

Su la origjin da la teorie de cuantizazion de radiazion eletromagnetiche di Einstein*

L O R E N Z O M A R C O L I N I *

*Lis oparis d'art a indalegrin il spirit. Ognidun che al rive a capî
la teorie de radiazion di Einstein nol pues che sintisi indalegrât.
Daniel Kleppner, Rereading Einstein on Radiation*

Ristret. Il fondamentâl lavôr di Einstein dal 1905 su la cuantizazion de radiazion eletromagnetiche al è storichementri interpretât come l'at di nassite de fisiche moderne. L'An Internazionâl de Fisiche tal 2005 al è stât une grande ocasion par scrusignâ i aspiets di contignût dissiplinâr e di profondiment storic, rivuart ai lavôrs di Einstein dal 1905. In particolâr chest contribût al cîr di rispuindi, traviers une rivisitazion dal articul dal 1905 di Einstein, a cuâi che a son i trats distintifs de sô gjenialitât. Il lavôr plurilengâl che al è stât fat nol va fûr di cheste otiche. Confuartâts des resintis concuistis des neurosciençis, prime di rivâ a voltâ il test in lenghe furlane, si è volût partî dal test origjinal cul intindiment di furnî un prodot cultural e di ricerce che di une bande al dedi un jutôri ai projets di comunicazion dissiplinâr tes secondis lenghis, e di chê altre al rapresenti un esperiment di cemût che la comunicazion plurilengâl e sedi un stimul par cjapâ sù lis novitâts e par cjatâ gnovis soluzions. In fin o vin volût provâ a fâ un lavôr di valorizazion linguistiche pe lenghe furlane, doprant concets alts e sfidant i tancj che a pensin che chest al sedi pussibil dome doprant lenghis di grande difusion.

Peraulis clâf. Radiazion cuantizade, plurilinguisim, neurolinguism, marilenghe, cuarp neri (radiazion di foran), entropie, cuants di energie, efet fotoeletric, os-siladôrs, microstâts.

* Il titul si riferis a doi particolârs lavôrs che Einstein al à publicât intal 1905 e 1906. Lis traduzions di chescj articui a saran publicadis sui prossims numars dal *Gjornâl Furlan des Sciencis*. L'interès di tornâ a cjapâ in considerazion chescj lavôrs al è nassût par vie de proclaimazion dal 2005 tant che “An Internazionâl de Fisiche (WYP2005)” de bande dal UNESCO (risoluzion 58/293 dal 10/06/2004). Di fat il 2005 al è il centenari de publicazion dal prin di chescj pioniristics lavôrs di Einstein, che a fondin la fisiche moderne e che a ân marcât une vore il model di svilup da lis societâts dal XXm secul.

ITI “A. Malignani”, AIF (Associazion pal Insegnament de Fisiche) Udin, Italie.

E-mail: l.marcolini@libero.it, lorenzo.marcolini@malignani.ud.it

Introduzion. Prime di presentâ i contignûts dal contribût di Einstein dal 1905 su la nature de lûs, e chel che al seguità intal 1906, no si pues fâ di mancul di considerâ lis motivazions de sielte di presentâ chescj contribûts e ricercjis di Einstein, pluitost che altris lavôrs plui famôs. Ricuardin che il saç di Einstein dal 1905, su la “cuantizazion de radiazion di lûs”, une problematiche che e à il so corrispondent empiric intal efiet fotoeletric, al è un dai cinc, se o considerin ancje la publicazion de tesi di dotorât, dai articui publicâts di Einstein in chel che al è stât clamât l’“an des maraveis”. Intal an dopo, il 1906, Einstein al scrif un altri articul sul sogjet de lûs, dulà che al mostre di sedi cetant plui convint dal an prime su la esistence dai cuants di energjie e lu siere ilustrant, intun mût che nus fâs ancjemò maraveâ, un particolâr esperiment ideâl che al à ce fâ cul efiet Volta. Chest so mût “euristic” di presentâ lis provis des sôs intuizionis, traviers di experiments dome “pensâts”, al vignarà clamât, inte storiografie, cu la locuzion todesce “gedanken experimente”.

Di fat, inte ilustrazion dal esperiment ‘pensât’, par leâ la tension di contat di Volta cu la frecuence dai fotons di lûs, Einstein nol à nancje un lum, e nol podeve sedi different, de teorie che e nassarà tancj agns daspò su lis fassis di energjie. No di mancul chest articul, pe prime volte, al vierç un barcon su la pussibilitât che i fotons di lûs a metin in moviment cjariis eletrichis in comissuris otignudis cun solits di divierse compositionis chimiche. Fenomen che plui tart al vignarà clamât efiet fotovoltaic.

O podin allore zontâ il centenari dal 1905 al centenari de publicazion di chest lavor, tal 1906, che al met in relazion pe prime volte inte storie des sciencis fisichis l’efiet fotoeletric cul efiet Volta.

Ma, par tornâ al 1905, viodìn di passâ in rieste i lavôrs di Einstein par ordin di fame.

Prin di ogni altri, al ven iniment il lavor su la “relativitât” che al à lasât un segn profont intal imagjinari coletif. Al è ancje il lavor che si è prestât par fâ dai paralelisims cu lis rapresentazions artistichis di plusôrs letterâts e mestris des arts figurativis. Di fat, in leterature o vin narazions



Albert Einstein (1879-1955).

dulà che no si cjate olme di une trame che e disvilupi i fats seont un viers, di un principi a une fin. Un stîl leterari che al à introdusût inte leterature il teme dal dissolviment des secuencis temporâls – come intes oparis leterariis di James Joyce (1882-1941), Robert Musil (1880-1942) e Virginia Woolf (1882-1941) – autôrs che a àn scrit tai agns ator dal 1905. E daspò si pues ricuardâ lis visions de energie atomiche intes telis di artisçj come Salvador Dalì (1904-1989), fintremai a lis rapresentazions antropologichis des cosmologjis nassudis de teorie de relativitât come che si pues preseâ intai raconts leteraris di Italo Calvino (1923-1985), in agns plui dongje ai nestris. Chi a son stâts nomenâts chei nons che a son forsi plui presints ai letôrs che a àn praticât i insegnamenti scolastics intal Liceu.

Ma se il dipuesit di cognossincis dal articul su la relativitât (speciâl) dal 1905 al incjante di plui la int, parcè che al promet viaçs esotics tal temp (ideis che a àn ispirât storiis di cine ancie di buine cualitât), a son plui dificilis di presentâ, stant che si fondin su la critiche cuntri intuitive dal concet di simultaneitât di events. Ognidun che si incline a puartâ a compiment une opare di divulgazion di argoments di fisiche e di ricercjis a un public larc, ven a stâi fat no dome di specialiscj e di students une vore motivâts che si indreçaran dopo la scuele superiôr viers i studis scientifics, al à di valutâ il metodi adat se nol vûl lassâ colâ il rigôr conceituâl necessari a sghindâ mâl intindiments, e il metodi al à ce fâ cun argoments che a cjapin ancie la forme matematiche, contignude il plui pus-sibil, ma che no si pues meti di bande dal dut. Cheste necessitat e met un fren ae naturâl inclinazion dal letôr di no fermâsi a rifleti. Di fat une formule metude intal biel mieç de pagjine e oblèe a spostâ la atenzion. Il letôr si sint cussì obleât a manovrâ di colp, a spostâ a un temp seguitif la dimostrazion e intant a sgliciâ oltri ae conclusion, a fermâsi e a cjapâ une altre strade prime di tornâ sul fil dal percors. Ma al pues ancie sucedi che al viodi inte formule matematiche che si pare denant di bot un intop di sghindâ cuntune manovre svelte, e a puartâsi ae rie seguint, o piês, a fermâsi di lei cu la consecuente operazion di archiviazion dal libri. Al è il rischi di rindisi denant di chestis dificoltâts e contentâsi di trasmetti figuris “provisoris”, distantis dai concets.

Ore presint o crodin valevule la precisazion dal Galilei, cuant che al scrif intal ‘Saggiatore’ che no si pues: “intindi... il grandissim libri che al

è viert denant di nô un [jo o intint il marimont] [...] se prime no si imparé a capî la lenghe... doprade par scrivilu... cence chescj [caratars] al è un lâ a torzeon cence fin par un labirint scûr". Par cualchi argoment chest "manifest" de fisiche al pues sedi une vore temperât, par altris mancul. Intal câs dal lavôr su la relativitât, al è pûr vêr che al strument matematic i risulte elementâr, ma un autôr che al ponte a ciatâ un compromès necessari tra rigôr e semplicitât al varà no dome di slizerî l'aparât formâl di stamp matematic ma ancje completâlu cun figuris e animazions. Un compit fûr de nestre puartade.

Duncje la sielte e restave di fâ tra chei altris cuatri lavôrs. Ven a stâi su la "ecuivalence fra masse e energjie", su la "determinazion des dimensions molecolârs", sul "moviment brownian" e sul "efiet foto eletric".

Considerin in struc lis motivazions che nus àn puartât a sielzi l'ultin.

Il lavôr che al puarte ae famose formule de dipendence tra energjie, masse e velocitât cuadrade de lûs al è une estension dal lavôr su la relativitât, e duncje al larès zontât al principâl par la cuâl disore o vin dit parcè che si è decidût di metilu di bande. Par chel che al rivuarde il lavôr di tesi di lauree su la determinazion des dimensions molecolârs, al è di dî che al è talmentri farsît di formulis di rindi la leture dal test une robe secondarie. E restave di fâ une sielte tra il lavôr sul "moviment brownian" e chel sul "efiet foto eletric". Ducj doi a lavin ben par sedi voltâts in plui lenghis e discutûts.

In conclusion o vin decidût di sielzi l'efiet foto eletric par doi motifs, lassant di bande il fat che par chest lavôr Einstein al è stât premiât cul Nobel intal 1921.

Il prin al scaturìs di un judizi epistemologic che al è stât metût in evidence di tancj studiôs. Mentre che, in dì di vuê, i lavôrs su la relativitât e su la ecuivalence masse-energjie a vegnin considerâts dai fisics no tant une frature cu lis teoriis classichis ma un pont di massime espansion de tradizion dal pinsîr classic preparât dai lavôrs di Maxwell, Lorentz e Poincarè, il lavôr sui cuants di lûs al ven pardabon a rapresentâ une frature cu la tradizion.

Chel altri mutîf al è leât ae esperience che l'AIF di Udin al à fat intal cjamp dal inzornament dai insegnants e pe divulgazion de culture scientifice. La sezion di Udin e à produsût, daûr dal sburt dai events organizâts par ricardâ, intal 1999, il bicentenari de scuverte de pile eletri-

che, une schirie di conferencis e esperiments cu la pile e lis piastrelis fotovoltaichis, sedi par dâ sodisfazion a lis esigjencis di inzornament dai insegnants ma ancje par scomençâ a introdusi la fisiche dai cuants intal insegnament de fisiche cuantistiche intes Scuelis Superiôrs, lant daûr a lis finalitâts da Unitât di Ricercje in Didatiche de Fisiche de Universitât di Udin. In particolâr si sin sintûts impegnâts a fâ ricercjis su la origjin de teorie dai cuants di energie, a partî dai scrits di Einstein su la cuantizazion de radiazion dal 1905, e de relazion tra teorie dai cuants e efet Volta, dal 1906.

In conclusion nus à vignût quasi obleât di colâ su chest articul.

Ae fin di cheste introduzion o sintîn ancje la dibisugne di pandi lis recons che nus àn puartât a voltâ par furlan sedi i articui originai che cheste presentazion, un lavôr une vore impegnatîf, forsi plui grant des nestris fuarcis e competencis.

Si pues cirî di induvinâ, ma cuntun tic di scaramanzie, che i letôrs dal articul di Einstein in lenghe furlane a rivaran a cuvierzi sì e no i dêts di une man. O scrivìn cheste stime pensant che i potenziâi letôrs a sedin i insegnants de scuele. L'insegnant di medi nivel inte pratiche didatiche si riferis par solit ai contignûts che al cjate intai tescj scolastics o tai libris di divulgazion didatiche in lenghe taliane e normalmentri nol va ae font storiche. Chel plui esigjent si indreçarà a tirâju fûr par talian o inglês dai libris scrits di famôs sienziâts dal mont academic.

Duncje si rindin cont di no podê contâ plui di tant sui letôrs di divingnince dal mont da scuele, dulà che si spere almancul di puartâ indenant cualchi sperimentazion di didatiche CLIL¹ in lenghe furlane.

E alore dulà si puedie sperâ di cjatâ cualchi letôr? Buinis pussibilitâts si dovaressin verificâ tra i letôrs preparâts a une leture in lenghe minoritarie (furlane), in particolâr tra i socis abonâts ae riviste *Gjornâl Furlan des Sciencis* che podaressin cjatâ gjoldiment di cheste leture, fin a sintî la dibisugne di là oltri, di cjatâ cualchi rispueste a domandis che no si fasaressin se il test al fos presentât in lenghe taliane o inglese. Un auguri di fâsi al è chel di cjatâ chest lavôr ancje intes mans di int di fûr dal circul strent de SSTeF², magari par vie di amîs, parincj e colaboradôrs, o pûr di cjatâlu intes scansiis da lis bibliothecis dal Friûl e intes scuelis. E je cheste prospetive che nus à judât a puartâlu a compiment.

Chest par tant che al rivuarde la divulgazion de fisiche. Intai paragrafs che a seguissin a son esponûts doi problemis che a risultin spostâts rispiet ae ilustrazion de fisiche di Einstein ma che o metîn in rilêf parcè che di une bande a àn ce fâ cul nestri personaç e di chê altre cul rûl dal ûs des lengthis intal insegnament (de fisiche in particolâr). Al sarès interessant ciatâ un riscuintri a lis nestris suposizioni intun lavor sistematic di ricercje.

Plurilinguisim e gjenialitât. La sielte di profondî il contribût di Einstein su la cuantizazion de energie e il contest plurilinguistic de SSTeF e à stiçât doi interogatîfs esternis ai contignûts de gnove fisiche ilustrade di Einstein cul articul dal 1905, ma, come scrit disore, interessant inte ricercje didatiche in gjenerâl.

Puedial un lavor di comunicazion plurilengâl judâ l'aprendiment e, consecuentementri, pue die une lenghe locâl (marilenghe) pandi i contignûts dissiplinârs in maniere altretant sodisfasinte tant che une seconde lenghe?

E cui isal un gjeni, un om che al à ideis e un curviel che nissun altri al à, une specie di alien, o isal cualchi altri fatôr che nus permet di consideralu tâl?

Viodin tal imprin di pandi cualchi considerazion su la incidence dal plurilinguisim sul aprendiment, fatôr che al è leât a strent cu lis possibilâtâs di sorevivence des lengthis locâls minoritariis.

Il Congrès de SSTeF al è stât il contignidôr ideál par scomençâ a cjapâ in considerazion un lavor di profondiment linguistic. Considerât che i socis de SSTeF a àn il compit di pandi ricercjis e contignûts culturâi in marilenghe (furlan) o vevin la necessitât di partî dal lavor originâl di Einstein, ven a stâi de sô marilenghe todescje, e duncje o vin puartât indenant un lavor in paralêl tra i tescj scrits in todesc, inglês e talian prin di voltâiu in fin par furlan.

O vin considerât che in cualchi pas il passaç dal test originâl ae seconde lenghe nol è stât simpri ben capit. Il lavor seguitif di ricercje des peraulis e des frasis adatis al test furlan nus à obleât a profondî il significât dai concets che l'autôr al intindeve verementri esprimi. Cun cheste tecniche o pensin di sedi rivâts a meti adun un lavor in lenghe furlane di bon nível, sperin ancje miôr di tantis traduzions in lenghe taliane o inglese, fatis di premure.

Un ultin proponiment di chest lavor, centrât plui sul aprendiment che su lis cognossincis in sé, al è chel di furnî materiâi e experiencis par sostignî lis ricercjîs de sience neurolinguistiche. A esistin des ricercjîs tal cjamp medic e pedagogjic che a àn puartât ae conclusion che la comunicazion plurilengâl a tacâ de marilenghe e contribuìs al aprendiment des dissiplinis (ûs veicolâr de lenghe) e ancje a stiçâ la creativitât. Inte scuele superiôr a son stadis fatis experiencis di insegnament di dissiplinis in lenghe furlane e i prins risultâts a son incoragjants³. Dut cás la ricercje neurologjiche e à metût in evidence che la marilenghe, cjakade sù intal periodi de oralitât e organizade inte struture de memorie procedurâl, se doprade come lenghe veicolâr scrite e fevelade e contribuìs ae formazion de memorie declarative adate a comunicâ concets e nozions científichis che normalmentri a vegnin trasmetûts des secondis lengthis.

La marilenghe e stimule maiormentri la atenzion e e devente un vetôr che al contribuìs a potenziâ la atenzion parcè che e da vòs al mont afietîf dai prins agns de vite e duncje e stimule e e motive al studi. Si trate alore di slargjà l'ûs veicolâr de marilenghe a lis zonis gnervosis dal çurviel, organizadis par disvilupâ concets, che a son plui facilmentri ocupadis des secondis o tiercis lengthis e cussì vie indilunc. Par cheste strade si insiore ancje il bagai lessicâl indispensabil ae sorevivence di une lenghe locâl intal mont globalizât di vuê. Einstein al à fevelât e scrit intune aree linguistiche todescje e al à scugnût impegnâsi e concentrâsi une vore par produsi ideis gnovis e soluzions maraveosis. Però par fâ cognossi lis sôs ideis e teoriis al à scugnût fevelâ inglés (e un pôc ancje talian, scrit e orâl⁴) e altris si son ocupâts di voltâ ce che al veve scrit in dutis lis lengthis dal mont.

La creativitât científiche e somee che si presenti inte prime zoventût, il periodi de vite dulà che, dopo dal tormentât moment de adolescenza, un om o une femine a definissin la lôr identitât. Un zovin che al madrès un fuart interès pes siencis al tire sù lis informazions di fonts plurilengâls ma solitementri al continue a pensâ te lenghe locâl, che dispès e je la marilenghe. Al sarès interessant verificâ se cualchi ricercjie e à discuviert une dinamiche cerebrâl che e meti in lûs un colegrament tra l'ûs de marilenghe intun contest plurilengâl, siôr di colegements significatîfs, e la manifestazion “erutive” de creativitât. Ise cheste la clâf par spiegâ, al mancul in part, la manifestazion in etât tant zovine di ideis e di intuizions

sientifichis dotadis di une fuarte capacitât sintetiche e di une clarece espositive che par solit o clamìn “gjeniâl”?

Se une lenghe locâl e mûr il mont al devente plui puar. Al è duncje une vore urgjent, se si vûl salvâ une lenghe minoritarie come il furlan, fâ sù un patrimoni di libris, materiâi e esperiencis in ducj i cjamps, in mût di rivâ ae masse critiche e fâ cussì in mût che chei che le fevelin a tirin sù dutis lis peraulis gnovis che a vegnин veicoladis des secondis e tiercis lenghis, cence pierdi la struture fonetiche e grammatical par la cuâl un popul al sint di vê une sô precise identitât.

Dut câs o sin convints che cheste operazion di valorizazion de lenghe furlane, doprade par pandi concets sientifichis alts, no vedi sbassât il nível di clarece e di sinteticitat rispiet a altris lenghis di plui grande diffusion.

Plui complès al risulte tratâ il secont pont interogatîf, par vie che bisugne fâ une leture storiche e profondiments dai concets di fisiche plui impuantants.



George G. Stokes
(1819-1903).



James Clerk Maxwell
(1831-1879).

Einstein, un gjeni plovût dal cîl? A chest pont o podin scomençâ a disvilupâ cheste grande aventurâ dal pinsîr a partî di ce che il nestri om al scrif a un amì a proposit dal prim scrit dal 1905: “O promet di mandâi cuatri articui [...] il prin o podarès mandâlu in curt, sigûr che mi daran lis copiis. Si ocupe de radiazion e des proprietâts energetichis de lûs, e al è une vore rivoluzionari, come che al viodarà”. Einstein al considerate rivoluzionari chest articul, al pant plui in là di rindisi cont che i contignûts a vignaran une vore contrastâts prin di imponisi, e no dome par vie che lui nol faseve part di nissun grup academic. Di fat, ancje a distance di un secul o ricognossin che cun chest lavôr Einstein al contribuìs cun grande determinazion a fâ nassi une gnove fisiche: la fisiche cuantistiche. Cemût isal rivât a chest maraveôs risultât?. Cheste domande e pese une vore su la puartade “rivoluzionarie” di chest lavôr publicât, prin di chei altris, intal 1905.

Prime di fâ une analisi critiche dai argoments disvilupâts intai articui di Einstein, e di cirî di capî lis novitâts che si presentin, viodin di meti sot de lûs dai rifletôrs il personaç, in chê volte un discognossût impleât tal ufici dai brevets di Berne, che si presente prepotentementri al grant public dai sienziâts de epocha e che tant sconciert al produsarà intes filis dai conservadôrs.

Si domandin: Einstein isal verementri stât chel gjeni che al è saltât fûr dal nuie inte storie de umanitat, e che dal nuie al scuvierç leçs maraveosis, fin a chê dì platadis ae viste di ducj?. Chest al è probabilmentri ce che la plui part de int e pense. Un altri gjeni, nassût un pâr di secui prime, Isaac Newton, al à vût la onestât inteleituâl di ricognossi une grande veretât “se o ai viodût plui lontan, al è stant su lis spalis dai gjgants”. Einstein no si è ripetût, ma il riferiment, tai soi scrits, a lis oparis di tancj personaçs nus dîs lis stessis robis. Ancje lui, il gjeni par definizion, al à dovût montâ su lis spalis di tancj di lôr par podê viodi plui lontan, tant plui lontan; altris lu àn fat ma no àn viodût ce che lui al à viodût.

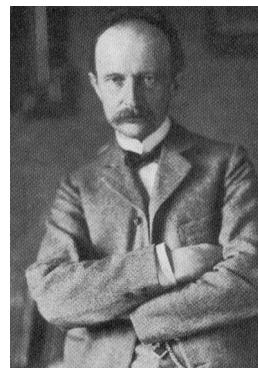
Cheste fisiche e met in discussion la validitat universál de teorie de lûs dal fisic scozês Maxwell. Di sigûr Einstein nol pense di sostituî la teorie di Maxwell che, a son sôs peraulis: “probabilmentri no vignarà mai superade di une altre teorie”, ma tal stes temp al dîs che se o nin a cjalâ a font il fenomen de emission e de trasformazion de lûs o vin di fâ i conts cu la struture atomiche de materie, par la cuâl “la energie di un cuarp ponderabil e dovarès vignî representade di une some slargjade a ducj i atoms e i eletrons”. Plui in là al scrif che si pues pensâ: “che la teorie [...] e puartarà a contradizions cu la esperience se e ven



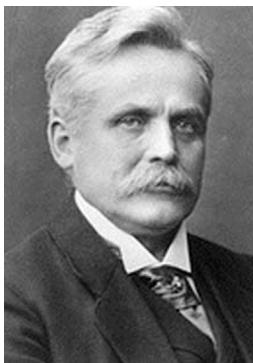
Ludwig Boltzmann
(1844-1906).



Hendrik Antoon Lorentz
(1853-1928).



Max Planck (1858-1947).



Wilhelm Wien
(1864-1928).



Pual Drude (1863-1906).



Philipp. Edward Anton
von Lenard (1862-1947).

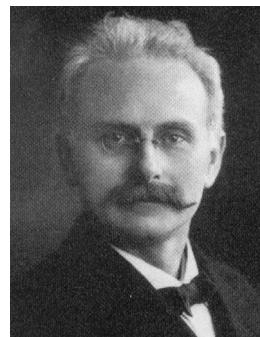
aplicade ai fenomens di emission e di trasformazion de lûs". Al somee che par Einstein chest al sedi stât il prin indizi che lu à metût su lis olmis che lu àn puartât a discuvierzi la seconde nature de lûs: la "corpuscolaritât".

Cheste idee no je ni gnove ni "gjeniâl". Di secui e secui l'om si intrighe su la nature de lûs. In temps relativementri dongje ai nestris o ciatin, tal cricâ dal dì de sience moderne, il Galilei che tal *Saggiatore* (1622) al considere la lûs une sorte di flus di "ignicoli" une vore sutîi e penetrants. Ma il salt de speculazion pure ae analisi scientifice sapontade dai esperiments al ven fat cun Descartes e Newton che a scrusignin i efets produsûts de interazion lûs-materie. Il prin ripetint i esperiments medievâi sul passaç dai rais di lûs zontraviers globui di aghe e il secont cjalant cun atenzion la scomposizion de lûs blancje zontraviers i prismis triangolârs. Ducj e doi a basin lis spiegazions su la fonde de nature materiâl e corpuscolâr de lûs⁵. Einstein, plui di doi secui daspò, al à la occasion di montâ disore di spalis cetant plui altis. Chêz di Newton e chêz dai gjigants dal so secul.

Di fat, prin di movi la sô "cavalarie" Einstein al veve podût metisi cun comut su lis spalis di doi di chei: Ludwig Boltzmann e Max Planck. Lôr doi a vevin splanât la strade pe gnove campagne di atac a lis vecjis concezions, risolvîn gran part dal berdei dal "cuarp neri". Di chêz "alturis" Einstein al à podût cjalâ cun voli spicât il cîl e pensâ a une gnove strategie di superament dai ponts debui dal schiriament des fuarcis conservadoris. La gnove idee "rivoluzionarie" e à scomençât planc a planc a meti

lidrîs e lis schiriis dai conservadôrs a deventâ simpri plui sutilis. Di chel moment il gnûf esercit al à concuistât no piçui teritoris ma intîrs continents.

Viodìn alore di montâ ancje nô su lis spalis dai gjigants e di chei altris “plui piçui” e, judâts di Einstein, di cori sul fîl dal so pinsîr par capî la gjenialiât dal so percors.



Johannes Stark
(1874-1957).

Il stât de fisiche ai temps dal zovin Einstein e l'assum dai “grignei” di energjie.

Par capî la

puartade dal contribût di Einstein butin un voli sul stât de fisiche in chei temps, ven a stâi il nível di comprension e di utilizabilitât dai fondamentâi concets fisics inte comunitât scientifice. Di letaris che Einstein al scriveve o vin notizie che il zovin Albert, student a Zurich, al veve studiât i miôr lavôrs di termodinamiche, eletromagnetism e mecaniche e intai agns daspò al à podût tignîsi suficientementri informât sul stât des ricerçis di fisiche cun publicacions e libris avonde azornâts.

Considerade la centralitat che al ven a vê il concet di “radiazion di cuarp neri” e di “entropie” di un gas, inte suaze dal articul, viodìn di pandi cualchi considerazion cul proposit di rindi plui clâr al letôr il percorso fat di Einstein.

Il concet di cuarp neri o “radiazion nere” o “radiazion di foran” al è di impuantance fondamentâl in ducj i procès di assorbiment e di emision di lûs e calôr (dal for par fâ il pan a lis stelis). Il studi di ogjets fisics “neris” ideâi al à puartât a scuvierzi leçs fisichis che nus permetin di misurâ la temperadure dal soreli e da lis stelis ma ancje la temperadure di cuarps cjalts puartâts ae incandessence e al pont di fusion. La ricerche dal calôr emetût e supât dai cuarps e veve ancje ricjadudis aplicativis se o considerin che lis societâts industrializadis dal temp a vevin imparât a tratâ il calôr par produsi fuarce motorie e leghis metalichis in fors a alte temperadure. Al jere un fuart interès a mejorâ lis trasformazions di energjie termiche in lavor mecanic par sparagnâ su lis materiis primis di brusâ e par tutelâ i investimenti.

La entropie e jentre in dutis lis trasformazions energetichis, dal disfredament di une cjicare di cafè e lat al compuartament di une buse ne-

re intal univiers; se nol bastàs, la entropie e à une impuantance fondamentâl ogni volte che si considerin i flus di energie intai procès di trasformazion, sedi intai sistemis naturâi che intes machinis. Intai prins si àn trasformazions bio chimichis indusudis de lûs dal soreli, che a compuartin une diminuzion di entropie par vie dal incressite de informazion, intai seconts la trasformazion di calôr in energie mecaniche e domande di discuti il rendiment e duncje lis pierditis dal procès, ven a stâi une produzion di calôr che no si pues plui convertî dal dut in lavor mecanic, cu le consecuite incressite di entropie. Considerât che ducj i procès di trasformazion di energie in lavor, naturâi o artificiâi, produsûts dal om cu lis machinis, no son reveribii, il flus di calôr no utilizât, sientificementri clamât entropie, al jentre di dirit fra lis grandecis fisichis di interès apli-catîf.

Partìn cu la nestre indagjin dal cuarp neri e daspò o cjaparìn in considerazion la entropie. Ae fin o varìn ben preparât il senari pe presentazion dai protagoniscj de nestre storie: “il cuant di energie” e il so mentôr.

Il cuarp neri, secont une definizion une vore doprade, al sarès chel cuarp che al supe dute la radiazion che i cole parsore. Cheste definizion no je sodisfasinte se pôc plui in là si dîs che un sisteme che al è prossim in maniere plui strente al model di cuarp neri al sarès il soreli... che propit neri nol è!

Si rindîn cont da la distance che e je tra lis ideis che la int si è fate in maniere spontanie e lis definizions normalizadis da la fisiche a pene che o incuintrîn pe prime volte intal scrit di Einstein une descrizion vierte suntune proprietât dal cuarp neri. Intal test il sostantif al è nomenât sis voltis e inte cuinte citazion olein: “Intal cás di ‘radiazion di cuarp neri’, ρ e je une funzion di v in mût che la entropie e deventi massime par un valôr dât di energie”⁶. Intal test ρ e rapresente la densitat di radiazion par une dade frecuence e v la frecuence. Intal pas a pene ripuartât Einstein al mostre di vê presint un cuadri une vore clâr des cognossincis sientifichis dal temp. In efiets il concet di cuarp neri al è une astrazion che si capis a partî des proprietâts de densitat di energie de radiazion dentri di un foran mantignût a temperadure costante, ven a stâi: a) la densitat e à il stes valôr in ogni pont dentri il volum; b) la densitat e je une funzion dome de temperadure des parêts dal foran; c) la distribu-

zion spetrâl a une dade temperadure no dipint ni de nature des parêts ni de forme dal foran. Chestis proprietâts, che a son stadiis formalizadis di Gustav Robert Kirchhoff (1859) e spiegadis a font di Planck, a son sodisfatis se lis parêts a supin dute la radiazion e no rifletin nissune component. Sperimentalmentri la misure de radiazion di foran su dut il spetri si fâs praticant une busute intes parêts in mût che dute la radiazion che e passe zontravers la busute e resti intramaiade par une vore di temp dentri dal foran⁷, che al è come disi che la busute dal foran e supe dute la radiazion e no riflet nissune componente de radiazion che lu travierse. Ma considerât che lis parêts dal foran a vegnin mantignudis a temperadure costante bisugne ancie dedusi che, zontravers la busute, tante e je la radiazion che e ven supade tante e je la radiazion che e ven emetude, e duncje o podîn concludi che la radiazion emetude de busute e gjolt di dutis lis proprietâts a), b) e c).

Se il foran al ven mantignût a temperadure ambient, la busute ae viste e risulte nere pal motif che la radiazion e je scure (calôr); a chest pont la radiazion di foran e à dut il dirit di vignî clamade radiazion "nere" o di "cuarp neri" (viôt Figure 1). Se invezit o puartîn lis parêts dal foran a temperadure tant alte (a esempi a 2000 K intun foran di tungsten) lis parêts e il foran a deventin incadessentis (viôt Figure 2) e la busute e devente luminose. O vin viert cheste parentesi par palesâ che un cuarp neri nol è simpri... *neri!* Il Soreli, che al sodisfe lis proprietâts di supâ dutis lis radiazions che i colin parsore e di emeti a temperadure costant, al è considerât un cuarp neri quasi idéâl. Al contrari, il coletôr termic solâr, utilizât sui cuverts des cjasis par scjaldâ la aghe a temperadure ambient,

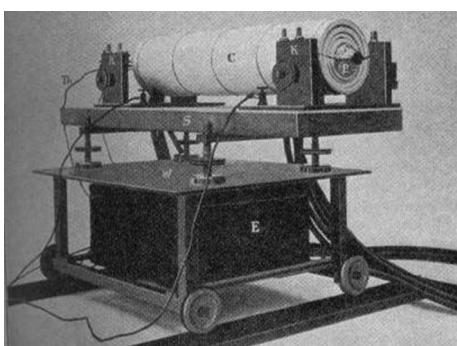


Figure 1. Il disen dal argagn par misurâ la radiazion di foran (gjavât dal articul di Clayton Gearhart Black Body Radiation. In Renn J. (Ed) *Albert Einstein chief engineer of the universe – one hundred authors for Einstein*. Berlin: VCH Verlag, Weinheim and Max Planck Institute of the History of Science, 2005).

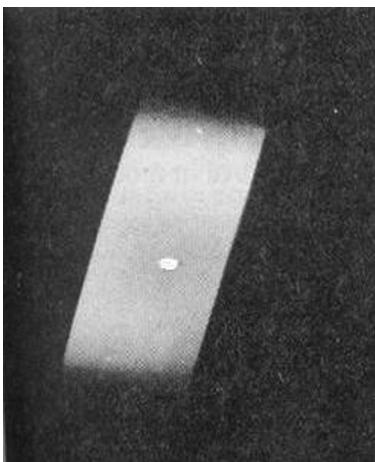


Figure 2. Tubo di tungsten incandescent cuntune piçule busute su la parêt. La radiazion sborfade fûr e je la radiazion *nere* di foran (gjavade dal cjapitul *Luce e fisica quantistica* In Halliday D. e Resnick R. (Eds) *Fondamenti di Fisica 3*. Bologna: Zanichelli, 1996).

grancj dai erôrs sperimentâi; e a cirin di ridusi tantis leçs a pocjis o a une sole, in mût di meti adun lis interpretazions dal stes fenomen fisic.

Intal câs dal spetri di lûs par grandis lungjecis di onde il scostament tra i dâts sperimentâi e chei teorics nol podeve sedi trascurât e par spiegâ l'andament de curve a vevin dôs leçs invezit di une. Planck al cirive di vignâ a cjâf su lis primis poiantsi sul model ondulatori de radiazion, che tantis sodisfazions al veve dât a chei che lu vevin doprât, ma cence sucès.

Alore par rivâ a chest risultât si figure la esistence, su lis parêts dal foran, di tancj ossiladôrs, intune situazion di cuilibri dinamic, ognidun cu la sô componente di radiazion.

Cun chest assum Planck, intal 1899, al rigjave une relazion tra energjie \bar{E}_v mediade intal temp di un ossiladôr cjariât di une dade frecuence, in cuilibri cuntune radiazion termiche, e la densitât di energjie di radiazion (par component di radiazion) ρ_v a la stesse frecuence $\bar{E}_v = c^3/(8\pi v^2) \rho_v$. Dilunc di cheste strade al rive a cjatâ la leç di Rayleigh-Jeans che e calcole la densitât di energjie dal spetri di radiazion dal cuarp neri.

Cheste ultime si scrif: $\rho v = (8\pi v^2/c^3) kT$. Ma la leç di Rayleigh-Jeans e puarte, par grancj valôrs di frecuence e piçui valôrs di lungjece di onde, a deviazions clamorosis rispiet ai dâts sperimentâi, propit par chei valôrs dulà che la formule di Wien e bat cui valôrs sperimentâi. Par sghindâ cheste "malefin"⁹ proviodude de formule di Rayleigh-Jeans, Planck al fâs une sielte che lui al definìs "disperade" ma che i storics a ricognossaran come il prin modon de fisiche dai cuants.

Inte sô publicazion presentade ae Societât di Fisiche di Berlin il 14 di Dicembar dal 1900 al dîs che i ossiladôrs in cuilibri termic cu la radiazion a scugnin produsi e supâ un *quantum* di energjie. Par rivâ a scrivi une singule formule al dopre il strument matematic che Boltzmann al à utilizât par calcolâ la distribuzion dai microstâts des moleculis di un gas a temperadure costant. Invezit di moleculis al considerê che lis parêts de cavitât a sedin formadis di ossiladôrs che a scambin energjie cu la radiazion.

Par calcolâ il numar di microstâts al divît la energjie totâl dal stât intun numar finît di cuantitâts identichis, e al conte in tropi mûts che al è possibil distribuî chescj "elements" di energjie tra i ossiladôrs. Se ognidune "cuantitât elementâr di energjie" si scrif $E = h v^{10}$ la densitât di radiazion si calcole cu la formule:

$$\rho v = \alpha v^3 / (\exp(\beta v/T) - 1),$$

dulà che $\beta = h / k = 4, 866 \cdot 10^{-11} \text{ s K}$, $\alpha = 6, 10 \cdot 10^{-56} \text{ W m}^{-3} \text{ s}^3$.

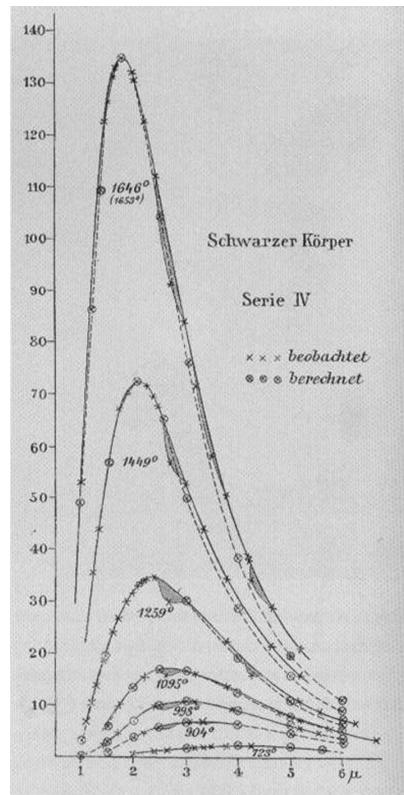


Figure 3. Il grafic de radiazion di cuarperi neri par valôrs di temperadure jenfrî un interval di temperadure secont i risultâts ripuartâts intai esperiments di Otto Lummer (1800-1925) e Ernest Pringsheim (1859-1917), publicâts intal 1899. La curve continue e mostre i dâts sperimentâi, la curve a liniutis a trats e je sta de calcolade da la leç di Wien.

Cheste expression e je cognossude come leç di Planck o formule di Planck in bon acuardi cui risultâts sperimentâi su dut il spetri di radiazion.

La introduzion dai “cuants di energjie” e ven considerade di Planck un artifici matematic, convint che la nature “non facit saltus”.

Cumò e vál la pene fermâsi e stâ daûr al procediment di Boltzmann.

Il sienziât austriac al introdûs lis distribuzions statistichis di Maxwell inte fisiche dai gas. Al considere par prin un gas intun ambient isolât, formât di un insiemit di moleculis, dutis indistintis e che no interagiissin tra di lôr. Al cjape in esam il stât di un gas, che al pense che al sedi formât di un insiemit di microstâts che dinamicementri e spontaniementri si distribuissin intal spazi pensât, dividût in tantis celis, e al rive a dimostrâ matematicementri che si à la plui alte probabilitât di ocupazion da lis celis se chestis a son ocupadis uniformementri da lis moleculis dal gas¹¹.

Cheste grandece, che dinamicementri e divente simpri plui grande, Boltzmann le clame “entropie” parcè che e rispuint a lis stessis proprietâts dal so scuvierzidôr, il fisic Clausius (1865).

Secont la interpretazion di Clausius la entropie e je une funzion di stât che e met adun variabilis macroscopichis che intai procès irevesibii si disviliupe deterministicementri viers valôrs simpri plui alts. Matematicementri si dîs che la trajetorie dal stât intal spazi des fasis e je une sole. Invezit secont Boltzmann la entropie e ven leade al moviment disordenât des moleculis e la evoluzion dal stât, costituît di une des tantis combinazions di microstâts, no ven descrite di une trajetorie ben determinade ma dome probabil.

A chest pont al cjape in man il “balin” Einstein.

In struc il pont di viste euristic di Einstein su la emission e la trasformazion de lûs. O vevin lassât Einstein daspò di vê tirât fûr dal so scrit une afermazion une vore sbulie, che o tornìn a scrivi parcè che e je la clâf par sierâ il cercli dal complès percors cognossitif che al vierç la strade a la comprehension da la radiazion cuantizade: “Intal câs di ‘radiazion di cuarp neri’, ρ e je une funzion di v in mût che la entropie e deventi massime par un valôr dât di energjie”. Il nestri om al lee la radiazion di cuarp neri a la entropie, ma parcè al fasie un pas di tâl sorte?

Tal principi di chest lavôr Einstein al fâs intindi di lâ daûr des olmis di Maxwell. Come Maxwell intun prin temp si jere poiât su la analogjie tra un sisteme mecanic e un eletric prin di scrivi lis ecuazions dal cjamp eletromagnetic, cussì Einstein al puarte indenant par prin un rasonament analogiç tra la radiazion eletromagnetiche e il gas di moleculis. Par che st motîf, o crodin che al vedi clamât chest lavôr euristic.

Al fâs intindi plui in là di vê ben presint la teorie dal eletron di Lorentz e di sedi dal dut in acuardi cun Boltzmann a rivuart de aplicazion de matematiche statistiche ae spiegazion dal calôr, assum che al à come consecuence che dute la termodinamiche e pues sedi spiegade su basis atomistichis e mecanicistichis. Di fat al cjape “sul seri” la formule che e lee la entropie S a la grandece statistiche W , che e misure il numar di pus-sibilitâts microscopichis di realizâ un stât macroscopic¹².

Cheste consapevolece di ricognossi la grandece W rapresentative di stâts fisics reâi di moleculis e ven trasferide ai cuants di lûs. Chest ricognossmi di statût di realtât ancje pai stâts de radiazion cuantizade si pues capî intal lavôr seguitif sul “moviment brownian”. La dimostrazion intal lavôr sul moviment “brownian” che “vongolaments medi statistics” si puedin ameti dome su la base dal assum atomistic de materie, si pues trasferí a la radiazion che e ubidîs a lis stessis leçs statisticis.

Al contrari di Planck che al considere la distribuzion W dai cuants di lûs e al calcole S cence considerâ i cuants di energie “grignêi” fisics reâi, Einstein al considere la entropie S de radiazion e al calcole la distribuzion W dai cuants di distribuzion intal temp dentri il foran, dulà che la radiazion cuantizade e je stade confinade.

O sin finalmentri intes condizioni di capî parcè che Einstein al considere la radiazion di foran di massime entropie. Utilizant metodis dongje di chei di Boltzmann ma curvâts su la radiazion invezit che sul gas al introdûs la nozion di “radiazion naturâl” che al definis par analogije cu la definizion di Boltzmann “caos molecolâr”, ven a stâi radiazion ad implem disordinade. Di fat inte mecaniche statistiche di Boltzmann la entropie e à un valôr informazionâl e di consecuence e cjape sù il significât di disordin che cuantitativementri al da come risultât il numar plui grant di distribuzion dai microstâts a une dade temperadure dal gas (radiazion).

In principi, duncje, Einstein al studie la entropie di un gas diluît e cuncte sole varietât di moleculis e a une temperadure fisse. Dopo al dîs che une radiazion, che par semplicitât al considere monocromatiche, e vignarà a

cjatâsi intune situazion di ambient confrontabil a chê dal gas se e ven sierade intun contegnidôr a temperadure fisse (radiazion di foran). Al partis de formule di Wien che si acuarde cul spetri di radiazion di cuarp neri dome par piçulis lungjecis di onde e al dimostre un leam statistic tra la variazion di entropie $S - S_0$ di n moleculis di un gas sieradis intal contegnidôr a temperadure fisse e la variazion di volum dal gas che al passe dal volum V_0 a V .

Si domande: “trop isal grant il valôr di probabilitât che intun instant di temp sielt a câs, ducj i n ponts che si movin indipendentementri un di chei altris intun volum V_0 dât, si cjatin (par câs) intal volum V ? Cheste probabilitât, che e je une ‘probabilitât statistiche’, e à evidentementri il valôr: $W = (V/V_0)^n$ ”.

Sul model de formule di Boltzmann, pôc dopo al scrif cussì:

$$S - S_0 = k \ln (V/V_0)^n.$$

Al è impuantant marcâ il fat che la formule parele di Boltzmann e stabilis che il moviment des moleculis, dutis de stesse varietât, al è dal dut casuâl, ven a stâi che la evoluzion dai stâts no je determinade da lis configurazions precedentis dai stâts des moleculis. In altris peraulis il sisteme si disvilupe in maniere casuâl a difference di ce che al sucêt intai sistemis dulà che la memorie fisiche dai stâts precedents e influence i stâts seguitîfs. E cheste e je par fortune une carateristiche particolâr da la radiazion eletromagnetiche.

Einstein al viôt denant di sè la possiblitàt di esplorâ une strade gno: se la grandece W doprade inte formule di Boltzmann e rapresente une funzion di particelis reâls, isal plausibil suponi che ancje une radiazion monocromatiche a temperadure fisse (radiazion di foran) e podedi sedi representade di un numar n di “grignêi”? Si rint cont che cheste strade e je chê juste, ma alore al è necessari slargjâ la ipotesi formulade di Planck sui cuants di energie, che si adate cussì ben al spetri di radiazion dal cuarp neri su dutis lis lungjecis di onde, e al rive a scrivi la formule in cheste maniere:

$$S - S_0 = k \ln (V/V_0)^{E/h\nu}$$

E al conclût scrivint: “se cheste radiazion monocromatiche (di densitât suficientementri piçule), a rivuart de dipendenze de entropie dal volum, e agjîs come se al fos un mieç discret costituît di cuants di energie di grandece $R\beta\nu/N$, alore al è plausibil investigâ se lis leçs di emission e

trasformazion de lûs a son fatis in mût che la lûs si compuarte come se e fos fate di cuants parêi di energjie”¹³.

Al è impuantant considerâ che Einstein no si ferme a cheste conclusion ma si preocupe di sostignile cjapant in considerazion chei experiments che la teorie fondade su la nature ondulatorie de lûs e de radiazion eletromagnetiche no rivavin a spiegâ. Al è un pas di grant rilêf parcè che inte fisiche la creativitat e la gjenialitat di une idee, di une teorie, e à di fâ i conts cu la realtât, ven a stâi cui esperiments. Cence chest confront tra teorie e experiment lis ideis “creativis” e “gjeniâls” a restin ibernadis o pûr a vegnîn metudis di bande come fantasiosis.

In particolâr, intal cjapitul 8, al cjape in considerazion l’efiet fotoelectric e al calcole, considerant la radiazion cuantizade, risultâts ben prosimâts cun chei sperimentâi. Cheste e je la verifiche euristiche.

Vuê al è facil, cjalant di adalt la storie, meti il dêt su la zonte di fisiche matematiche sul efiet fotoelectric disint che al è stât tant che meti il cja-piel de vitorie sul percors bielzà fat di Einstein. Nol è stât cussì parcè che par tant temp a son stadis cirudis altris confermis sperimentâls e teoriis alternativis. Si pues dî che lis confermis sperimentâls convincentis sui cuants di energje a son rivadis daspò i lavôrs dal stes Einstein sui calôrs specifics e il penç corpus di provis che si son cumuladis fin al 1916, an dal esperiment cruciâl di A. H. Compton su la difusion dai rais X che al à metût in acuardi (cuasi) ducj i fisics dal mont.

Conclusions. Al inizi di cheste schede si jerin domandâts: Einstein isal ve-rementri stât chel gjeni saltât fûr dal nuie inte storie de umanitat, e che dal nuie al à discuviert leçs maraveosis, fin chê volte platadis ae viste di ducj? Se o nin a contâ tropis voltis che Einstein al nomene i “gjigants” e chei al-tris “normâi” intal so articul dal 1905 o rigjavìn chescj risultâts: Wien (8), Maxwell (6), Boltzmann (6), Lenard (5), Planck (5), Stokes (4), Lorentz (1), Drude (1), Stark (1).

Alore si sintùn di concludi disint che lis impresis scientifichis, lis discu-viertis, lis ideis origjinâls e gjeniâls a madressin intun contest storic precîs, dentri comunitâts scientifichis che a puartin indenant ricercjis intune deter-minade direzion. Secont il nestri pont di viste il gjeni al à di sedi viodût in-te storie no tant che une subitanie eruzion che un magme bolint, come une grande mari intal mieç dai patiments da lis doiis, al sburte fûr di sé; pluito-

st che une meteore sfandorose che intune gnot cence lune, seant il cîl, e spant intun moment il lusôr su dut il marimont.

A saressin passâts ben undis agns dal 1905 prime che e vignìs la definitive conferme sperimentalâ sui cuants di energjie e 16 dal ricognossiment ufi-ciâl da la comunità scientifice cul conferiment dal premi Nobel al prin che al veve dât une spiegazion. E alore sul ôr dal nestri percors o podin ancie domandâsi: “gjeni si nassial o si devential?”.

O pensin che lis discuvertis di Einstein a saressin stadis fatis in ogni câs, ma cheste convinzion no gjave a Einstein il ricognossiment di une speciâl “gjenialitât” che si pues definî in struc cun cheste domande: “Cemût aial fat un zovin di 26 agns a scrivi, intal timp lassât libar dal lavôr di impleât, cinc lavôrs che a àn fondât su gnovis basis cuasi dute la fisiche e che a distance di cent agns ancjemò a fasìn discuti e maraveà?”.

Ringraziamenti: Franc Fari, Pauli Cantarut, Rosalba Perini, Ernesto Liesch, Zuan Vigji Michelut, Zuancarli Toso, Zuanpieri De Marc, Ennio Iannucci, Hans Grassmann.

¹ CLIL: Content and Language Integrated Learning al è un progetto plurilingue di insegnamento di dissiplinis in lenghis diffeentis inte Scuele Superiôr.

² SSTeF: Societât Sientifice e Tecnologjiche Fur-lane.

³ Si riferìn a lis esperiencis puartadis indenant, a tacâ dal 2003, al ITI “A. Malignani”, di insegnamen-ment veicolâr par furlan. Progjets dal IRRE dal FVJ e daspò dal USR dal FVJ, coordenadis di Rosalba Perini e dal ispetôr Luigi Torchio.

⁴ Lis letaris par talian a son conservadis intal Mu-seo per la Storia dell’Università di Pavia.

⁵ La teorie de lûs di Newton in veretât e je plui complesse, tant al è vêr che il concet di onde al ven tirât fûr di Newton par fondâ une teorie matematiche che e permet di proviodi i risultâts.

⁶ Il pas al è stât trat dal § 3. Su le entropie de ra-diazion.

⁷ Provîn, par fâsi une idee figurade su lis condi-zions di une radiazion intramaiade, a pensâ a ce che al sucêt cuant che un “moscjon” (bombus

terrestri) al jentre casualmentri traviers la fressu-re di un barcon di veri: al va a sbati plui e plui vol-tis prime di intivâ, ancie casualmentri, la stesse fressure e tornâ in libertât; se la stanzie e je une vore grande e cuntune popolazion di moscjons in numar tant plui grant di chei che a traviersin la fressure, alore si ven a stabilî une sorte di cuilibri tra i moscjons che a jentrin e i moscjons che a van fûr dal barcon.

⁸ La unitât di misure de radiance e je il W m^{-2} e chê de lungjeç de onde il mm (10^{-6} m).

⁹ Storicamentri clamade “malefin dal ultraviolet”.

¹⁰ $h = 6,67 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$.

¹¹ Par chest motif il fum sborfât fûr de bocje dal fumadôr no si ingrume intune part di une stanzie ma si distribuîs uniformementri par dut il spazi.

¹² Si riferìn ae famose formule $S = k \ln W$ cun $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ costant di Boltzmann.

¹³ Il rapuart $R \beta / N$ al esprim il valôr da costant ‘ h ’ di Planck cun N numar di Avogadro o di Lod-schmit, R costant dai gas e $\beta = 4,866 \cdot 10^{-11}$.