

PREDAREA FIZICII ÎN UNIVERSITĂȚILE TEHNICE ȘI EVOLUȚIA ACESTEIA ÎN ULTIMUL SECOL

E. BODEGOM^a, D. IORDACHE^b

^aUniversitatea Portland, OR, USA

^bUniversitatea Politehnica, Bucuresti

Pornind de la studiul evoluției fizicii (așa cum a fost descris de principalele rezultate obținute în cadrul premiilor Nobel pentru fizică acordate între 1901 și 2005), această lucrare are drept țință studiul și evidențierea unor posibilități: a) să optimizeze alegerea temelor de bază ale fizicii predate în cadrul universităților tehnice, b) a cercetării științifice valoroase efectuate în cadrul celor mai bune universități naționale (BUN) care nu au avut nici un câștigător de Premiu Nobel cu ajutorul unor teme importante și noi, c) de convergență și obținere a unor rezultate complementare folositoare (corespunzătoare rezultatelor de bază obținute de domeniul principal al fizicii) al unor studii științifice efectuate de BUN în cadrul unor domenii științifice care au primit premii Nobel pentru fizică, d) de îmbunătățire a tehnicilor didactice care urmăresc o pregătire și o înțelegere mai bună a fizicii de către viitorii ingineri.

Cuvinte cheie: Evoluția fizicii, Rezultate principale obținute de lucrări care au primit premii Nobel pentru fizică, Teme principale de fizică predate în universități tehnice. Posibilități de cercetare științifică efectuată de cele mai bune universități naționale, Îmbunătățire a tehnicilor didactice.

1. Introducere

Aplicațiile importante ale fizicii în domeniile științelor tehnice, biologie, medicină etc. sunt foarte bine cunoscute. În ciuda acestor aspecte bine cunoscute, există o tendință în învățământul academic tehnic de a reduce la minim predarea fizicii și cunoștințele studenților în special a celor aflați în ultimul an de studiu. De exemplu, cerințele academice ale organizațiilor de specialitate SEFI și CESAER aparținând Uniunii Europene [1] pentru studiile postliceale (de 3 ani) al tuturor facultăților tehnice se opresc după formularea: „Explicați principiile câmpurilor electrice și magnetice și aplicați legile de bază ale circuitelor electrice”, cu unicul element adițional „Explicați principiile de bază ale teoriei cuantelor”. Această direcție nu este una nouă: a se vedea de exemplu discursul lui Henry Augustus Rowland, primul președinte al Societății Americane de Fizică, la întâlnirea acestei societăți de la Universitatea Columbia (1899), care a subliniat impactul foarte slab asupra majorității indivizilor referitor la majoritatea rezultatelor „științelor pure”. În practică, în ultimul secol doar între anii 1940-1960, ce corespunde: a) celui de-al doilea război mondial, b) începutului folosirii tranzistorilor și c) construirea primelor reactoare nucleare cu intenția de a obține energie electrică adițională, au arătat că fizica are într-adevăr un „public” destul de mare în domeniul tehnic.

De aceea această lucrare va examina în detaliu evoluția fizicii în ultimul secol, cât și legătura sa cu aplicațiile tehnice și medicale.

2. Studiul evoluției fizicii în ultimul secol și posibilitățile de a optimiza alegerea subiectelor de bază ale fizicii predate în cadrul universităților tehnice

Având în vedere importanța remarcabilă a științelor naturale, numărul similar de lucrări publicate e uriaș: aproximativ 654.000 de lucrări științifice publicate în jurnale științifice

în 2000, și chiar mai multe lucrări științifice publicate în reviste locale (ex. doar în China aproximativ 181.000 de lucrări științifice au fost publicate în reviste științifice chinezești) și – în mod corespunzător – numărul de abstracte ale acestor lucrări științifice, publicate anual, este de asemenea uriaș: ~ 180.000 abstracte din domeniul fizicii/an; ~ 105.000 abstracte din domeniul electric și electronic/an; ~ 100.000 abstracte din domeniul computerelor/an, etc.

După cum e de așteptat, numărul de domenii științifice recunoscute este de asemenea extrem de mare; ex. potrivit clasificării Abstractelor de Fizică un subdomeniu de fizică este dat de către o combinație de 4 cifre și o literă, de aceea par să existe aproximativ 200.000 de subdomenii de fizică! Între fizică și științele tehnice există o legătură puternică, și din acest motiv revista de Abstracte de Fizică a devenit parte a bazei de date INSPEC, coordonată de organizația IEE (Institute of Electrical Engineers¹). Potrivit clasificării INSPEC [2] există 61 de domenii importante de fizică, 37 de domenii importante în ingineria electrică și electronică, 23 de domenii importante în științele computerelor și control, 9 domenii importante în ingineria de prelucrare și producție și 5 alte domenii importante în tehnologia informației (IT).

Datorită numărului uriaș de domenii științifice și tehnice (chiar și ale domenii lor principale) și a numărului de lucrări științifice și/sau tehnice publicate, predarea elementelor de bază ale fizicii cere selectarea celor mai importante rezultate, mai precis a acelor elemente care sunt în general recunoscute pentru importanța lor specială. Deși nu putem afirma că orice rezultat științific care a primit Premiul Nobel este mai important decât orice alt rezultat care nu garantează obținerea unui Premiu Nobel, considerăm că toate rezultatele științifice (și chiar tehnice) importante au fost recunoscute de către premiile Nobel. Premiul Nobel este dat drept omagiu pentru realizările considerate a fi de un mare beneficiu pentru omenire. De aceea, vom folosi o analiză succintă a rezultatelor recunoscute de premiile Nobel pentru a sublinia: a) legătura strânsă între fizică, chimie și științele tehnice, și b) evoluția dezvoltării fizicii în ultimul secol. Menționăm lucrările anterioare care se referă la studiile statistice ale premiilor Nobel pentru Fizică [3], care aduc o temă complementară prezentei lucrări, cât și surselor noastre principale folosite pentru un studiu statistic complet pentru întregul interval 1901-2005 [3-7].

Rezultatele obținute cu ajutorul acestei analize sunt sintetizate în Tabelele 1-5, care indică: domeniile importante ale lucrărilor de cercetare care au primit premiul Nobel pentru Fizică (Tabelul 1), evoluția acestor domenii importante de-a lungul deceniilor în intervalul 1901-2005 (Tabelul 2), evoluția pe decenii și țări a premiilor Nobel pentru Fizică obținute (Tabelul 3), clasificarea universităților și a instituțiilor de cercetare științifică în funcție de numărul de titluri universitare și postuniversitare (licențiat, masterand și/sau doctor) și de numărul de ani de activitate dedicați de laureații de premii Nobel pentru Fizică în cadrul acestor instituții (Tabelul 4), și rezultatele importante obținute de către laureații de premii Nobel pentru Fizică cu studiile în Ingineria Tehnică și/sau studiile în Universitățile Tehnice (Tabelul 5). Acest ultim tabel este extrem de pătrunzător deoarece arată un mare număr de „încrucișări” care au avut loc între universitățile tehnice și/sau studiile de inginerie și fizică. De aici înainte instruirea temeinică în domeniul fizicii se află față în față cu situația viitoare înfloritoare a fizicii.

Tabelul 2 arată că temele importante corespunzătoare premiilor Nobel acordate pentru Fizică (PNP) pot fi clasificate după cum urmează:

¹ Institute of Electrical Engineers = Institutul de Ingineri în domeniul Electric

- a) teme recunoscute ca fiind importante pentru aplicațiile tehnice de, practic, toți inginerii: termodinamică (2 premii acordate) și pentru electromagnetism și unde electromagnetice (5 premii acordate) = un total de 7 PNP (toate acordate până în 1919), reprezentând aproximativ 6,31% din cele 111 domenii importante ale fizicii onorate cu premii Nobel pentru Fizică.
- b) Teme importante de fizică pentru înțelegerea funcționării practic a tuturor dispozitivelor tehnice: optică (11 PNP), fizica cuantică (8 PNP), fizica materiei condensate (19 PNP) = un total de 38 PNP (acordate între 1902 și 2005), reprezentând aproximativ 34,23% din cele 111 domenii principale ale fizicii.
- c) Teme importante de fizică pentru înțelegerea funcționării dispozitivelor moderne specifice anumitor specialități tehnice: spectroscopie (9PNP), fizica atomică și moleculară (11PNP), fizica nucleară (11 PNP), fizica plasmei (2 PNP) = un total de 33 PNP (acordate între 1902 și 2001), reprezentând aproximativ 29,73 % din toate temele principale de fizică cărora li s-a acordat PNP.
- d) Teme de fizică importante pentru viitor, dar care nu sunt în prezent folosite în aplicațiile tehnice: particule elementare și interacțiuni fundamentale (27 PNP), astrofizică și cosmologie (6 PNP) = un total de 33 PNP, reprezentând de asemenea 29,73% din toate temele principale cărora li s-a acordat PNP.

Tabelul 6 prezintă contribuția fizicii în pregătirea unui student din diferite țări și școli. Datele au fost adunate de pe internet în 2006, și e posibil ca unele schimbări curriculare să fi avut loc de atunci. Este evident că felia fizicii din bucata curriculară variază foarte mult. A se nota, totuși, că există o corelare puternică între a) ierarhiile bazate pe datele web, b) ierarhiile bazate pe performanță academică sau din domeniul cercetării, și c) procentajul contribuției fizicii la pregătirea profesională.

În ceea ce privește părerile conducătorilor universităților tehnice referitoare la utilitatea elementelor fizicii predate în cadrul universitar, se pare că există acum trei opinii importante:

- (i) Necesitatea de a asigura manuale unice de fizică pentru oamenii de știință și ingineri (implicând teme referitoare la particulele elementare și interacții fundamentale, astrofizică și cosmologie): specifice în principal universităților americane și britanice [8-10].
- (ii) Necesitatea de a se asigura predarea în ciclul preuniversitar a cunoștințelor de fizică corespunzătoare temelor de la punctele a) și b) de mai sus, și în funcție de specialitatea tehnică specifică – de asemenea a unor noțiuni aparținând punctului c) de mai sus: instruirea tehnică academică în Franța, Italia, Israel (a se vedea Tabelul 6).
- (iii) Restricționarea ca elementele de fizică să fie predate în ciclul preuniversitar la temele menționate anterior la punctul a), cu foarte puține elemente adiționale referitoare la principiile fizicii cuantice: părerea unor organizații europene [1].

Bineînțeles, nu e ușor să se decidă care din aceste politici educaționale este cea optimă pentru un elev/student, pentru un student la universitate sau pentru țara care îl susține pe studentul respectiv. Se pare că cea mai importantă întrebare rămâne: sunt oare elevii din învățământul liceal ingineri supra-calificați sau sub-instruiți?

3. Studiul rezultatelor științifice valoroase obținute de către universitățile BNU în cadrul unor teme noi de fizică

Peisajul competițional pentru un absolvent de la o universitate tehnică devine mai dificil: multe ocupații studiază solicitările unui grup mai mare de persoane: mai divers și mai diversificat. Cum oare se vor distinge prezentul student și viitorul solicitant al unei slujbe? Alegând o universitate cu un standard ridicat sau un program foarte specializat și unic de la o universitate cu un standard mai puțin ridicat sunt niște mijloace obișnuite de a perfecționa un student. Evaluările universitare se bazează pe date web sau pe înregistrări metodice (cum ar fi articolele din Știință și Natură). Tabelul 4 prezintă cele 180 de universități și instituții de cercetare cu puncte de activitate în cadrul PNP-urilor (1 an de activitate în instituția respectivă – după obținerea celui mai înalt grad științific = 1 punct; grad PhD = 10 puncte; grad MS = 5 puncte; grad BSc – toate în instituția respectivă = 3 p). Comparând diferitele trepte (evaluări) și Tabelul 4, vedem o legătură puternică între evaluări și PNP-uri. De aici e recomandabil și se dorește îmbunătățirea evaluărilor personale bazate pe productivitatea metodică: va atrage studenți (mai mulți și mai buni), facultăți (mai bune) și va mări finanțările.

Un număr total mondial de 180 de universități au contribuit la pregătirea științifică și la anii de activitate ale laureaților cu premii Nobel pentru fizică între anii 1901-2005. Acest lucru ridică o a doua întrebare a acestui studiu: Care poate fi contribuția la direcția fizicii a unora din cele mai bune universități naționale (BNU), care nu sunt (cel puțin nu acum) implicate în lista menționată mai sus a celor 180 de universități sau cum pot fi îmbunătățite evaluările personale?

Pentru că din Tabelul 4, rezultă de asemenea că multe din universitățile cel mai bine cotate au avut (și au) puternice instituții de cercetare implicate în structura lor, sau cooperează foarte bine cu aceste instituții¹, se pare că aceste contribuții la viitorul fizicii în cele mai bune universități naționale ar putea consta din: 1) rezultate obținute în cooperare cu unele instituții locale de cercetare², 2) rezultate obținute în unele teme „noi” de fizică, cărora încă nu li s-a acordat premiu Nobel pentru fizică³, 3) lucrări publicate ce corespund rezultatelor importante obținute în cadrul BNU, situate în domeniul premiilor Nobel pentru fizică deja acordate: (i) înainte de acordarea premiului Nobel pentru fizică, (ii) după acordarea premiului Nobel pentru fizică, însă îndeplinind rezultatele descoperite și recunoscute anterior.

¹ A se vedea ascensiunea recentă a Universității din Colorado, din Boulder, care lipsea complet în anul 2000 din lista universităților cu contribuții la pregătirea științifică și la anii de activitate a unor laureați PNP, și a ajuns în acest an (2005) – datorită cooperării foarte bune cu National Institute for Standards And Technology (NIST) și cu Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA) [ambele din Boulder] – în vârf (ca fiind al 24-lea dintr-un total de 180 de universități clasificate, Tabelul 5) din cele mai bune universități mondiale din punctul de vedere al PNP.

² O cooperare foarte eficientă corespunde cu participarea profesorilor de la cele mai bune universități naționale (BNU) la activitatea în cadrul grupurilor de cercetare conduse de laureații premiilor Nobel pentru Fizică [ex., prof. Ion. M. Popescu (UPB) [11] a participat în intervalul 1963-1964 la activitățile științifice în cadrul Hertzian Laboratory of Ecole Normale Supérieure (Paris), condusă de Prof. Alfred Kastler (laureat cu premiul Nobel pentru Fizică în 1966)].

³ Fizicienii (profesori și cercetători) de la universitățile tehnice, mai ales, trebuie să evite orientările greșite evidențiate de lucrare [12]: „Nu puteți nega faptul că fizica este fundamentală pentru dezvoltarea societății, însă din nefericire mult mai mulți fizicieni au o atitudine arogantă și eronată deoarece se așteaptă ca lumea înconjurătoare, ce poartă un respect profund importanței fizicii, să le vină în întâmpinare și să îi copleșească cu bonificații importante. În loc de asta, vedem că această aroganță face ca aceste bonificații să meargă la subiecte altele decât fizica”.

Pentru a evita unele „repetări”, activitățile științifice a unor profesori de la cele mai bune universități naționale, deja menționate în anumite surse de referință (ex. [7], nu vor fi citate din nou în cadrul acestei lucrări.

Referindu-ne la primul tip – corespunzător punctului a) de mai sus – de lucrări în domeniul fizicii (publicate în revistele internaționale ISI), trebuie să menționăm că deja există o astfel de cooperare, cum ar fi cele (ex.) dintre Departamentele de Fizică din: (i) Politecnico di Torino (Italia) și Institutul Național pentru Inginerie Electrică „Galileo Ferraris” (Torino, Italia), (ii) Universitatea „Politehnică” din București și Institutul Național de Fizică Atomică (IFA, Măgurele-București), etc.

Ca exemple pentru cel de-al doilea tip, putem cita studiile în cadrul: a) biofizicii, efectuate la: (i) PSU (referindu-se în principal la dinamica canalelor Ca^{++} [13], (ii) Universitatea Kent din Canterbury (în domeniul opticii aplicate (medicale) [14], (iii) Politecnico di Torino, în cadrul testării non-distructive și examinărilor și a biologiei teoretice [15], de asemenea în cadrul studiului dezvoltării cancerului [16], etc.), b) nanotuburi [17], c) fizica computațională [18], [19], tehnologiile laser avansate [20] și d) surse de energie non-convenționale [21], ambele la Universitatea „Politehnică” din București (UPB).

4. Posibilități de obținere a unor rezultate complementare folositoare și de convergență a studiilor BNU efectuate în cadrul unor domenii științifice care au obținut premii Nobel pentru fizică.

Un exemplu destul de binecunoscut (cel puțin în România) al celui de al treilea tip de mai sus este acela al fostului student al Universității Politehnice București (UPB) – Alexandru Proca (1897-1955), care a prezis [independent de prima predicție făcută în 1935 de profesorul japonez Hideki Yukawa (1907-1981), ce a primit premiul Nobel pentru fizică în 1949] de asemenea existența mezonilor, obținând ¹ adițional (referindu-se la lucrările profesorului Yukawa) de asemenea ecuațiilor lor de evoluție (vezi și [22])

Alte posibile proiecte analizate a acestui studiu s-ar putea referi la cercetările de fizică ale UPB în domeniul cristalelor lichide [23] (Premiul Nobel acordat în 1991 profesorului Pierre Gilles de Gennes) și chiar la complexitatea trăsăturilor în fizica materialelor (studiu ale legilor de putere, legilor de limită, oxidarea fractală etc. [24]) în domeniul premiilor Nobel pentru fizică acordate în anul 1977 profesorului P. W. Anderson. E posibil să se afirme că studiile efectuate de astfel de BNU converg (de obicei, considerabil mai lente și incomplete, însă obținând unele rezultate complementare) către cele mai importante rezultate obținute de cercetările domeniului principal.

5. Posibilități de îmbunătățire a tehnologiilor didactice menită să îmbunătățească pregătirea și înțelegerea fizicii

De la început, trebuie de asemenea să subliniem că – în afara sprijinului important oferit studiului științific din partea Departamentelor de Fizică ale universităților – unele

¹ A. Proca: a) Despre ecuațiile fundamentale ale particulelor elementare” („Sur les équations fondamentales des particules élémentaires”), C.R. Acad. Sci. Paris **202**, 1490 (1936); b) „Teorie non relativistă a particulelor cu spin întreg” („Théorie non relativiste des particules à spin entier”, J. Phys. Radium **9**, 61 (1938).

instituții importante de cercetare sunt de asemenea direct implicate în pregătirea științifică a profesorilor de fizică și a studenților. Ex.: a) Abdus Salam International Center for Theoretical Physics (ICTP) din Trieste, Italia, are contribuții foarte importante (cu ajutorul Programului de Instruire și Cercetare în limba italiană [25]) la pregătirea în domeniul cercetării științifice a multor profesori de fizică în câteva teme extrem de importante ale fizicii moderne (fizica materiei condensate, fizică și energie, fizică și tehnologie, științele lumii și ale mediului înconjurător, fizica spațiului, fizica stării vii, teme la interfața cu chimia, ingineria, biologia, instrumentării pentru fizica nucleară și subnucleară, b) Institutul de Fizică al Academiei Poloneze de Științe (și prof. Waldemar Gozkowski, în special) au avut un rol extrem de important în clădirea și dezvoltarea continuă a celor mai importante competiții de fizică pentru elevii de liceu: Olimpiadele Internaționale de Fizică [începute în 1967, acum la a 35-ea ediție (Salamanca, Spania) în 2005] [26] și concursul internațional „Primul pas către premiul Nobel pentru Fizică” (First Step to Nobel Prize in Physics) pentru lucrări științifice a acestor elevi de liceu (început în 1992/1993, și continuat în fiecare an fără întreruperi) [27]. Aceste competiții naționale și internaționale reușesc să asigure (pentru un număr limitat ai celor mai buni elevi de liceu) o foarte bună pregătire, cu rezultate remarcabile urmând viitoare lor instruire în cadrul universităților științifice și tehnice.

Pentru a îmbunătăți evaluarea unei universități (sau a unei țări), e important să se îmbunătățească procesele de instruire: dacă productivitatea și calitatea studenților cresc, poate fi obținută o reacție pozitivă.

În ceea ce privește posibilitățile de îmbunătățire a predării fizicii în universitățile tehnice, considerăm drept necesar studiul atent atât al posibilităților calitative, cât și al aspectelor cantitative.

Astfel, multe studii recente (ex. [28]) subliniază nevoia de: a) minimaliza sarcina cognitivă prin limitarea cantității de material prezentat (a se vedea de asemenea [29]), b) a avea o structură organizațională clară a prezentării, c) a lega noile materiale de ideile pe care publicul le cunoaște, d) a evita terminologia tehnică nefamiliară, e) a scoate în evidență în mod frecvent aplicațiile noțiunilor predate în funcționarea sistemelor comune, f) a utiliza o nouă tehnologie educațională [30].

6. Concluzii

Considerăm ca necesar să se acorde atenție numeroaselor aplicații a unor rezultate recente ale cercetării științifice (multe dintre ele recunoscute de premiile Nobel acordate pentru fizică) în domeniul științelor tehnice și tehnologiilor. De aceea, considerăm ca fiind necesare examinările detaliate de către organizațiile internaționale (cum ar fi SEFI, CESAER, ABET) pentru pregătirea academică a inginerilor, nu doar a cerințelor minime pentru fiecare disciplină didactică, ci în principal pentru cele mai bune (în strânsă legătură cu celelalte cerințe curriculare) cerințe, pentru a se asigura echilibrul perfect între abilitățile tehnice ale viitorilor ingineri, posibilităților lor de a înțelege cu adevărat fenomenul fizicii care susțin funcționarea normală a dispozitivelor și instalațiilor tehnice, și posibilitatea lor de a găsi o slujbă.

7 References

- [1] *Günter Heitmann, Aris Avdelas, Oddvin Arne*, Innovative Curricula in Engineering Education (in frame of E4 Thematic Engineering Education in Europe), 2003, Firenze University Press.
- [2] <http://www.iee.org/publish/support/inspec/document/class/classif.cfm#physics>
- [3] a) *WeiJia Zhang, Robert G. Fuller*, Nobel prize winners in physics from 1901 to 1990: simple statistics for physics teachers, *Phys. Educ.*, 1998, **33**, p. 196-203; b) *A. Wallin-Levinovits, Nils Ringertz*, eds., The Nobel prize: the first 100 years", 2001, Imperial College and World Scientific Publ. Comp. Pte. Ltd; c) *H. Zuckerman*, Nobel laureates in science: patterns of productivity, collaboration and authorship, *Am. Soc. Rev.* **32**, 391-403, (1967), and d) <http://www.iop.org/EJ/abstract/0031-9122/33/3/023>.
- [4] <http://nobelprize.org/physics/laureates>
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki>
- [6] www.google.com
- [7] a) *I. Iovij Popescu, I. Dima*, Physics Nobel prizes (1901-1998) (mainly in Romanian, but partially also in English), 1998, Romanian Academy Printing House, Bucharest, b) *C.D. Hillebrand*, Nobel century: a biographical analysis of physics laureates, *Inter. Sci. Rev.*, 2002, **27**, p. 87-93
- [8] a) *P.M. Fishbane, S. Gasiorowicz, S.T. Thorton*, Physics for Scientists and Engineers, 3rd ed., 2005, Prentice Hall, Englewood Cliffs (1st ed., 1993); b) *R. D. Knight*, Physics for Scientists and Engineers: a Strategic Approach with Modern Physics (42 chapters, 1596 pages), 2003, Benjamin/Cummings; c) *D.C. Giancoli*, Physics for Scientists and Engineers, 3rd ed., 2000, Prentice Hall; d) *R.A. Serway*, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 2000, Saunders College Publ.; e) *R.A. Serway, R.J. Beichner*, Physics for Scientists and Engineers, 5th ed., 1999, Harcourt College Publ.; f) *P.A. Tipler*, Physics for Scientists and Engineers", 4th ed., 1999, W.H. Freeman & Co/Worth Publishers.
- [9] *J. Bernstein, P.M. Fishbane, S. Gasiorowicz*, Modern Physics, 2000, Prentice Hall, Upper Saddle River (we mention that the first author retired in 1993, after 25 teaching years at Stevens Institute of Technology), involving Chapter 16 "Elementary Particle Physics" (pp.479-515), Chapter 17 "General Relativity" (pp.516-543), Chapter 18 "Cosmology" (pp.544-569).
- [10] <http://www.sheffield.ac.uk/links/Science/Physics>
- [11] *I. Agărbiceanu, I. M. Popescu*, Optical Methods of Radio Frequency Spectroscopy, 1975, J. Wiley & Sons, New York, and A. Hilger, London.
- [12] *J. O. P. Pedersen*, *Europhysics News*, 2002, **33**(4) p. 140-141.

- [13] J.J. Abramson *et al.*: a) Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1983, **80**, p. 1526; b) J. Biol. Chem., 1988, **263**, p. 18750; 2000, **275**, p. 36556; c) Arch. Biochem. Biophys., 1988, **263**, p. 245; d) J. Bioenergetics & Biomembranes, 1989, **21**, p. 283; ... e) Amer. J. Physiology Cell Physiology, 2003, **285**, C215.
- [14] D. Jackson, A. Gh. Podoleanu *et al.*: a) Rev. Sci. Instr., 1993, **64**(10) p. 3028; 1995, **66**(9) p. 4698; b) Electr. Lett., 1993, **29**(10) p. 896; 1995, **31**(17) p. 1492; c) Opt. Lett., 1995, **20**, p. 112; 1996, **21**, 1789; 1998, **23**, p. 147; d) J. Biomed. Optics, 1998, **3**, p. 12.
- [15] P.P. Delsanto *et al.*: a) Wave Motion, 1992, **16**, p. 65; 1994, **20**, p. 295; 1997, **26**, p. 329; b) New Perspectives in Problems in Classical and Quantum Physics, 2 volumes, 1998, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam; ... c) Phys. Rev. E, 2000, **62**, p. 2547; d) <http://tbiomed.com/>
- [16] M. Scalerandi *et al.*: a) Phys. Rev. E, 1999, **59**, p. 2205; 2000, **62**, p. 2547; 2001, **63**, p. 115; 2001, **63**, p. 11901; 2002, **65**, p. 51918; 2004, **69**, p. 51708; 2004, **70**, p. 11902; b) Phys. Rev. Lett., 2001, **87**, p. 128102; 2002, **89**, p. 218101; c) Physica Scripta, 2005, **118**, p. 179.
- [17] J. Jiao *et al.*: J. Appl. Phys. **101**, 024320 (2007), b) J. Appl. Phys. **99**, 094308 (2006), c) Int. J. Nanoscience, **5**, 407-411 (2006), d) Surf. Interface Anal. **36**, 489-492 (2004)
- [18] L. Drska, M. Sinor *et al.*: a) 19-th ECLIM, Laser Interaction with Matter, 1989; p. 360-363, World Scientific, Singapore; b) Comp. Phys. Comm., 1990, **61**, 225-230; ... c) ICS Support for the Teaching Introductory and Advanced Physics Courses, in Workshop 98, Part I, 1998, p. 73-74, Czech Technical University, Prague; ...
- [19] M. Dolozilek *et al.*, MathCAD - Useful Software for the Data Acquisition of Laboratory Measurements in Physics, in: a) Internat. Conf. of Comp. Aided Engng. Educ., 1993, Bucharest; b) Int. Conference: Comp. Based Learning in Science, 1995, p. 39-45, Opava, Czech Rep.; c) Internat. Conf. Phys. Teaching in Engng. Educ. (TPPE), 2000, Budapest
- [20] P. Sterian *et al.*: a) Rev. Roum. Phys. 1975, **20**(3) p. 309; 1988, **33**(10) p. 1397; b) Optical Transmission of Information, 2 vol., 1981; Laser and Multiphotonic Processes, 1988, both Technical Publishing House, Bucharest; c) Proc. SPIE, Advanced Laser Technologies: ALT-01, 2002, **4762**, 186; ALT-02, 2003, **5147**, 160.
- [21] L. Fara, V. Bădescu, Solid State Phenomena, 2004, **97-98**, p. 91-96.
- [22] A. Calboreanu, The Scientific Heritage of Alexandru Proca and Quantum Physics Revolution, Rom. Journal of Physics, 2004, **49**(1-2) p. 3-11, b) D. N. Poenaru, A. Calboreanu, Alexandru Proca (1897-1955) and his equation of the massive vector boson field, Europhysics News, **37**(5) p. 24-26(2006).
- [23] C. Moțoc *et al.*: a) Rev. Roum. Phys. 1975, **21**, p. 683; b) Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1978, **45**, p. 215; 1979, **53**, p. 69; 1983, **94**, p. 339; ... idem, 2004, **418**, p. 197; c) Mod. Phys. Lett., 1998, **B12**, p. 632; d) J. Magn. Magn. Mat., 2001, **234**, p. 142.
- [24] a) D. Iordache, Bull. Polytechnic Inst. Bucharest, 1967, **24**(2) p. 25; 1979, **41**(3) p. 19; b) L. Daniello, D. Iordache, *et al.*, Rev. Roum. Phys., 1980, **25**(2) p. 193; c) D. Iordache, J. Optoelectronics and Adv. Materials, 2004, **6**(3) 925-930.
- [25] http://www.ictp.trieste.it/www_users/ItaLab/
- [26] a) W. Gorzkowski, *edit.*, International Physics Olympiads, vol. 1, 1990, World Sci. Publ. Comp., Singapore; b) W. Gorzkowski, *edit.*, International Physics Competitions: International Physics Olympiads and First Step to Nobel Prize in Physics, 1999, Instytut Fizyki PAN, Warszawa; c) <http://www.jyu.fi/ipho/>
- [27] <http://info.ifpan.edu.pl/firststep/>
- [28] C. Wieman⁵, K. Perkins, Transforming Physics Education, Physics Today, 2005, **58**(11) p. 36-41
- [29] I. Glynn, Putting children off physics, Physics World, November 2005.
- [30] E. Mazur, Peer Instruction: A User's Manual, 1997, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

⁵ Co-recipient of the Nobel Prize in Physics in 2001, the Carnegie-CASE US University Professor of the Year in 2004, Distinguished Professor of Physics at the University of Colorado in Boulder.

Table 1. Classification of the main fields of the research works awarded by Physics Nobel prizes (between 1901 and 2006) according to their Specific Experimental or Theoretical Main Results (the year of Nobel Prize awarding is indicated finally)

N r	PHYSICS FIELD	Experimental studies				Theoretical studies		
		New Devices	New methods	Major findings of experim. studies & tests	New phenomena	New physical objects or states	Theoretical models	Deductive theoretical studies
1	Thermodynamics	Illuminating automatic regulators & gas accumulators, 1912					Van der Waals model of real gases, 1910	Thermodynamic theory of thermal radiation, 1911
2	Electromagnetism & Electromagnetic Waves (radiation & propagation)	Wireless telegraphy (Radio), 1909		Michelson - Morley experiment (test of "ether" hypothesis), 1907		X-rays: Röntgen, 1901	Heat Radiation laws: Wien, 1911; Energy Quanta: Planck, 1918	
3	Optics, Microscopy & Diffractometry	Emg Optics, 1902; Michelson interferometer, 1907; phase contrast microscope, 1953	Color Photography, 1908; Holography, 1971; Electronic microscope, 1986		Diffraction of: a) X-rays, 1914; b) electrons/crystals '37; c) neutrons, '94			Bragg-Bragg law of X-rays diffraction, 1915; Quantum theory of optical coherence, 2005
4	Spectroscopy	X-rays Spectroscope, W.H. Bragg, 1915 Laser-based precision spectroscopy, 2005	Spectral methods: X-rays, 1924; her-tzian waves, 1966; laser & e ⁻ , 1981; ionic traps, 1989; neutrons, 1994	Characteristic X-rays spectral lines, 1917; Fine structure of H spectrum, 1955	Effects: Zeeman, 1902; Stark, 1919; Raman, 1930			
5	Atomic and Molecular Physics	Ammonia (NH ₃) maser, Townes, 1964	Gas densities determination, 1904; atom cooling by means of laser radiations, 1997	Cathodic radiation, 1905, Franck-Hertz, 1925; Jean Perrin, 1926	Compton effect, 1927	X-rays , 1901; Bose-Einstein condensation, 2001	Bohr's atomic model, 1922	Theory of photoelectric effect: Einstein, 1921
6	Theoretical physics (only quantum; relativity & gravitation, only implicitly in 1921, A. Einstein)						Energy Quanta, Planck, 1918; Associated waves: de Broglie, 1924	Relativity & Gravity: 1921 Quantum theory: Heisenberg, '32 Schrödinger, Dirac, '33; Pauli, '45; Born, '54; QED, 1965

Table 1 (continued)

Nr	PHYSICS FIELD	Experimental Studies					Theoretical Studies	
		New Devices	New methods	Major findings of experim. studies & tests	New phenomena	New physical objects or states	Theoretical models	Deductive theoretical studies
7	Condensed Matter Physics	Transistor, 1956; Tunnel Diode: Esaki, 1973 Semiconductor hetero-structures & Integrated circuits, 2000	Neutron Diffraction Methods, 1994	Special Alloys, 1920; High pressure phenomena, 1946; Tunneling in Superconductors, 1973	Effects: Mossbauer, 1961; Quantum Hall, 1985; Fractionally quantum Hall, 1998	Liquid Helium: 1913; Antiferromagnetism, '70; superfluidity, '78; HTC, 1987	Richardson's model of the thermionic emission, 1928; Models of liquid crystals and polymers, 1991; superconductors and superfluids, 2003	Liquid Helium: 1962; BCS Theory, 1972; Josephson's effect theory, 1973; Magnetic & disorder-ed systems, 1977; Critical phenomena, 1982
8	Radioactivity and Nuclear Physics	Wilson's cloud chamber, 1927; Automated cloud chamber, 1948	NMR, 1944; High accuracy nuclear magnetic measurements, 1952; Coincidence method, 1954	Main radioactive substances properties: P. & M. Curie, 1903	Radioactivity: Becquerel, 1903; Nuclear reactions with slow neutrons: Fermi, 1938; Cerenkov effect, 1958	-	Nuclear Shell Structure: Goepfert-Meyer & Jenkins, 1963; Combined Nuclear Structure: Bohr-Mottelson, 1975	Exclusion principle and β decay theory: Pauli, 1945; Atomic nucleus theory and fundamental symmetry principles: Wigner, 1963
9	Elementary Particles and Fundamental Interactions	Cyclotron, 1939; Nuclear plates, Powell, 1950; Bubble chamber, 1960 & 1968; Multiwire proportional chamber, 1992	For e , h measurement, 1923; e^+ magnetic momentum, 1943 and 1955; For the study of quarks, 1990	Discovery of electron by means of the study of electrical conduction in gases, 1906	Interactions of p and nuclei, 1951; Violations of the P (1957) and CP (1980) symmetry	Discoveries of: n , 1935; e^+ , 1936; π , 1950; p^+ , 1959; J/ψ , 1976; W , Z , 1984; ν_μ , 1988; $\bar{\nu}_e$, ν_K , 1995	Nucleon structure, 1961; classification and interactions of elementary particles, 1969; weak and electromagnetic unification, 1979; quantum structure of electroweak interactions, 1999	Theoretical prediction of mesons, 1949; Discovery of the asymptotic freedom of the strong interaction, 2004
10	Plasma Physics					Ionosphere, Appleton, 1947	Applications of magneto-hydrodynamics theory, Alfvén, 1970	
11	Astrophysics and Cosmology	Radio-telescope, 1974		Cosmic X-rays source detection & cosmic neutrinos detection, 2002		Pulsars, 1974; binary pulsars, 1993, cosmic background rad., 1978, 2006	Energy production in stars, H.A. Bethe, 1967	Evolution of stars, S. Chandrasekhar, W.L. Fowler, 1983

Table 2. Evolution of the Topics of the Scientific Works awarded with Nobel Prizes on decades (1901-2006)

Nr	PHYSICS FIELD	20 th CENTURY DECADE										2000-05	Total
		1901-09	1910-19	1920-29	1930-39	1940-49	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99		
1	Thermodynamics	-	Real gases '10; Gas accum., '12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
2	Electromagnetism & electromagnetic waves (radiation & propagation)	X-rays, 1901; ether hypothesis, '07; telegraphy, '09	Heat radiation: '11; Energy quanta, 1918	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
3	Optics, microscopy & diffractometry	Lorentz, '02; Michelson, '07; Lippmann, '08	Diffraction X-rays, '14; 3D diffraction law, '15	-	electrons/crystal diffraction '37	-	phase contrast microscope 1953	-	Holography, 1971	Electron microscope, 1986	Neutron Diffraction Methods, 1994	Optical coherence in quantum theory, '05	11
4	Spectroscopy	Zeeman effect, 1902	Stark effect, 1919	X-rays spectroscopy, '24	Raman effect, 1930	-	Fine structure of H-spectra, '55	Hertzian spectroscopy, '66	-	laser & e ⁺ spectroscopy, '81; ionic traps, '89	Neutron spectroscopy, '94	-	9
5	Atomic and Molecular Physics	X-rays, 1901; gas densities determination, 1904; Cathodic radiation study, 1905	-	Photoelectric, '21, atomic model, '22; Franck-H '25; Perrin, 26; Compton eff. '27	-	-	-	Quantum electronics: Ammonia (NH ₃) maser, 1964	-	-	Atoms cooling with laser radiation, 1997	Bose-Einstein condensation in dilute gases, 2001	11
6	Theoretical physics (only quantum; relativity & gravitation, implicit '21	-	EM waves energy quantization, 1918	Implicit: relativity & gravity, '21; waves: de Broglie, '24	Quantum 1932; Schrödinger, Dirac, '33	Quantum theory: W. Pauli, 1945	Quantum theory: M. Born, 1954	QED 1965	-	-	-	-	8
7	Condensed Matter Physics	-	Liquid helium: 1913	Special alloys, 1920; Richardson model of thermionic emission theory: 1928	-	High pressure phenomena, 1946	Transistor 1956	Mössbauer Effect, 1961; Liquid helium theory: 1962	Antiferromagnetism, '70; BCS, '72; tunneling, '73; magnetic & disorder system, '77; superfluid '78	Critical phenomena theory: 1982; Quantum Hall effect: 1985; HTC, 1987	liquid crystals/polymers: '91; neutron diffraction, '94; fractional quantum Hall, '98	Semiconductor heterostructures and integrated circuits, 2000	19

Table 2(continued)

Nr	PHYSICS FIELD	20 th CENTURY DECADE										2000-05	Tot
		1901-09	1910-19	1920-29	1930-39	1940-49	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99		
8	Radioactivity and nuclear Physics	Radio-activity & radioactive substances properties, 1903	-	Wilson's cloud chamber, 1927	Nuclear reactions with slow neutrons: 1938	NMR, 44 exclusion principle β decay: 1945 auto. cloud chamber, '48	nuclear mag. measurements, '52; coincidence meth., 54 Cerenkov effect, '58	Nuclear shell structure & atomic nucleus & fund. symmetry principles: '63	Combined nuclear structure: 1975	-	-	-	11
9	Elementary particles and fundamental interactions	Discovery of electron by the study of electrical conduction in gases, 1906	-	Compton effect, 1927	Discoveries of: n , Chadwick 1935; e^+ : Anderson 1936; Cyclotron, 1939	e^+ magnetic momentum, O Stern, 1943; Theoretical prediction of mesons, 1949	Nuclear plates, '50; Interaction p -nuclei, '51; e^+ mg. momentum '55; Violations of P symmetry, '57; p , Chamberlain, 1959	Bubble chamber, 1960&'68 Structure nucleons, '61; Classif. & interaction of elementary particles, '69	Discoveries of: J/ψ , Richter-Ting, 1976; Weak and electro-magnetic interactions of: W , Z , '84; V_μ , '88	Violation of the CP symmetry, 1980; Discoveries of: W , Z , '84; V_μ , '88	Quarks, '90; Multiwire proportional chamber, 1992; $\bar{\nu}_e$, ν_K '95; Quantum struct. electro-weak interactions '99	Discovery of the asymptotic freedom of the strong interaction 2004	27
10	Plasma physics	-	-	-	-	Ionosphere, 1947	-	-	Magnetohydrodynamic, '70	-	-	-	2
11	Astrophysics and cosmology	-	-	-	-	-	-	Energy production in stars, '67	pulsars, '74, cosmic rad., '78, '06	Elements synthesis/evolution of stars, '83	Binary pulsars, 1993	Cosmic neutrinos detection, 2002	6

Table 3. Numbers of Physics Nobel prizes laureates (1901-2005) born in (with scientific activities in) different countries

Nr.	COUNTRY	20 th CENTURY DECADE										2000-05	Tot.
		1901-09	1910-19	1920-29	1930-39	1940-49	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99		
1	USA	- (1)	- (-)	2 (2)	3 (3)	1 (2)	4 (11)	7 (9)	12 (13.5)	8 (11.5)	13 (16)	9 (11.5)	59 (80.5)
2	Germany	3 (3)	4 (4)	3 (3)	1 (1.5)	1 (2)	3 (2)	3 (2.5)	1 (-)	7 (4)	1 (-)	3 (2.5)	30 (24.5)
3	United Kingdom	2 (2.5)	2 (3)	2 (2)	3 (3)	2 (2)	3 (2.5)	- (0.5)	4 (6)	- (0.25)	-	1 (0.5)	19 (22.25)
4	France	2 (4)	-	2 (3)	-	-	-	1 (1)	1 (1)	-	1 (2.5)	-	7 (11.5)
5	Russia	-	-	-	-	-	3 (3)	2 (3)	1 (1)	-	-	3 (2.5)	9 (9.5)
6	Nether-Lands	2 (2)	2 (2)	-	-	-	1 (1)	-	-	2 (1.5)	2 (2)	-	9 (8.5)
7	Switzer-Land	-	-	1 (-)	- (0.5)	-	1 (-)	-	-	2 (3.5)	- (0.5)	-	4 (4.5)
8-9	Sweden	-	1 (1)	1 (1)	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	-	-	4 (4)
8-9	Japan	-	-	-	-	1 (1)	-	1 (1)	1 (1)	-	-	1 (1)	4 (4)
10	Denmark	-	-	1 (1)	-	-	-	-	1 (1.5)	-	-	-	2 (2.5)
11	Italy	1 (0.5)	-	-	1 (1)	-	1 (-)	-	-	1 (-)	-	1 (-)	5 (1.5)
12	India	-	-	-	1 (1)	-	-	-	-	1 (0.25)	-	-	2 (1.25)
13	Austria	-	-	-	2 (1)	2 (-)	-	-	-	-	-	-	4 (1)
14	Canada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 (1)	-	2 (1)
15	Ireland	-	-	-	-	-	1 (0.5)	-	-	-	-	-	1 (0.5)
16	China	-	-	-	-	-	3 (-)	-	-	-	1 (-)	-	4 (-)
	Other countries, and special mentions*(see main text)	Poland, Hungary, Luxemburg, each: 1 (-)	Australia 1 (-)	-	Romania* (results of Proca 1936), after Yukawa 1935	-	-	Australia, Hungary, Poland, each: 1 (-)	Hungary, Norway, Pakistan, each: 1 (-)	-	Algeria, Poland, each: 1 (-)	-	5(-)
	Average number of laureates/prize	1.5	1.1	1.2	1.4	1.0	2.0	1.7	2.5	2.2	2.2	3.0	1.79
	Average age at the award	49.2 years	48.1 years	45.6 years	42.2 years	51.4 years	49.3 years	50.1 years	54.2 years	59.5 years	60.05 years	66.7 years	53.7 years*
	Average await duration	10.1 years	10.8 years	13.8 years	8.6 years	18.1 years	12.2 years	14.1 years	19.6 years	19.5 years	22.35 years	26.9 years	16.9 years**

* Minimum age at the Physics Nobel Prize award: 25 years (W.L. Sir Bragg, 1915) and maximum age: 88 years (Raymond Davies jr., 2002)

** Minimum await duration from the discovery: 1 year (W.H. Bragg, Lee & Yang, etc) and maximum await duration: 55 years (E. Ruska, 1986)

Table 4. Classification of all World Universities and Research Institutions upon their contributions to the Education or Use of some Physics Nobel prizes laureates (1901-2005)⁶

1. University of Cambridge, UK: 11 D + 9 M + 13 B + 408 AY = 602 p; 2. Harvard University, Mass., USA: 9 D + 7 M + 5 B + 358 AY = 498 p; 3. Columbia University, NY, USA: 11 D + 4 M + 4 B + 259 AY = 401 p; 4. Princeton University (Institute for Advanced Studies, incl.), New Jersey, USA: 6 D + 3 M + 294 AY = 369 p; 5. Stanford University (Linear Accelerator Center = SLAC, incl.), California, USA: 2 D + 1 B + 341 AY = 364 p; 6. University of Chicago, Illinois, USA: 8 D + 2 M + 4 B + 230 AY = 332 p; 7. Phys. Inst. "P. N. Lebedeva", Moscow, Russia: 3 D + 292 AY = 322 p; 8. California Institute of Technology (Caltech), USA: 6 D + 4 B + 235 AY = 307 p; 9. University of California, Berkeley, USA: 3 D + 1 B + 245 AY = 278 p; 10. Massachusetts Institute of Technology (M. I. T.), USA: 6 D + 4 B + 195 AY = 267 p; (i) Bell Telephone Laboratories, N. J., USA: 227 AY & p; 11. Cornell University, Ithaca, NY, USA: 1 D + 1 M + 2 B + 175 AY = 196 p; 12. University of Berlin, Germany: 6 D + 1 B + 125 AY = 188 p; 13. University of Paris IV, Sorbonne, France: 4 D + 4 B + 115 AY = 167 p; (ii) CERN, Geneva, Switzerland: 141 AY & p; 14. Moscow State University, Russia: 3 D + 2 M + 2 B + 91 AY = 137 p; 15-16. University of Leiden, Netherlands: 4 D + 2 B + 90 AY and: University of München, Germany: 6 D + 76 AY, both 136 p; (iii) IBM Zürich Research Laboratory, Rüschlikon, Switzerland: 134 AY & p; 17. École Normale Supérieure, Paris, France: 3 D + 3 B + 88 AY = 127 p; 18. University of Copenhagen, Denmark: 2 D + 2 M + 95 AY = 125 p; 19. University of Göttingen, Germany: 5 D + 1 M + 64 AY = 119 p; (iv) Max Planck Institute, Heidelberg & Garching, Germany: 112 AY & p; 20. University of Heidelberg, Germany: 3 D + 81 AY = 111 p; 21. Imperial University of Tokyo, Japan: 2 D + 1 M + 2 B + 68 AY = 99 p; 22-23. Imperial College of Science and Technology, London, UK: 92 AY and: University of Illinois, Urbana, Champaign, USA: 1 D + 2 M + 1 B + 69 AY, both 92 p; 24. University of Colorado, Boulder, USA: 1 D + 80 AY = 90 p; 25. University of Utrecht, Netherlands: 2 D + 3 M + 3 B + 45 AY = 89 p; 26. Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich, Switzerland: 4 D + 1 M + 3 B + 34 AY = 88 p; 27. University of London, UK: 2 D + 1 B + 60 AY = 83 p; 28. Technische Hochschule, München, Germany: 1 D + 2 M + 1 B + 58 AY = 81 p; 29. University of Amsterdam, Netherlands: 1 D + 68 AY = 78 p; 30. Collège de France, Paris, France: 1 D + 62 AY = 72 p; 31-32. University of California, Santa Barbara, CA, USA: 67 AY and: "Ioffe" Phys. Techn. Institute, Sankt Petersburg (Leningrad), Russia: 2 D + 47 AY, both 67 p; 33-35. University of Bristol, UK: 1 B + 63 AY, University of Würzburg, Germany: 1 D + 56 AY, and: University of Zürich, Switzerland: 2 D + 46 AY, all 66 p; 36. University of Edinburgh, Scotland, UK: 64 AY & p; 37. Royal Institution of Great Britain, UK: 61 AY & p; 38. University of Uppsala, Sweden: 1 D + 1 B + 47 AY = 60 p; (v) Brookhaven National Laboratory (BNL), Upton, NY, USA: 56 AY & p; 39. Moscow Institute for Physics & Technology, Russia: 1 M + 50 AY = 55 p; 40. University of Michigan, Ann Arbor, USA: 1 D + 1 M + 2 B + 33 AY = 54 p; (vi-vii) National Institute of Standards & Technology (NIST), Boulder, USA and: Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, Paris, France, both 53 AY & p; 41. Technische Hochschule, Berlin, Germany: 2 D + 2 B + 25 AY = 51 p; 42-45. University of Pennsylvania, Philadelphia, USA: 1 D + 38 AY, University of Yale, Connecticut, USA: 3 D + 1 B + 15 AY, University of Groningen, Netherlands: 1 B + 45 AY, and: University of Manchester, UK: 2 M + 38 AY, all 48 p; (viii) Theoretical Physics Institute, Copenhagen, Denmark: 48 AY & p; 46-47. University of Strasbourg, France: 1 D + 37 AY, Imperial University of Kyoto, Japan: 1 M + 1 B + 39 AY, both 47 p; 48. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden: 1 D + 36 AY = 46 p; 49. Trinity College, Dublin, Ireland: 1 M + 40 AY = 45 p; 50-51. Brown University, Rhode-Island, USA: 42 AY and Physikalisches Technische Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, Germany: 1 D + 1 B + 29 AY, both 42 p; (ix) General Electric Comp., USA: 41 AY & p; (x) Nordic Institute for Theoretical Atomic Physics, Copenhagen, Denmark: 39 AY & p; 52. Mc Master University, Hamilton, Ontario, Canada: 38 AY & p; 53. University of Washington, Seattle, USA: 37 AY & p; 54. University of Oxford, United Kingdom: 2 D + 2 B + 10 AY = 36 p; (xi-xii). Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder, USA and: International Business Mach., J. T. Watson Res. Center, Yorktown Heights, NY, USA, both 35 AY & p; 55-56. University of Bonn, Germany: 34 AY and: University of Hamburg, Germany: 1 D + 24 AY, both 34 p; (xiii) Siemens&Halske AG, Berlin, Germany: 34 AY & p; 57-58. University of Leipzig, Germany: 1 D + 22 AY and: École Polytechnique de Palaiseau, Paris, France: 32 AY, both 32 p; 59. University of Grenoble, France and: (xiv) Unified Institute of Nuclear Researches, Dubna, Russia, both 31 AY & p; 60-62. John Hopkins University, Baltimore, Maryland, USA: 30 AY, Carnegie Institute of Technology, Pennsylvania,

⁶ Only the identified activities (by the authors of this study) are registered here. In order to accomplish this classification, the following scale was used: 1 activity year (AY) in the respective institution (after the obtainment of the highest scientific degree) = 1 p; PhD degree (D) = 10 p; MS degree (M) = 5 p; BSc degree (B) [all in the considered institution] = 3 p, roman numerals refer to research institutions, Arabic numeral to educational institutions.

Pittsburgh, USA: 1 D + 1 M + 1 B + 12 AY, and University of Liverpool, UK: 1 D + 1 B + 17 AY, all 30 p; 63. University of Adelaide, Australia: 1 M + 24 AY and: (xv) Manhattan & Los Alamos projects, USA: 29 AY, both 29 p; 64-65. University of Toronto, Canada: 2 D + 1 M + 1 B and: University of Pennsylvania, Philadelphia, USA: 1 D + 1 M + 1 B + 10 AY, both 28 p; 66. University of Roma, Italy: 1 D + 17 AY and: (xvi) Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm, Sweden: 27 AY, both 27 p; 67-68. University of Vienna, Austria: 1 D + 16 AY, Texas A & M University, Texas, USA and: (xvii) Digital Pathways Inc., California, USA: 26 AY, all 26 p; 69. University of Minnesota, USA: 1 D + 1 M + 10 AY = 25 p; 70-73. University of Wisconsin, Milwaukee, USA: 2 M + 2 B + 8 AY, University of Graz, Austria, University of Frankfurt, Germany, and P. L. Kapitza Institute for Physical Problems, Moscow, Russia: 1 D + 14 AY, all 24 p; 74. University of California, San Diego, USA: 23 AY & p; 75-79. University of Lund, Sweden: 1 D + 12 AY, University of California, Irvine, USA, State University of New York, Stony Brook, NY, USA, Freie Universität, Berlin, Germany, Gorky Nizhny-Novgorod University, Russia, (xviii)-(xix): Raman Research Institute, Bangalore, India, and: Alexander von Humboldt Foundation, Germany: 22 AY, all 22 p; 80. École Supérieure Municipale de Physique et Chimie, Paris, France: 21 AY & p; 81-85. New York University, USA, University of Pisa, Italy: 2 D, Fordham University, NY, USA, University of Texas, Austin, USA, and: Institut de Radium, University of Paris, France: 20 AY, all 20 p; 86-87. Washington University, St. Louis, Missouri, USA, Scuola Normale Superiore, Pisa, Italy, and (xx). Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris, France: all 19 p; 88-89. University of Bordeaux, France: 1 D + 8 AY, Duke University, North Carolina, USA: 1 D + 1 M + 3 AY, both 18 p; 90-92. University of Calcutta, India, Dublin Institute for Advanced Studies, Dublin, Ireland, Moscow Technical University for Steel and Alloys, Moscow, Russia, and: (xxi). Texas Instruments, Dallas, USA: 16 AY & p; 93. Indian Institute of Science, Bangalore, India, (xxii)-(xxiii). British Atomic Energy Project, UK, British Thomson-Houston Co., Rugby, United Kingdom: all 15 AY = 15 p; (xxiv) American Science & Engineering Corporation (ASE), USA: 14 AY = 14 p; 94-103. Presidency College, Madras, India: 2 M + 1 B, École des Ponts et Chaussées, Paris, France, University of Milan, Italy: 1 D + 1 B, University of Wrocław (←Breslau), Poland: 1 D + 3 AY, Florida State University, USA, University of California, Los Angeles, USA, Case Institute of Technology, Cleveland, Ohio, USA, University of Sussex, Brighton, UK, University of Kiel, Germany, University of Tübingen, Germany: 13 AY, all 13 p; 104-106. University of Stuttgart, Germany: 1 D + 2 AY, University of Giessen, Germany, Technische Hochschule, Aachen, Germany, (xxv) Nobel Institute of Physics, Stockholm, Sweden: 12 AY, all 12 p; 107. University Paris-Sud, Orsay, France, (xxvi-xxvii). Teyler Laboratory, Haarlem, Netherlands, Centralab, Milwaukee, Wisconsin, USA: 11 AY, all 11 p; 108-116. University of Massachusetts, Amherst, USA, Rensselaer Polytechnic Institute, NY, USA, Rochester University, NY, USA, Harkov Institute of Mechanics, Ukraine, Osaka University, Japan, Tokai University, Japan: 1 D, University of Texas, Dallas, USA, City College, New York, USA, Hanover Institute of Technology, Germany, (xxviii)-(xxxi). Fermi National Laboratory, Batavia, Illinois, USA, Shockley Transistor Lab. Company & Unit, USA, Cavendish Laboratory, UK, Indian Finance Department, India: 10 AY, all 10 p; 117-118. Goethe Gymnasium (University), Frankfurt, Germany: 3 B, University of Arizona, USA, (xxxii)-(xxxiii). Kobe Kogyo Corp. Japan, Unidentified Russian research laboratory, where worked G. L. Hertz (1945-1954): 9 AY, all 9 p; 119-124. University of Maryland, College Park, USA, University of Alberta, Edmonton, Canada: 1 M + 1 B, Purdue University, Indiana, USA: 2 B + 2 AY, University of Punjab, Lahore, Pakistan: 1 M + 3 AY, Whitman College, Walla Walla, Washington, USA: 1 B + 5 AY, University of Aberdeen, Scotland, UK, (xxxiv). Metallurgical Laboratory, Univ. of Chicago, Illinois, USA: 8 AY, all 8 p; 125. USA Naval Academy, Maryland, USA: 1 B + 4 AY, (xxxv)-(xxxvii). Fritz Haber Chem. Phys. Lab., Dahlem, Germany, Varian Associates, Palo-Alto, CA, USA, European Space Observatory (ESO), München, Germany: 7 AY, all 7 p; 126-131. University of Technology, Ohio, USA, State University S. Petersburg, Russia: 2 B, Polytechnic Institute of S. Petersburg, Russia: 1 B + 3 AY, Leeds University, UK, Innsbruck University, Austria, Technical Physics Institute, Harkov, Ukraine, (xxxviii)-(xliv). Associated Universities Inc., Washington DC, USA, Telecom. Res. Establishment, UK, Deutsche Forschungs-gemeinschaft, Germany, Atomic Energy Research Center (CEA), Saclay, France, Swiss Patent Office, Bern, Switzerland, Gas Accumulator Co., Sweden: 6 AY, all 6 p; 132-135. University of Oregon, Eugene, USA, Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey, USA, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, USA, University of Tsinghua, China: 1 M, (xliv)-(il). RCA Laboratories, Princeton, NJ, Philips Lamp Factory, Netherlands, UK Atomic Energy Authority, UK, UK Naval Department, UK, British Govern. Service, UK, Max von Laue Institut, Grenoble, France: 5 AY, all 5 p; 136-138. Ohio State University, Columbus, USA: 1 B + 1 AY, Clark University, Worcester, Massachusetts, USA, Marburg University, Germany, (l)-(liv). US Naval Ordnance Lab., Washington DC, USA, Fernseh Gesellschaft, Berlin – Zehlendorf, Germany, Philips Research Laboratory, Eindhoven, Netherlands, Sony Corporation, Japan, Institut Batelle, Geneva, Switzerland: 4 AY, all 4 p; 139-165. Southern Methodist University (SMU), Dallas, USA; Rice University, Texas, USA; Furman University, S. Carolina, USA; Oberlin College, Ohio, USA; College of Wooster, Ohio, USA; Brooklyn Polytechnic

Institute, NY, USA; Dartmouth University, New Hampshire, USA; Armherst College, Massachusetts, USA; University of South-Dakota, USA; Augustana College, Rock Island, Illinois, USA; Juniata College, Huntington, Pennsylvania, USA; Mc Gill University, Canada; Münster University, Germany; Technical University Würzburg, Germany; Owens College, UK; Methodist College, Belfort, Ireland; Voronej University, Russia; Electro-technical Institute, S. Petersburg, Russia; École des Mines, Paris, France; Delft Technology University, Netherlands; Chalmers Tekniska Högskola (Univ. of Technology), Göteborg, Sweden; Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway; Hebrew University of Jerusalem, Israel; South-West National University, Kuming, China; Chekiang National University, China: 1 B, Sarah Lawrence College, NY, USA; Greifswald University, Germany; Halle University, Germany; Hannover Technische Hochschule, Germany; (lv)-(lvi). US Army Air Force; Monsanto Chem. Comp. Lab., Miamisburg, Ohio, USA: 3 AY, all 3 p; 166-176. Rutgers University, New Jersey, USA; University of Indiana, Bloomington, USA; Clermond-Ferrand University, France; St. Thomas Gymnasium, Leipzig, Germany; Technische Hochschule, Karlsruhe, Germany; Firenze University, Italy; Palermo University, Italy; Veterinary College, Vienna, Austria; Polytechnic Institute of Odessa, Ukraine; University of Crimea, Ukraine; I. M. Sverdlov University, Russia (2 years of teaching of I.Y. Tamm, PhNP-1958); (lvii)-(lxii). Westinghouse Lamp Co., USA; US Radium Corporation, NY, USA; Argonne National Lab., Illinois, USA; US Atomic Energy Commission, USA; Canadian General Electr. Co., Canada; Dept. Sci. & Ind. Research, London, UK: all 2 AY & 2 p; 177-180. Jena University, Germany; Landwirtschaftliche Akademie, Hohenheim, Germany; Rostock University, Germany; Prague University, Czech Republic; (lxiii)-(xlix). US Signal Corps, USA; Westinghouse Electr. & Manufacturing Co., USA; Owens Valley Radio Observatory, USA; National Physics Laboratory, UK; High Magnetic Fields Laboratory, Grenoble, France; Francqui Foundation, Belgium; Norwegian Patent Office, Norway: all 1 AY & 1 p.

Table 5. Main features of scientific activities of the Physics Nobel Prizes laureates with engineering studies (and/or studies in technical universities)

Nr.	Laureate name & award year of Physics Nobel prize	Level of the engineering studies	Main accomplishments
1: 1 st	Röntgen, Wilhelm Conrad, 1901	Eng., Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 1868	X rays discovery (Würzburg, 1895)
2: 4 th	Becquerel, Antoine Henry, 1903	Eng. (1877), Dr. Eng. (1888), École des Ponts et chaussées, Paris	Natural radioactivity (Paris, 1896)
3: 10 th	Michelson, Albert Abraham, 1907	Alumni of the Navy Academy of USA, Maryland, 1873	Michelson's interferometer & Mich.-Morley experiment, 1887
4: 16 th	Dalén, Nils Gustaf, 1912	Eng.: Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1896 & ETH Zürich, 1 year	Automatic regulators and Gas Accumulators for lighthouses&buoys
5: 24 th	Guillaume, Charles-Édouard, 1920	PhD Eng.: Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 1883	Metrology materials: invar, elinvar, etc, 1899
6: 25 th	Einstein, Albert, 1921	Eng., Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 1900	Theories of: relativity & gravitation, photoelectric effect, stimulated emission, Einstein - de Haas exp., Bose - Einstein statistics
7: 39 th	Dirac, Paul Adrien Maurice, 1933	BSc Electrical Engineering, University of Bristol, 1921	New productive forms of the atomic theory 1928, 1930 (with E. Schrödinger)
8: 40 th	Chadwick, Sir James, 1935	Postuniv.: Physikalisch-Technische Reichanstalt, Berlin, 1914	Experimental disco-very of neutron, 1932
8: 41 st	Anderson, Carl David, 1936	B.Sc. (1927) & PhD (1930): Caltech, California, USA	Experimental disco-veries of positron, 1932 & lepton μ , 1937
10: 55 th	Cockroft, Sir John Douglas, 1951	M. Sc.Tech.: University of Manchester, 1922	Artificial Transmutation of Atomic Nuclei, 1932
11: 62 nd	Lamb, Willis Eugene jr., 1955	B. Sc. Chemistry: Univ. of California at Berkeley, 1934	Fine structure of H spectrum, 1947

12: 63 rd	Kusch, Polycarp, 1955	B. Eng.: Case Institute of Technology, Ohio	Accurate determination of $\mu_{electron}$, 1948
13: 64 th	Shockley, William Bradford, 1956	Eng.: Caltech, 1932; PhD Eng.: MIT, Cambridge, Mass., 1936	Design (with phys. John Bardeen and W. H. Brattain) of transistor, 1948
14: 74 th	Glaser, Donald Arthur, 1960	B. Eng.: Case Inst. Technol., Ohio, 1946; PhD Eng.: Caltech, 1950	Invention of the chamber with bubbles, 1952
15: 76 th	Mössbauer, Rudolf Ludwig, 1961	B. Eng. (1952), M. Eng. (1955), Dr. Eng. (1958): Technische Hochschule, München, Germany	Mössbauer effect, 1958
16: 78 th	Wigner, Eugene Paul, 1963	Eng. Chem.(1924), Dr. Eng.(1925) Technische Hochschule, Berlin	Theory of atomic nucleus and elementary particles (1931)
17: 81 st	Townes, Charles Hard, 1964	Dr. Eng.: Caltech, 1939	NH_3 maser, 1954 (experimental part)
18: 86 th	Feynman, Richard Philips, 1965	B. Eng.: MIT, Cambridge, Mass., 1939	Quantum electro-dynamics (1947)
19: 90 th	Gell-Mann, Murray, 1969	Dr. Eng.: MIT, Cambridge, Mass., 1951	Classification of elementary particles and fundamental interactions
20: 93 rd	Gabor, Dennis, 1971	B. & Dr. Eng.: Technische Hochschule, Berlin-Charlottenb., 1927	Invention of holography, 1948
21: 96 th	Schrieffer, John Robert, 1972	B. Eng.: MIT, Cambridge, Mass., 1939	BCS theory of superconductivity, 1957
22: 97 th	Giaever, Ivar, 1973	B. Eng.: Norway Inst. Technol., 1952; Dr. Eng.: Rensselaer Polytechnic Inst., New York, 1964	Experim. discovery of tunneling in semi- & superconductors, 1960
23: 104	Rainwater, Leo James, 1975	B. Eng.: Caltech, 1939	Combined nuclear model, 1950
24: 105	Richter, Burton, 1976	B. Eng. (1952), Dr. Eng. (1956): MIT, Cambridge, Mass., USA	Discovery of ψ/J particle $\rightarrow$ charm quark
25: 110	Kapitza, Piotr Leonidovich, 1978	B. Eng.: Polytechnic Institute Sankt-Petersburg, 1918	Liquid He super-fluidity, 1938 & thermo-nuclear plasma (Tokamak), 1970
26: 112	Wilson, Robert Woodrom, 1978	Dr. Eng.: Caltech, 1962	Discovery of cosmic microwave background radiation, 1978
27: 117	Fitch, Val Longsdon, 1980	B. Eng.: Univ. Mc Gill, Montreal, Quebec, Canada	Violation of fundamental symmetries principles in neutral K mesons disintegration, 1964
28: 120	Siegbahn, Kai Manne Boerge, 1981	Dr. Eng.: Royal Technological Institute, Stockholm, Sweden, 1944	Development of the high-resolution electronic spectroscopy, 1957
29: 121	Wilson, Kenneth Geddes, 1982	Dr.: Caltech, 1961	Theory of critical phenomena in connection with phase transitions, 1971
30: 123	Fowler, William Alfred, 1983	Phys. Eng.: Ohio State University, 1933; PhD: Caltech, 1936	Formation of the chemical elements in Universe by star explosions, 1957
31: 125	Van der Meer, Simon, 1984	Phys. Eng.: University of Technology, Delft, 1952	Discovery of W & Z bosons – agents of weak interactions, 1983
32: 126	Klitzing, Klaus von, 1985	Phys. Diplomat: Technical University Braunschweig, 1969	Discovery of the quantum Hall effect, 1969
33: 127	Ruska, Ernst, 1986	Eng.: Technische Hochschule, Berlin, 1931	Electron Microscope, 1931 ... 1937
34:	Rohrer, Heinrich, 1986	Eng. (1955) and Dr. Eng. (1960):	Design (with phys. Gerd

129		Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich	Binnig) of the scanning tunneling microscope, 1981
35: 131	Bednorz, Johannes Georg, 1987	Dr. Eng.: ETH, Zürich, 1982	Ceramic superconductors - HTC, 1986
36: 132	Müller, Karl Alexander, 1987	M. Eng. (1952), Dr. Eng. (1958): ETH, Zürich	Ceramic Superconductors with high critical temperature, 1986
37: 137	Paul, Wolfgang, 1989	M. Sci. (1937) and PhD (1939): Technische Hochschule, Berlin	Development of the ion trap technique, 1954
38: 139	Kendall, Henry Way, 1990	PhD: Massachusetts Institute of Technology (MIT), 1955	Development of the quark model, 1968
39: 142	Charpak, Georges, 1992	Eng.: École des Mines, Paris, 1948	Invention and development of particle detectors, in particular the multiwire proportional chamber, 1968
40: 147	Reines, Frederick, 1995	M. Eng.: Stevens Institute of Technology, N. J., 1939	Detection of the (electronic) neutrino, 1956
41: 148	Perl, Martin Lewis, 1995	Chem. Eng.: Brooklyn Polytechnic Institute, New York, 1948	Discovery of the tau lepton, 1975
42: 150	Osheroff, Douglas D., 1996	B. Sc.: Caltech, 1967	Discovery of super-fluidity in helium-3, 1971
43: 151	Richardson, Robert C., 1996	B. Physics & Electr. Eng.: Virginia Polytechnic Institute, 1960	Discovery of super-fluidity in helium-3, 1971
44: 154	Phillips, William D., 1997	PhD: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, US, 1976	Development of methods to cool and trap atoms with laser light, 1988
45: 155	Laughlin, Robert B., 1998	PhD: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, US, 1979	Theory of the fractional quantum Hall effect, 1983
46: 160	Alferov, I. Zhores, 2000	Electr. Eng.: Leningrad Electro-technical Institute, 1952 & PhD in technology, Ioffe Phys. Techn. Inst. Leningrad, 1961	Development (with phys. H. Kroemer) of semiconductor hetero-structures used in high-speed and optoelectronics
47: 162	Kilby, Jack S., 2000	Electr. Eng.: University of Illinois, 1947; M. Electr. Eng.: University of Wisconsin, 1950	Invention of the integrated circuits, 1958 (TI, Dallas)
48: 163	Cornell, Eric A., 2001	PhD (Physics): Massachusetts Institute of Technology, 1990	Achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, 1995
49: 164	Ketterle, Wolfgang, 2001	MS: Technical University München, 1982	Achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, 1995
50: 165	Wieman, Carl E., 2001	B.Sc.: Massachusetts Institute of Technology (MIT), 1973	Achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, 1995
51: 166	Davis, Raymond jr., 2002	Chem. BSc (1938), Phys. Chem. PhD (1942): Univ. of Maryland	Contributions to astrophysics & detection of cosmic neutrinos, 1971
52: 176	Hall, John L., 2005	BSc (1956), MS (1958), PhD (1961): Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, PA, US	Development of the laser-based precision spectroscopy & optical frequency comb. technique, 1972..84

Average percentages of the Physics Nobel Prize laureates who had engineering studies, or who studied in some technical universities, per decade

23.1% (1901-1909), 10% (1910-1919), 16.7% (1920-1929), 27.3% (1930-1939), 0% (1940-1949), 20% (1950-1959), 35.3% (1960-1969), 28% (1970-1979), 50% (1980-1989), 36.4% (1990-1999), 38.9% (2000-2005), and: 29.3% = the general (average) percentage for the whole interval 1901-2005

Table 6. Physics contributions to the student's education in various countries and universities.

University/Faculty/Source	World rank*	Semester 1	Semester 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8	Physics Total (%)
University of Pittsburgh (Bachelor Cycle = 4 years) School of Engineering Engineering Physics	<u>56</u> USA	4 Credits from 17 total 4 Credits from 17 total	4 Credits from 17 total 4 Credits from 17 total	None 2 PHYS +4? From 16 tot.	-	None 6 cr. from 16 total	None 6 cr from 15 total	None 3 cr +3? elect. / 18 tot	None 3 cr +3? elect. / 15 tot	23.5% 1 st year At least 5.9% from total (School of Engineering)
Notre Dame University, Indiana (Bachelor Cycle=4yr) Computer Science Computer Engineering	<u>106</u> USA	- -	4Cr from 18 tot 4Cr from 18 tot	4Cr / 17.5 tot 4Cr / 17.5 tot	- -	- -	- -	- -	-(130 total) -(130 total)	22.22% sem.2 & 3 6.15% total
Portland State University, Oregon (BS Cycle = 4 years) Computer Science Computer & Elec Engineering	<u>225</u> USA	12 Credits from 51 total 12 Credits from 51 total		In frame of Sciences Electives Approx. 25% from 8 Credits from 48 total		6 credits from 45 total		- -	- -	23.5% 1 st year 7.7% from total 9.4% from total 9.6% from total
Medium level technical USA faculties										Average 7.37% from total
Technical University Darmstadt Allgemeiner Maschinenbau	<u>249</u> Germany	Solid state (4 credits)		Physik 4 c.p.	Phys Praktikum, 3 cr.					
Politecnico di Milano (BS=3 yr) Ingegneria Informatica e on Line Ingegneria elettrica	<u>470</u> Italy	Primo Anno 10 credits from a total of 50 12.5 credits from a total of 60		Secundo Anno - 5 credits from 60 total		Terzo Anno - -		BACHELOR CYCLE FINISHED		6.67% from total 9.72% out total
Politecnico di Torino (BC=3yrs) Ingegneria dell'informazione Ingegneria elettronica Ingegneria fisica	<u>528</u> Italy	Primo Anno 10 credits from a total of 59 10 credits from a total of 59 12 credits from a total of 61		Secundo Anno 3 + 4 (Fond. Meccan.)/55 total- 29 credits from a total of 59		Terzo Anno - 18 cr. +? out of 59		BACHELOR CYCLE FINISHED		9.9% from total 5.7% from total > 35% from total
Université de Nantes Ingénieur Sciences des Matériaux	<u>875</u> France	Appl. Phys. I (60 h)	Appl. Phys. II (62 h)	Solid State I-II/Stat Phys (84 h)						Approx. 6.33% from total
Université de Nantes (BC=3 yrs) Ingénieur Génie Electrique	<u>875</u> France	E&M: 42 hrs +Thermo 42 h out of 430 hrs	Semicond., 26 h + mech. 42 h out of 408 hrs					BACHELOR CYCLE FINISHED		6.04% from total
University of Applied Sciences Brandenburg (prof. Michael Vollmer)	<u>924</u> Germany	-	Physik 4C+2S+2L	-	-	-	-			
Technische Universität Braunschweig	<u>1005</u> Germany	-	Physik 3 C + 3 L	-	-	-	-			
Cours Préparatoire Polytechnique Greneoble	<u>1075</u> France	Mech: 60 h = C+S+L	Thermo 52 h E&M 52h	electronics 58h waves (60 h)						14.1% from total

University/Faculty/Source	World rank*	Semester 1	Semester 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8	Physics Total (%)
Ingenieur de Polytech Grenoble Informatique Industrielle et Instrumentation	<u>1075</u> France	General science educ. 280 h: maths/physics		General science educ. 140 h: maths/physics						Approx. 4.5% from total
Ingenieur de Polytechnique de Grenoble Spec. Prevention de Risques	<u>1075</u> France	Fund. science: 371 h (Biologie, Chimie, Info, Physique, Probabilités)		Fund. science: 132 h (, échanges thermiques, ..., mécanique des fluides, ...)						Approx. 3.08% from total
Ecole Supérieure d'Ingénierie en Électrotechnique et Electronique (ESIEE), Noisy le Grand, Paris, Ingénieur ESIEE	<u>2559</u> France	1-ère Année Phys. (Mécanique du point, Thermodynamique, Electrostatique, Optique géométrique) 150 hrs. out of 792 hrs		2-ème Année Phys (Electrocinétique, Electrotechnique, Magnéto-statique, Ondes des prop.) 150 hrs out of 834 hrs		3-ème Année NO AVAILABLE INFORMATION		CYCLE MAJEURES 4-ème Année Physics of semicond. devices, ~37.5 hrs		13.78% from total
Budapest University of Technology and Economics Faculty of Electrical Engineering and Information Technology Prof. Pal Pachter (SEFI)	<u>242</u> Hungary	-	4 lect. hrs/wk, 2 opt. (recit.) hrs/wk Exp. demonstr. at lect 5 cr. EE & 4 cr. IT out of 30	4 lect. hrs/wk2 opt. sem. (recit.) hrs/wk, exp demonstr. at lect 5 cr. EE & 4 cr. IT out of 30	-	-	-	-	BS CYCLE FINISHED	Electrical engineering 4.76% Information Technology 3.81%
Technical University from Brno Faculty of Mechanical Engineering (sent information by Prof. Miroslav Dolozilek)	<u>530</u> Czech Republic	-	Physics I, 39 hrs lect, 26 hr sem. 13 hrs laborat. Mech. →Thermodynamics	Physics II, 39 hrs lect, 26 hrs sem., 26 hrs laborat., EM, NuclearPhysics	-	-	-	MASTER CYCLE		Mech. Eng. 8.3% from total (Bachelor cycle)
Technical University from Brno Faculty of Electrical Engineering & Communication (according to TPPE-2005 paper of Prof. E. Hradilova)	<u>530</u> Czech Republic	-	Physics I 26 hrs lectures 13 hrs seminars 26 hrs laborat.	Physics II 26 hrs lectures 13 hrs seminars 13 hrs laborat.	Physics Seminar 26 hrs seminars	-	-	MASTER CYCLE Modern Physics 3+1+0, nondestructive diagnostics & phys. of dielectrics 2+1+1, Nanotech. 2+1+1		Elect. Eng. 7.06% (Bachelor cycle)
Warsaw Univ. of Technology & Technical Univ. from Poland (prof. I. Strzalkowski) BS= 3 yrs	<u>766</u> Poland	Physics I	Physics II	Phys III Tot: 90-115 hrs (60...75 hrs lect.)	-	-	-			3...4% from total
Best technical universities from Central Europe										Ave: 5.49% from total
EPFL: Génie électrique et électronique	<u>137</u> Switzerland	Année Propédeutique Physique Générale Coeff. 1 from 12 total	Phys. III, IV, sem. 3 & 4 10 Credits from a total of 56 credits					BACHELOR CYCLE FINISHED		14 Credits Approx. 9.3%

University/Faculty/Source	World rank ^a	Semester 1	Semester 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8	Physics Total (%)
University "Ben Gurion" Negev Faculty of Electrical Engineering and Computer Sciences	448 Israel			Min 2 Physics courses, + Modern Physics Course						
University "Politehnica" Bucharest 1) Faculty of Electronics 2) Faculty of Engineering in International Languages FEIL	1758 Romania	Phys. I, 3 lect., 1 lab hrs/week	Physics II 3 lectures 1 seminar hours/week	Physics III 2 lectures 1 laboratory hours/week	FEIL Same numbers of hrs, but sem. 2 - 4	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	112 lecture hrs 28 seminar hrs 28 laboratory hrs Total 168 hrs
University "Politehnica" Bucharest 1) Faculty of Control Systems and Computers 2) Electrical Engineering Fac.	1758 Romania	Only 1 Physics semester 3 lect., 3 lect., 1 sem, 2 lab. 2 laboratory Computer Div. Electr. Eng. & Contr. Syst. Div.		-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	42 lecture hrs 14 seminar hrs 28 laboratory hrs Total: 70...84 hrs
University "Politehnica" Timisoara Only 1 Physics teaching semester	2182 Romania	(N-2) faculties 2 lectures + 1 S + 1 L	Faculty of Electronics 2 lectures + 1 S + 1 L	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	28 Lect. hrs 14 Seminar hrs 14 Laboratory hrs Total 56 Phys. hrs
University "Politehnica" Timisoara Fac. Manufacturing & Transp. Management	2182 Romania	1 sem only! 1 C + 0S + 0L!	-	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	14 Lecture hrs ONLY 14 Physics hours!
Technical University Iasi 1) Fac. of Industrial Chem. (FIC) 2) Faculty of Electronics (FE) 3) Faculty of Civil Eng. (FEC)	2386 Romania	Physics I 2 lect., 1 sem. (FE, FEC) 2 lab. hrs/ wk (FIC)	Physics II 3 lect. (FEC) 2 lect. (FIC, FE) 2 lab. hrs/ wk (all)	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	56...70 lecture hrs 14 seminar hrs 56 laboratory hrs 126...140 total hours
Technical University Iasi 1) Faculty of Mechanics (FM) 2) Faculty of Automations (FA)	2386 Romania	2 C + 1 L (FM), 3 C + 2 L (FA & Comp. Sci.)	-	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	28 C + 14 Lab (FM) 42 C + 28 Lab (FA & Comp. Science)
Technical University Cluj-Napoca Fac. Electronics & Fac. Materials Sci. & Engn.	2550 Romania	Physics I 2C + 1L	Physics II 2C + 1L	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	56 Lecture hrs 28 Laboratory hrs Total 70 Physics hrs
Technical University Cluj-Napoca Fac. Mechanics, Machines Manufact., & Civil Engng.	2550 Romania	1 Physics teaching semester 2C + 1L	-	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	28 Lecture hrs 14 Laboratory hrs Total 42 Physics hrs

University/Faculty/Source	World rank ^a	Semester 1	Semester 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8	Physics Total (%)
University "Ștefan cel Mare", Suceava Faculty Electrical Engineering	3545 Romania	Physics I 2C + 2L	Physics II 2C + 2L (+1S, Comp. Division)	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	56 Lecture hrs 56 Laboratory hrs 14 Seminar (Comp) Total 112...126 hrs
University "Ștefan cel Mare", Suceava Fac. Mechanical Engineering Silviculture Faculty	3545 Romania	Biophysics 2C + 2L Silviculture Faculty	2C + 2L + 1S Faculty of Mechanical Engineering	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	28 Lecture hrs 28 Laboratory hrs 14 Seminar (ME) Total 56...70 hrs
University "Lucian Blaga" Sibiu Engineering Faculty	4405 Romania	Only 1 Physics teaching semester: 2 C + 1 applications		-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	28 Lecture hrs 14 Seminar hrs Total 42 hrs
University "Ovidius" Constanta Sections of Electronics & Chem. Engineering, resp.	5387 Romania	Physics I 2C + 1S + 1L	Physics II 2C + 1S + 1L	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	56 Lecture hrs 14 Seminar hrs 14 Laboratory hrs Total 84 Phys. hrs
University "Ovidius" Constanta Faculty Mechanics & Faculty Civil Engineering	5387 Romania	2C + 1 applies.	-	-	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	28 Lecture hrs 14 Application hrs Total 42 Physics hrs
University for Oil and Gases, Ploiesti Fac. Electrical Engng.	6657 Romania	-	-	Physics I 5C + 2S + 2L	Physics II 5C + 2S + 2L	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	140 Lecture hrs 56 Seminar hrs 56 Laboratory hrs
University for Oil and Gases, Ploiesti Fac. Oil & Oil Chem. Technol.	6657 Romania	-	-	Physics (1 Semester) 4C + 1S + 2L	-	-	-	-	Bachelor Cycle Finished	56 Lecture hrs 14 Seminar hrs 28 Laboratory hrs

* According to the Webometrics 2006 classification: <http://www.webometrics.info/>

NOTES: 1) The minimum number of Physics teaching hours at the technical universities from the EU countries was found in Germany: 3 C + 3 L at Technical University of Braunschweig (Technische Universität Braunschweig), TUB: 3 C (lectures) + 3 L (laboratory)/2nd academic semester.

2) The technical Universities (or faculties) with Physics teaching hours less than those from TUB, are in *italics* in the Table.