казано, за да получим стойностите $h(t)$ и $v(t)$ след изтичането на краен интервал от време, ние сумираме (интегрираме) всички безкрайно малки изменения, които стават за това време. Сега ще опишем този процес от гледна точка на геометрията.

Изразът за бързината на изменението много резултатно приписва на всяка точка от фазовото пространство по една стрелка, която със своята дължина сочи големината, а с ъгъла си – посоката, с които стават измененията на местоположението и скоростта. Съвкупността от всичките тези стрелки, наречени вектори, образува *векторно поле*; вж. Фиг. 1.1(с). За да решим диференциалното уравнение, изхождаме от дадена точка, например a_0 , очертавайки крива, която във всяка своя точка е *допирателна* към векторното поле, определено от това диференциално уравнение. Заставайки върху равнината на фазовото пространство, можем да си представим как правим крачка в посоката на вектора, който е под краката ни, на разстояние, пропорционално на неговата дължина. После повтаряме същия процес за вектора, намиращ се в крайната точка на крачката ни, и т.н. Ако правим все по-малки крачки, а техният брой съответно нараства, описаният по този начин многоъгълник все повече се приближава до гладка крива.

Така, подобно на вятъра, който оставя спомен за себе си с наклонените класове на житната нива, или на речния поток, който носи пяна и съчки на повърхността си и така оставя белези за движението си, векторното поле води отделните решения на диференциалното уравнение, започващи във всяка точка на фазовото пространство, до образуването на цялостен (глобален) *фазов портрет*. Получената пълна картина представлява *пълното решение* или *потокът* на диференциалното уравнение. Траекториите, изобразени на тази картина, се наричат *криви на решението*, *орбити* или *траектории*. Фамилията от параболи на Фиг. 1.1(а) представлява пример за общо решение. Занапред ще срещнем още много такива. Накрая траекторията във фазовото

пространство може да се представи и като функция от времето: графика, показваща височината на топчето във всеки момент от времето; вж. Фиг. 1.1(d).

Нютон е сметнал това свое откритие за толкова важно, че го е публикувал във вид на анаграма, която в дешифриран вид гласяла: *Data aequatione quotcumque fluentes quantitaе involvente fluxiones invenire et vice versa*, т.е. „Ако са известни уравненията, съдържащи произволен брой текущи величини, то потокът може да бъде определен и обратното”. Това е израз на връзката между диференциалните уравнения и геометричния образ на потока. Думата „поток” напомня Нютоновия термин *текущ*, който той използва за динамично променяща се величина; бързината на изменение, която днес наричаме *производна*, той е наричал *флюксия*.

Да решим едно диференциално уравнение, означава да намерим неговото общо решение – неговия поток. Понякога за тази цел е нужна само една крива, започваща от определена точка, например от точката a_0 на Фиг. 1.1. Тогава казваме, че сме решили *задача с начално условие* за диференциалното уравнение. Именно такъв подход е приет в учебниците по анализ: в задачата се очаква студентът да намери формула, определяща променливите на състоянието (положение и скорост) във всеки момент от времето, ако са дадени конкретни начални стойности на положението и скоростта. За съжаление, класът на уравненията, които могат да бъдат решени в явен вид, т.е. да бъдат намерени съответните формули, е твърде малък. (По този въпрос повечето учебници по анализ запазват мълчание: хората не харесват да чуват, че методът, за чието усвояване са положили толкова труд, в крайна сметка се оказва не особено полезен!) Обратно на това, в геометричния подход на Поанкаре ние търсим качествените свойства на решението, *без да питаме каква е формулата, представяща това решение*. Тези качествени методи са приложими за значително по-широк клас диференциални уравнения.

Но преди всичко ние трябва да се убедим, че решение съществува, т.е., че променливите на задачата действително могат да се представят като функции от времето даже ако не можем да намерим явните формули за тях. В някои случаи може да не се получи гладка крива, във всяка точка на която да съществува допирателен вектор, принадлежащ към дадено векторно поле. Векторите даже може взаимно да си „противоречат”, така че да не е възможно да се движим по стрелките по непрекъснат начин. При такива обстоятелства *свойството съществуване* е нарушено и няма никакъв смисъл да се изучават несъществуващи обекти. Може също така да се случи, щото през дадена точка да се прокарат две или повече гладки криви, притежаващи допирателни вектори във всяка своя точка, като векторите все пак се взимат само от векторното поле, определено от даденото диференциално уравнение (вж. кривите r_{-1} до r_1 и s_{-1} до s_1 на Фиг. 1.2). В този случай казваме, че не е удовлетворено *свойството еднозначност*.

Въпросите като тези за *съществуване* и *еднозначност* са фундаментални за теорията на диференциалните уравнения. Един широк клас от векторни полета действително удовлетворява както свойството съществуване, така и свойството еднозначност и този клас включва почти всички онези, които моделират физически процеси. Благодарение

на този щастлив факт физиката притежава впечатляваща предсказвателна мощ. Да си представим за момент какво би станало, ако свойството еднозначност не се удовлетворява от задача с начални условия, моделираща процес в ядрен реактор. Тогава за дадени начални условия не би могло да се определи какъв тип реакция протича – безопасна, водеща например до равновесие при желаните условия на работа, или опасна, която би могла да предизвика ядрена катастрофа. В нашия по-скромен пример с падащото топче модел, който не е способен да предскаже от началното положение и началната скорост на топчето неговата траектория или времето на полета му, няма да е от особена полза.

Нещата, разбира се, не са така прости, както могат да се сторят от пръв поглед. Диференциалните уравнения предлагат модели в такива различни области, каквито са физиката, химията, биологията, социологията, икономиката и психологията. Тяхното поведение може много да се различава. Даже основните въпроси за съществуване и еднозначност, макар да не са трудни за някои класове от уравнения, за други остават неизяснени. Така например за *уравненията на Навие–Стоукс*, които моделират движението на несвиваема течност, каквато е водата, в тримерното физическо пространство, все още не е изяснено дали удовлетворяват свойството *глобално съществуване*. Въпреки че сме открили много от свойствата на техните *възможни* решения, ние все още не знаем дали тези решения съществуват като напълно общи.

По такива въпроси между математиците и физиците съществуват известни спорове. Последните обикновено много не се безпокоят относно въпросите за съществуване. За тях едно уравнение е преди всичко средство за получаване на онези свойства на решенията, които са необходими за разбирането и предсказването на физически явления. Това е съвсем разумно и естествено. Но математиците се интересуват на първо място от съществуването и еднозначността и те продължават да изучават свойствата на решенията едва след като са изяснили тези въпроси. Техните съображения също са ясни. Те се интересуват главно от математическите обекти и затова се отнасят внимателно към неща, които могат и да не съществуват. (В света на математическата логика *всяко едно* твърдение относно такива обекти е вярно, тъй като то е основано върху нещо, което не съществува.) Като пренебрегваме такива фундаментални въпроси, ние можем да завършим с грешни физически изводи. Все пак за случаите като този с уравненията на Навие–Стоукс, които представляват добре установен модел, специалистите нямат особени съмнения, че решенията наистина съществуват, и повечето от тях вярват, че някой ден въпросът за съществуването ще бъде изяснен. При това могат да се проявят някои изтънчени свойства на решенията с непознати до този момент физически следствия. А дотогава най-вероятно ще бъде разумно да *предполагаме*, че съществуват решения, и да използваме времето си за изучаване на техните свойства, които са перспективни за приложения.

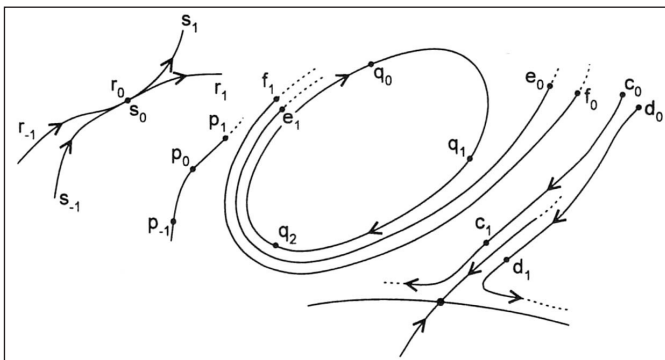
Подобни въпроси изискват усилията както на математиците, така и на физиците. Те са централни за *приложната математика* – област със зле дефинирана граница, лежаща между *чистата математика* – неземното царство на аксиомите и теоремите

– и реалния неподреден свят, в който живеем. Специалистите по приложна математика се занимават преди всичко с построяването и анализа на математически модели. Най-добрите работи в тяхната област свободно приминават от практическите приложения към чисто математическите въпроси и обратно – един истински „технологичен трансфер“ между реалния и вторичния свят.

По-рано споменахме понятието *глобално съществуване*. За да го изясним, нека си спомним, че всяко решение, изобразено от кривите на Фиг. 1.1(а), се образува от движението на точка, представляваща състоянието на системата. Глобалното съществуване означава, че кривата е дефинирана за всеки един момент от миналото, настоящето и бъдещето. Това не означава непременно, че траекторията идва от безкрайност и се връща в безкрайност във фазовото пространство. Тя може да бъде затворена крива, по която състоянието обикаля безкраен брой пъти, повтаряйки траекторията си отново и отново, както е показано със затворената крива q_0, q_1, q_2 на Фиг. 1.2. Това е пример за *периодична орбита*. Може би най-познатите примери за такива движения са годишната обиколка на Земята около Слънцето и месечната обиколка на Луната около Земята.

Противоположно на понятието *глобално съществуване* е това за *локално съществуване*. То означава само това, че кривата съществува през някакъв кратък интервал от време около началния момент (например малката отсечка $p_{-1}p_1$ около p_0 на Фиг. 1.2 се пресича от решението в толкова кратък интервал от време). Диференциалните уравнения на небесната механика, които по-нататък ще разгледаме, изобщо казано, удовлетворяват хипотезите за локално съществуване, но както ще видим в Глава 3, глобалното съществуване невинаги е валидно за тях. Глобалното съществуване подразбира локално съществуване, но обратното не е задължително вярно.

Друго важно свойство, на което се опираме, е *непрекъснатостта на решенията относно началните данни*. Грубо казано, това означава, че траекториите с близки начални условия (данни) остават близки една до друга поне за известно време; вж. кривите c_0, c_1 и d_0, d_1 на Фиг. 1.2 с близки начални условия c_0 и d_0 . Това свойство е валидно също така за диференциалните уравнения. Обаче ако поискаме глобално дефинирани решения с близки начални условия да останат взаимно близки през *цялото* време, тогава ние изискваме едно доста рядко свойство, наречено *устойчивост*; вж. кривите e_0, e_1 и f_0, f_1 на фигура 1.2.



Фиг. 1.2. Още едно двумерно фазово пространство, илюстриращо липсата на еднозначност, на локално и глобално съществуване, на непрекъснатата зависимост от началните условия и на устойчивост (вж. обясненията в текста)

Устойчивостта също е фундаментално понятие при изучаването на диференциалните уравнения. Тя възниква от традиционната задача на небесната механика – задачата за устойчивост на Слънчевата система – и е системно развита в трудовете на Александър Ляпунов в края на XIX в. В Гл. 4 ще обсъдим по-подробно това понятие.

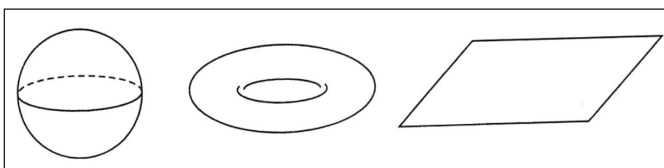
Дотук почти всички наши примери и обяснения се отнасяха до двумерното фазово пространство – равнината. Ако се ограничаваме с две променливи на състоянието за всяка задача, няма да отидем много далеч. За щастие, диференциалните уравнения могат също така да бъдат дефинирани в по-общи, „абстрактни“ пространства. Разширението се отнася не само до повече от две измерения – то може да бъде продължено така, че да включва абстрактни геометрични обекти, наречени *диференцируеми многообразия*. Първото естествено разширение е преминаването към тримерно пространство. За него може да се формулират всички дефиниции и изводи относно съществуване, еднозначност и непрекъсната зависимост на решенията на диференциалните уравнения в равнината. Ние можем да правим обобщения за пространства с по-голям брой измерения: четири, пет и даже 7,058 измерения. Няма значение колко голям е броят на измеренията, стига този брой да е крайно число. Такива пространства се намират отвъд нашето физическо въображение. Ние не можем да си представим даже четири- или петмерни обекти, но по аналогия с размерностите едно, две и три успяваме да направим някои полезни изводи относно тях.

Изучаването на такива високоразмерни фазови пространства не е просто игра, измислена от математиците. Може да изглежда парадоксално, но повечето динамични проблеми, възникващи във физиката и техниката, по-лесно се решават във фазови пространства с повече от три измерения или в диференцируеми многообразия. По-рано посочихме, че за да се опише състоянието на топче, хвърлено под произволен ъгъл, са необходими четири измерения: две за компонентите на местоположението и две за компонентите на скоростта. За да опишем състоянието на пръчка, която при хвърляне във въздуха многократно се преобръща, ще са ни нужни също така ъглови променливи, описващи нейната ориентация, както и свързаните с тях ъглови скорости. Най-простият модел за движението на един автомобил изисква около петнадесет положения и още толкова скорости, за да се опишат относителните движения на купето, колелата и окачванията – фазово пространство с тридесет измерения. При движението на топчето, пръчката и автомобила по техните траектории в нашия тримерен свят техните математически модели еволюират в пространства на състоянията с неземен брой измерения.

Световете на многообразиата

Какво е *диференцируемо многообразие*? Отново да започнем с две измерения. Двумерното диференцируемо многообразие е геометричен обект, чието локално приближение е част от равнината, подобна на облицовка с фаянсови плочки, при която малките плочки гладко описват закривените повърхности. Пример за такова двумерно многообразие е повърхността на сфера: около всяка точка може да се намери малка околност, която може приблизително да се представи във вид на плоска област. (От гледна точка

на математиката *сферата* без вътрешното кълбо е двумерна повърхност.) Макар че нашата планета е кълбовидна, ние обикновено я възприемаме като плоска повърхност и нашите локални пътни карти са основани именно върху това удобно приближение. Действително на хората са били нужни хиляди години, преди да разберат, че Земята ни е плоска. Друг класически и също така важен пример за двумерно многообразие е *торът*⁴ – математическото название за повърхността на геврек. Околността на всяка точка от тора също може да се представи приблизително с малка част от равнина. В локален смисъл торът, сферата и равнината са неразличими: за да схванем тяхната закривеност и глобалната им структура, ние трябва „да излезем вън от тях”. (Опитайте се да си представите как една извънземна цивилизация, обитаваща тороидална планета, би могла да установи този факт.) На Фиг. 1.3 са показани тези три познати примера. Можете ли да посочите и други такива примери? Терминът „диференцируемо” означава, че въпросното многообразие е гладко и следователно върху него може да се прилага (диференциалното) смятане.

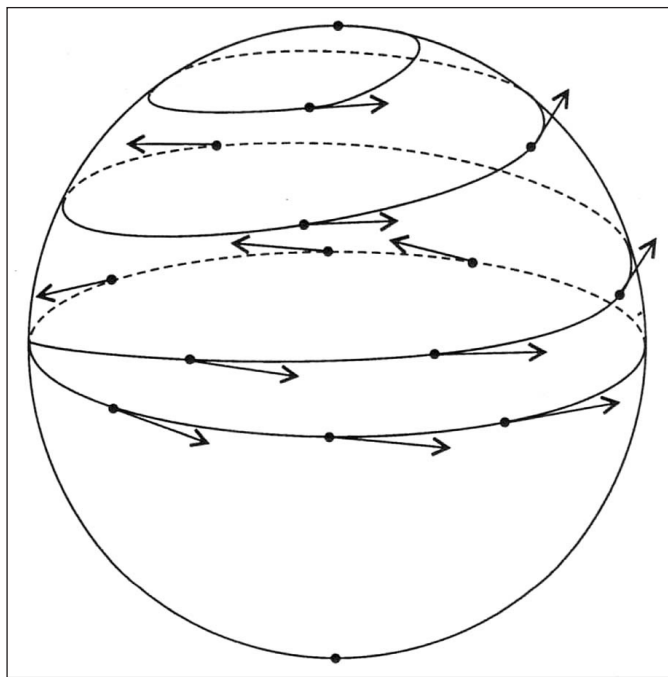


Фиг. 1.3. Сфера, тор и равнина

По същия начин може да се дефинира и k -мерно многообразие за всяко число k , по-голямо от две. Например ако k е равно на три, се изисква малко парче около всяка точка от многообразието да е подобно на малко парче от нашето обичайно тримерно пространство. Обърнете внимание, че в общия случай едно многообразие не може изцяло или *глобално* да се апроксимира с помощта на съответното *плоско* пространство, върху което то се моделира. Сферата не може да се разгърне върху равнина и в действителност тя се различава от последната: например сферата няма граници (няма краища), но въпреки това тя е крайна. Правите линии и равнините от гимназиалните уроци по геометрия, а също околното пространство на нашия ежедневен опит са примери за плоски или *Евклидови* пространства с размерност съответно едно, две и три.

Върху диференцируемо многообразие, каквато е сферата, може да се дефинира диференциално уравнение. Тогава векторното поле ще се ограничава от това уравнение. Това означава, че с всяка точка от сферата е свързан вектор, разположен в равнината, която е допирателна към сферата в тази точка. Да се реши задачата с начални условия върху сферата, означава да се намери гладка крива, имаща във всяка своя точка допирателен вектор, принадлежащ на векторното поле (вж. Фиг. 1.4). Векторните полета върху торове ще обсъждаме в Глава 5.

Вече видяхме, че за описването на физически ситуации може да се привлекат многомерни фазови пространства. Но защо ни е нужно допълнително очевидното усложнение на диференцируемите многообразия? Главната причина е в това, че използването им в действителност може да облекчи решаването на диференциалните уравнения, като се *съкрати* размерността на техните фазови пространства. Нютоновата



Фиг. 1.4. Векторно поле върху сфера и някои от кривите на неговите решения

механика разкрива изобилие от запазващи се величини или константи на движението: такива свойства на динамичните системи, които биха могли да се изменят, но в действителност запазват своите начални стойности през цялото време, докато системата еволюира. В това си качество те налагат върху променливите на състоянието неизменни (алгебрични) съотношения, като ги ограничават вътре в описваните от съответните алгебрични уравнения области на фазовото пространство. Като правило тези области са диференцируеми многообразия.

Добър пример за това е моментът на количеството на движение (кинетичният момент) на твърдо тяло – например превъртаща се при падането си твърда пръчка. От законите на Нютон за движението следва, че ако върху тялото не действат въртящи сили (ъглови моменти), големината на момента остава постоянна. Именно този ефект използва защитникът в играта на американски футбол, когато при подаване на топката той ѝ придава въртеливо движение, с което прави полета ѝ по-устойчив. За определянето на кинетичния момент на тялото в тримерното (физическото) пространство са нужни три компонента; да ги означим с a_1 , a_2 и a_3 . Ограничението на постоянната величина предполага, че $a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 = \text{const}$, а това е точно уравнението, което описва двумерна сфера в тримерно пространство. Уравненията за твърдо тяло може да се решават в това редуцирано фазово пространство, а не в по-голямото тримерно пространство на състоянията. В Глава 5 ще опишем по-подробно този метод на редукцията. И даже ако подобна редукция не е възможна за всички решения, някои частни множества от орбити може все пак да съществуват върху гладки многообразия с по-малки размерности, които поради това могат да послужат като „скелет“ за нашите опити да построим пълния фазов портрет.

Теорията на многообразиата съставя съществена част от *топологията* – онази област от математиката, която изучава свойствата на обектите, които се запазват при деформациите на *размера* или на формата. Не е случайно, че именно Поанкаре е един

от създателите на топологията или ”*analysis situs*”, т.е. учението за положението, както първоначално е била наречена. А сега, след като вече описахме някои от понятията в тази теория и в теорията на диференциалните уравнения, нека отново да се върнем към Поанкаре и да продължим опитите си да вникнем в неговите размисли.

(Florin Diacu and Philip Holmes. **CELESTIAL ENCOUNTERS** – *The Origins of Chaos and Stability*. Princeton Univ. Press. Princeton, New Jersey, 1996.
Chapter 1. **A Great Discovery – and a Mistake**)

Превод: М. Бушев

Бележки

1. Вж. текста към Фиг. 1.8. – *Бел.прев.*
2. Относно този прословут спор вж. книгата на H.G.Alexander, **The Leibniz – Clarke correspondence**. Manchester & New York, 1998, представяща началните етапи на спора с начало 1705 г., а после прераснал в епистоларния диалог между Лайбниц и ученика на Нютон, Семюъл Кларк от 1715 г. до 1716 г. (спрял поради смъртта на Лайбниц). Скоро предстои да излезе на български език антологията *Philosophia Naturalis*, в която са включени цялата тази кореспонденция и обстоятелствата около нея. – *Бел.прев.*
3. Уистън Хю Одън (1907–1973) – американски поет, роден в Англия.
4. Тор – от лат. *torus* – издатина, изпъкналост, възвишение, възел. – *Бел.прев.*

Присъединете се към групата на списанието във facebook –
<http://www.facebook.com/worldofphysics>
за да научавате веднага новините, свързани с физиката

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПОСТЪПВАЩИТЕ МАТЕРИАЛИ

Изпращането на статиите до редакцията става на адрес: worldofphysics@abv.bg с прикачени файлове. Получаването на файловете се потвърждава с обратен и-мейл. При условие че не сте получили потвърждение до 10 дни, съществува възможността Вашата статия да не е получена и следва да изпратите файловете отново.

Редакционната колегия може да откаже да публикува или да върне за неизбежни корекции статиите, които по преценка на представящия редактор или главния редактор не отговарят на основните изисквания за научност, оригиналност и стил на изложението.

Материали, които вече са публикувани някъде или са под печат в друго списание, няма да бъдат публикувани.

Публикуването на представените материали се определя от препоръките на рецензентите.

Редакторите могат да редактират ръкописите, когато това е необходимо.

Публикуването в това списание е безплатно за авторите.

УКАЗАНИЯ КЪМ АВТОРИТЕ

Статиите да не надхвърлят 10–15 страници (респективно снимки, фигури).

За текста и таблиците може да се използва Word или Writer.

1. Текстът да няма специално оформление (освен болдове, курсиви и главни букви):

– да е **без колони**, да няма **нищо в табличен вид** (освен ако не става въпрос за таблици);

– да няма табулации за нов ред;

– разделянето примерно на формула и след нея номер да става с табулация, а не с многобройни интервали;

– изобщо да не се използват интервалите като средство за някакво оформление.

2. Задължително целият текст да е **редактиран и веднъж коригиран** с нанесени корекции във файла (което означава внимателно прочетен, в резултат на което да няма печатни и правописни грешки).

3. **Бележките под линия** да не са оформени като footnote, а да са накрая на съответния материал.

4. **Фигурите** да са на отделен файл с отбелязано място в самия файл за местоположението им. Ако са сваляни от интернет, да бъдат с голям размер. Снимките и фигурите да са в Grayscale, резолюцията им да е поне 250 пиксела.

5. **За отстъп** при нов ред да се използва First line Indent, а не табулация. Отстъпът да е 1 см.

6. **Заглавието** на статията да е преведено на английски.

7. Материалът да е придружен с **информация за автора** (на отделен файл) – име, длъжност, месторабота, академично звание, научна степен, контакти.

8. **Използваната литература** трябва да съдържа литературни източници, които са достъпни за проверка.

**ИЗДАВАНЕТО НА НАСТОЯЩИЯ БРОЙ ОТ СПИСАНИЕТО ПРЕЗ 2012 Г.
Е С ФИНАНСОВАТА ПОДКРЕПА НА
ФОНД „НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ“
ПРИ МИНИСТЕРСТВОТО НА ОБРАЗОВАНИЕТО,
МЛАДЕЖТА И НАУКАТА**

Нашиите автори:

Динко Динев – доц. д-р, ИЯИЯЕ-БАН
Никола Балабанов – проф. дфн, ПУ „Паисий Хилендарски”
Милен Замфиров – гл. ас. д-р, СУ „Св. Климент Охридски”
Том Мърфи – ас., Калифорнийски университет, Лахоя, Сан Диего.
Бахтиар Михак, Кристофър Лайън и Тим Гортън –
Група „Оригинални изобретения“ Лаборатория „Медия“, MIT
Нийл Гершенфелд, Каролайн Макинис и Джейсън Тейлър –
Група „Физика и медии“ към Център за битове и атоми, MIT
Джо Херманс – проф., Университет в Лайден, Холандия
Тони Федър – Колидж Парк, Мериленд
Флорин Диаку – проф. д-р, Университет на Виктория, Западна Канада
Филип Холмс – проф. д-р, Принстънски университет

В кн. 2/2013 г. на “Светът на физиката” четете:

Ст. Уайнбърг – Може ли науката да обясни всичко?
Дж. Криге – Изидор Раби и раждането на ЦЕРН
С. Петков – Как преживях земетресението на 21 март 2011 г.
и неговите последствия в IPMU (Япония)
М. В. Родкин – Прогнозите на земетресенията
Л. Пономарьов – Атомната енергия и човекът
Л.Б. Окун – част II
Фл. Диаку, Ф. Холмс – Среци в небесата. Част II

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 1'2013

СЪДЪРЖАНИЕ

НАУКАТА

- Л. Б. Окун – Формулата на Айнщайн: $E_0 = mc^2$.
- Д. Динев – Големите проекти на европейската научна инфраструктура

ФИЗИКА И ПРИЛОЖЕНИЕ

- Т. Мърфи – Домашни фотоволтаични системи за физици

ИСТОРИЯ

- Дж. Кейнс – Нютон, човекът
- Н. Балабанов – Нейтронът на 80 години

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

- М. Замфиров – Имат ли място нестандартните задачи в обучението по природни науки в България

НАУКА И ОБЩЕСТВО

- Т. Федър – Технологии за развиващи се икономики или ритник за силен старт
- Б. Михак и др. – Фаб-Лаб: алтернативен модел за информационни и комуникационни технологии в помощ на развитието

IN MEMORIAM

- Доц. д-р Димитър Минчев Рибаров (27.07.1950 – 11.08.2011)
- Член-кор. проф. Стефан Кънев (17.08.1929 – 26.12.2012)

СЪЮЗЕН ЖИВОТ

- В. Тодоров – Изложба „Измерване на радиацията в медицината“
- Втори национален конгрес по физически науки

ИНТЕРЕСНО

- Джо Херманс – Застаряващият слух
- Джо Херманс – Презареждане с гориво

ЧЕТИВО С ПРОДЪЛЖЕНИЕ

- Фл. Диаку, Ф. Холмс – Среци в небесата. Част първа

THE WORLD OF PHYSICS 1'2013

CONTENTS

THE SCIENCE

- L. Okun – Einstein's formula $E_0 = mc^2$ (isn't the Lord making fun of us?) 1
- D. Dinev – The large projects of the European science infrastructure..... 13

PHYSICS AND APPLICATIONS

- Thomas Murphy Jr. – Home photovoltaic systems for physicists 25

HISTORY

- J. Kaynes – Newton the man..... 39
- N. Balabanov – The 80 years old neutron (history and lessons) 48

PHYSICS AND EDUCATION

- M. Zamfirov – Is there room for non-standard problems in the natural science education 64

SCIENCE AND SOCIETY

- T. Fether – KickStarting developing economies with relevant technologies 81
- B. Mihak et al. – Fab Lab: An Alternate Model of ICT for Development 86

IN MEMORIAM

- Assoc. prof. Dimitar M. Ribarov (27.07.1950 – 11.08.2011) 101
- Corresponding member, professor Stephan Kanev (17.08.1929 – 26.12.2012)..... 102

UNION LIFE

- V. Todorov – Exhibition “Radiation measurement in medicine” 103
- Second national congress on physical sciences 104

INTERESTING

- J. Hermans – Old ears 106
- J. Hermans – Refuelling..... 108

SERIAL

- Florin Diacu and Philip Holmes – Celestial encounters – Part I 110

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

ТОМ XXXVI, кн. 1, 2013 г.

Издание на Съюза на физиците в България

<http://old.inrne.bas.bg/wop/>

(със спомоществователството на Българска академия на науките)

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Нъшан Ахабабян <nashan.ahababian@gmail.com>

ЗАМЕСТНИК ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Михаил Бушев <m_bushev@abv.bg>

Олег Йорданов <oleg.yordanov@gmail.com>

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Милен Замфиров <worldofphysics@abv.bg>

ЧЛЕНОВЕ

Валери Голев <valgol@phys.uni-sofia.bg>

Георги Граховски <grah@inrne.bas.bg>

Людмил Вацкичев <Lyuvats@phys.uni-sofia.bg>

Никола Балабанов <balabanov_n@abv.bg>

Светослав Рашев <rashev@issp.bas.bg>

Ганка Камишева <gkamish@issp.bas.bg>

ТЕХНИЧЕСКИ СЕКРЕТАР

Снежана Йорданова <upb@phys.uni-sofia.bg>

ВОДЕЩ БРОЯ: М. Бушев

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Nashan Ahababjan

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Michael Bushev

Oleg Yordanov

EXECUTIVE SECRETARY

Milen Zamfirov

MEMBERS

Valeri Golev

Georgi Grahovski

Liudmil Vatzkitchev

Nicola Balabanov

Svetoslav Rashev

Ganka Kamisheva

TECHNICAL SECRETARY

Snejana Iordanova

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

1164 София,

Бул. Джеймс Баучер № 5

☎ 862 76 60

e-mail: worldofphysics@abv.bg

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,

1164 Sofia

ПРЕДПЕЧАТНА ПОДГОТОВКА: Д. Денчева

Дадена за печат на 4 март 2013 г.

ПЕЧАТНИЦА „ГИТАВА“ — СПОНСОР НА „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“

бул. Цариградско шосе 72

ISSN: 0861-4210