

# L'articul di Einstein dal 1905 sul efiet fotoelectric. Un lavôr plurilengâl voltât in lenghe furlane

LORENZO MARCOLINI \*

## Introduzion ae leture dal articul di Einstein.

Intal articul “Su la origjin da la teorie de cuantizazion de radiazion eletromagnetiche di Einstein / On the origin of Einstein’s electromagnetic radiation theory” publicât intal n. 8 dal *Gjornâl Furlan des Siencis*, intal paragraf “Plurilinguissim e gjenialitât / Plurilinguages and geniality” o vevi mitût adun des considerazions che a vevin ce fâ cu la cuestion dal plurilinguissim, in particolâr: “Il doprâ la lenghe mari al à ce fâ in cualchi maniere cu la manifestazion da la creativitât inte zoventût, parcè che o din par vêr che la marilenghe e “zire” plui dongje des struturis gnervosis da lis emozions e dal amôr propri identitari?”. E in seconde batude: “Trope influence aial un ambient plurilengâl su la manifestazion di cheste creativitât, almancul intal cjamp sientific?”.



Einstein 1921.

In chel curt saç o vevi indreçât la atenzion dal letôr su cualchi trat carateristic dal contest dulà che Einstein al veve madressût il so pinsîr, parcè che pardabon chel che al deventarà il fisic plui cognossût dal mont al fevelave e al scriveve te sô lenghe mari, ven a stâi il todesc bavarês, e

\* ITI “A. Malignani”, AIF (Associazione pal Insegnament de Fische) Udin, Italie. E-mail: l.marcolini@libero.it, lorenzo.marcolini@malignani.ud.it

al veve vivût, prime di student e daspò di scienzîat famôs in ambients di culture e di lenghis diferentis (todesc, talian e inglês). Al sarès alore interessant, o scrivevi, stabilî se i studis tal cjamp neurolinguistic a son rivâts a meti in lûs i leams tra creativitât sientifiche e plurilinguistic.

Cun chest lavôr di leture plurilengâl e di traduzion di un test sientific in lenghe furlane o ai gust invezit di dâ un contribût a sistemâ un tassell intal mosaic des ricercjis tal cjamp storic, ven a stâi di provâ trop che un lavôr di ricercje glottologjiche e semantiche suntun argoment sientific specific (intal nestri cûs l'articul di Einstein dal 1905 sul efiet fotoelettric), a partî dal lavôr originâl, al meiore la comprension dal test stes.

Lant daûr de logjiche di cheste impostazion, la traduzion ultime (intal nestri cûs par furlan) e dovarès sedi la plui riesside di dutis chês altris. I nestris trê letôrs plurilengâi a savaràn dînus, forsît, se la operazion e je lade a bon fin.

Intal seguit si ripuartin i pas che a àn compuartât une riflession sul plan da la interpretazion dai vocabui o lis espressions che no cjatin inte lenghe furlane une pronte traduzion: o parcè che a mancjin i riferiments di vocabolari o parcè che la traduzion leterâl e impuaris la ricjece semantiche dai contignûts o, ae fin, par voltâ peraulis e concets leâts a un contest culturâl diferent a chel di destinazion, ven a stâi cun figuris e analogjiis plui dongje al contest culturâl dal letôr furlanofon.

Sot dal pont di viste logjic l'autôr i ten a meti in evidence che lis traduzions di un lengaç a chel altri, ven a stâi in particolâr tra un lengaç natîf (o sorzint) e un altri (seconde, tierce lenghe e v.i.), si cjate inte sience informatiche dulà che lis stratificazions dai "softwares" a àn il compit di voltâ mecanichementri i tescj o i comants scrits dal operadôr al nivel di machine, intal formât bit, eseguibil dal ordenadôr eletronic. La diversitât di font tra une traduzion mecaniche dai lengaçs artificiai, fate di un ordenadôr eletronic, e la traduzion dai lengaçs naturâi, fate dal om e je scrite intai principis da la programazion. In particolâr la proprietât dai procediments algoritmics dai ordenadôrs tradizionâi e met di bande dal propri marimont interpretatîf lis frasis che a àn plui significâts, ven a stâi lis frasis che a mudin significât a seont dal contest dulà che a vegnin aplicadis.

Sot di chest aspîet, la traduzion di un test di une lenghe a chês altre e je une operazion interpretative che e compuarte – par vie da la complessitât da lis struturis morfosintatichis, da la polisemanticitât dai elements

lessicâi e da la organizazion dai suns – dai “rifasiments” che pocjîs voltis a metin dal dut in acuardi i critics. Al è ancje di rilêf fâ presint che il çurviel dal om, a diference dai ordenadôrs, al à la proprietât di rindi “ese-guibii”, intal stès timp, diferents lengaçs pûr cun nivêi di competence diferents: dal nivel natîf (spontani) ae seconde, tierce lenghe e v.i. (lenghis costruidis).

### **Analisi glotologjiche e semantiche.**

I tocs sot ripuartâts e comentâts a son stâts scrits metint al prin puest la version in todesc (lenghe mari di Einstein), al secont puest l'inglês (la seconde lenghe uficiâl, intal periodi passât a Princeton), al tierç il talian (probabilmentri la seconde lenghe moderne che al à cirût di fevelâ e di scrivi cuant che al jere fantat a Pavie, par doi agns), al cuart puest il furlan, che di sigûr nol à mai savût de sô esistence<sup>1</sup>.



Studi di Einstein a Berlin.

I tocs che a son stâts metûts in schirie chi sot a son chei che a àn com-puartât une fadie interpretative sul plan dai contignûts, mentri i tiermins dal lessic che in furlan a risultin di gnûf cugn, almancul cun riferiment ae culture scientifiche, a son stâts numerâts e ripuartâts ae fin dal articul.

In dut si contin 8 notis esplicativis chi sot e 10 riferiments lessicâi in-som ae version par furlan dal articul di Einstein. Cuasi ducj i coments si riferissin ae prime part dal scrit, che e je la mancual formalizade matema-tichementri e duncje plui vierte a une revision critiche dal test. O vin mitût di bande il coment di altris sutilecis lessicâls intal lavôr di tradu-zion par furlan, sparniçadis ca e là intal test plui insiorât di formulis ma-tematichis e duncje cuntune vore di mancual di influence su la interpre-tazion dai concets di fisiche.

N. 1

*[...] und andere ponderable Körper / and other ponderable bodies / e gli altri corpi ponderabili / e altris cuarps ponderabii*

*Osservazion:* Il tiermin “ponderabil” al manten la lidrîs latine in dutis lis versions e al mostre la pussibilitât di “pesâ” fisichementri la materie in dutis lis formis: solidis, licuidis e gassosis; si podeve voltâlu ancje cul tiermin “massîf” o “indotât di masse” ma ju vin mitûts di bande parcè che il concet di masse inte mentalitât corint al mostre un volum che si pues viodi a nivel di voli e che invezit i gas, ven a stâi i cuarps cun nature aeree, no dan.

N. 2

*Zwischen den theoretischen Vorstellungen [...] ein tiefgreifender formaler Unterschied / There exists an essential formal difference between the theoretical pictures / Si evidenzia una grande differenza formale fra le concezioni teoriche / Si evidenzie une grande diferece formâl se o considerin di une bande i concets teorics*

*Osservazion:* lis “concezioni teorichis” si podaressin ancje voltâ in “modeli” o “imagjins / figuris” come che si à inte version inglese di *picture*, ma il tiermin “imagjin / figure” intal nestri contest culturâl al pues gjenêrâ plui significâts, distants dal concet scientific, e chel di “model” al so-mee masse moderni e leât so redut ae informatiche, dulà che par model di sisteme fisic reâl si intint une simulazion che e ven fate cori intal ordenadôr par otignî previsionis.

N. 3

*[...] die Energie als kontinuierliche Raumfunktion aufzufassen, während die Energie eines ponderable Körpers nach der gegenwärtigen Auffassung der Physiker als eine über die Atome und Elektronen erstreckte Summe darzustellen ist / [...] thus also for light, why according to the present day ideas of physicist the energy of ponderable body can be written as a sum over the atoms and electrons / [...] l'energia deve essere considerata una funzione spaziale continua, mentre, in accordo con le attuali concezioni dei fisici, l'energia di un corpo ponderabile può venir descritta dalla somma estesa a tutti i suoi atomi ed elettroni dell'energia posseduta dai singoli atomi e elettroni / [...] la energjie e ven considerade une funzion spaziâl continue; se invezit o considerin lis concezioni dai fisics dai timps presints, la energjie di un cuarp ponderabil e dovarès vignî rapresentade di une sume estindude a ducj i atoms e i eletrons de energjie possedude dai sengui atoms e eletrons*

*Osservazion:* inte version par talian e par furlan si dîs, in maniere plui precise, che par sumatorie si intint une sume integrâl, estendude a dutis lis energjîs posedudis di un sengl atom o eletron... al è un esempli di traduzion cun completament che al mancjave inte version originâl.

N. 4

*Die Energie eines ponderable Körpers kann nicht in beliebig viele, beliebig kleine Teile zerfallen, während sich die Energie eines von einer punktförmigen Lichtquelle ausgesandten Lichtstrahles nach der Maxwellschen Theorie (oder allgemeiner nach jeder Undulationstheorie) des Lichtes auf ein stets wachsendes Volumen sich kontinuierlich verteilt. / The energy of a ponderable body cannot be split into arbitrarily many, arbitrarily small parts, why the energy of a light ray, emitted by a point source of light is according to Maxwell's theory (or in general according to any wave theory) of light distributed continuously over an ever increasing volume. / L'energia di un simile corpo non può venir divisa in un numero arbitrariamente grande di parti arbitrariamente piccole, mentre secondo la teoria di Maxwell (o in generale per una qualunque teoria ondulatoria) l'energia di un raggio di luce emesso da una sorgente puntiforme si distribuisce con continuità su un volume che si espande progressivamente. / Nol è pussibil distribuî la energjie di un cuarp ponderabil suntun numar di parts fin che si vûl grant cun valôrs di energjie fin che si vûl piçui, ma seont la teorie di Maxwell (o ancje seont une cualsisedi teorie ondulatorie) la energjie di un rai luminôs burît fûr (2) di une ole (3) si spant intal spazi cun continuitât e suntun volum simpri plui grant.*

*Osservazion:* la traduzion par furlan e rint plui clarementri il pinsîr di Einstein che no altris versions che a ripuartin la traduzion leterâl dal test todesc. Einstein al burîs fûr il concet fundamentâl dulà che si poie il so assum: se la energjie da la radiazion eletromagnetiche si spant, buride fûr da la sorzint come une onde, alore e vignarà a cjatâsi in volums di spazi simpri plui grancj. Ma se la energjie posedude da la onde a la sorzint e je finide, lis parts di spazi ocupadis, a distancis simpri plui grandis, a àn di contignî parts di energjie simpri plui piçulis, tindint a valôrs infinitesims. La teorie ondulatorie alore e introdûs une separazion tra la energjie finide, posedude dai cuarps fisics e chê posedude di parts di spazi, grandis fin che si vûl e che a diventin par chest infinitesimis.

Inte traduzion par furlan il concet astrat di variazion di grandece fisiche intun pont, e formalizât inte fisiche matematiche cun chel di gradient, al è stât ripuartât a une figure leade ae culture contadine: la ole, ven a stâi un 'pont' dulà che si formin lis bufulis che a mostrin la emission di aghe da la vene in profunditât. Einstein al voleve rivâ a une teorie che e spiegàs il fenomen dal assorbiment e de emission de lûs a partî di un unic mecanisim.

Intal 1905 la comunitât sientifiche no dubitave che la emission e vignîs spiegade da lis leçs di propagazion da lis ondis, cussì come che a vengnin ancjemò spiegadis da lis ecuazions di Maxwell, mentri che si stave ancjemò discutint intor de straordenarie intuizion formulade di Planck, che al jere rivât a spiegâ il spetri dal cuarp neri, introdusint l'assum che la energjie radiant e vignive supade par quantitâts di energjie finide e no plui scomponibile in parts plui piçulis.

N. 5

*[...] es ist jedoch im Auge zu behalten, daß sich die optischen Beobachtungen auf zeitliche Mittelwerte, nicht aber auf Momentanwerte beziehen, / [...] refer to time averages and not to instantaneous values / [...] si riferiscono a medie temporali e non ad osservazioni istantanee / [...] a tegnin cont di valôrs mediâts intal timp (4) e no di valôrs intal istant di timp*

*Osservazion:* il concet di valôr medi temporâl al è plui clarementri descrit inte version in lenghe furlane; intal scrit si riçlame une operazion matematiche di sume di valôrs finîts di une grandece fisiche in istants di timp definîts, dividûts pal numar di istants di timp cjapâts in considerazion.

N. 6

*[...] in Raumpunktenlokalisierten Energiequanten, welche sich bewegen, ohne sich zu teilen und nur als Ganze absorbiert und erzeugt werden können. / [...] a finite number of energy quanta, localized in space, which move without being divided and which can be absorbed or emitted only as a whole. / [...] un numero finito di quanti di energia, localizzati nello spazio, che si muovono e possono essere assorbiti e emessi senza dividersi, per unità intere. / [...] un numar finît di grignei (6) di energjie, spazialmentri localizâts, che si movin cence vignî dividûts e che a puedin sedi tirâts dentri (7) o sburtâts fûr (8) come unitâts intatis.*

*Osservazion:* il tiermin todesc 'energy quanta' inte version furlane al è stât voltât cun 'grignel' o 'grignel di energjie' in acuardi cu lis primis concezions corpuscolârs e atomistichis de materie.

N. 7

*Eine Anzahl Elektronen sei ferner an voneinander weit entfernte Punkte der Raumes gekettet durchnach diesen Punkten gerichtete, den Elongationen proportionale Kräfte. / Let there further be a number of electrons which are bound to points in space which are far from one another, by forces proportional to the distance from those points and in the direction towards those points. These electrons are also assumed to be interacting conservatively with the free molecules and electrons as soon as the latter come close to them. / Siano inoltre presenti degli elettroni confinati in punti dello spazio, tenuti distanti gli uni dagli altri a causa di forze dirette lungo la congiungente i punti e proporzionali alla distanza tra questi punti. Si assume anche che questi elettroni interferiscono in modo conservativo con le molecole libere e gli altri elettroni man mano che questi si avvicinano. / Considerin cun di plui che i eletrons a sedin cunfinâts in ponts dal spazi, tignûts a distance fra di lôr midiant fuarcis diretis lunc la linie tra i ponts e di valôr proporziônâl a la distance fra chescj ponts. Ancje i eletrons leâts a podaran sintî la presince di eletrons libars e moleculis libaris se a vegnin a cjatâsi a curte distance fra di lôr.*

*Osservazion:* il concet di fuarcis che si fasin sintû a distance al è stât voltât leteralmentri dal todesc intes diferentis lenghis mantignint la peraule clâf *proportionale Kräfte* ven a stâi fuarcis che a àn une intensitât diretementri o inviersementri proporziônâl cuant che invezit lis fuarcis a son diretementri o inviersementri proporzionâls al cuadrât da la distance, almancul se o considerin lis fuarcis esternis ai nucleis; la fisiche nucleâr tal timp che al scriveve Einstein e veve ancjemò di lassâ i segns da lis primis olmis e duncje al è di crodi che Einstein al vedi utilizât il tiermin todesc semplicementri par mostrâ la dipendence gjeneriche da lis fuarcis a distance; voltant la frase par furlan mi soi preocupât di rispjetâ il significât che o ai chi scrit.

N. 8

*[...], wenn die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Wertes einer der*

*Größen A bez.  $x$  besitzen, unabhängig ist. / [...], when the probability for a given value of one of the A or the u is independent of the values of the other A and  $\alpha$ . / cioè quando la probabilità di un certo valore di A e di  $\alpha$  è indipendente dai valori degli altri A ed  $\alpha$  / ven a stâi, cuant che la probabilitât par un dât valôr di A o u e risulte indipendente di ducj chei altris valôrs di A e  $\alpha$ .*

*Osservazion:* si pense che inte version originjâl al sedi un erôr di batude: inte version par furlan si è mantignude la forme de traduzion inglese e taliane.

<sup>1</sup> No sai se Einstein si fos impegnât a cirî di cognossi altris lenghis modernis.



## Suntun pont di viste euristic su la emission e la trasformazion de lûs

ALBERT EINSTEIN

*traduzion di Lorenzo Marcolini*

Si evidenzie une grande difference formâl se o considerin di une bande i modei teorics che i fisics a àn trat dal studi dai gas e di altris cuarps ponderabii (1) e di chê altre la teorie di Maxwell a rivuart dai procès eletromagnetichis intal spazi vueit. Se al è pussibil descrivi in dut e pardut il stât di un cuarp considerant lis pozitions e lis velocitâts di un numar grant tant che si vûl, ma finît, di eletrons e atoms, par descrivi il stât eletromagnetic di un volum di spazi o vin di doprâ funzions spaziâls, ven a stâi che un numar finît di variabilis no puedin sedi consideradis sufficientis a definîlu in dut e pardut. Seont la teorie di Maxwell in ducj i fenomens purementri eletromagnetics, e duncje ancje intal câs de lûs, la energjie e ven considerade une funzion spaziâl continue; se invezit o considerin lis concezions dai fisics dal di di vuê, la energjie di un cuarp ponderabil e à di sedi rapresentade di une sume, estindude a ducj i atoms e i eletrons de energjie dai sengui atoms e eletrons. Nol è pussibil distribuî la energjie di un cuarp ponderabil suntun numar di parts grant fin che si vûl e cun valôrs di energjie piçui fin che si vûl, ma seont la teorie di Maxwell (o ancje seont une cualsisei teorie ondulatorie) la energjie di un rai luminôs burît fûr (2) di une ole (3) si spant intal spazi cun continuitât e suntun volum simpri plui grant.

La teorie ondulatorie de lûs, che e dopre funzions spaziâls continuis, tratant di fenomen luminôs si è dimostrate dal dut sodisfasinte inte rapresentazion dai fenomens purementri otics e probabilmentri no vignarà mai sostituide di altris teoriis. Si dovarès tignî presint, a pensâ ben, che lis osservazions dai fenomens luminôs a tegnin cont di valôrs mediâts intal timp (4) e no di valôrs intal istant di timp; e a dispiet de plene con-

ferme de teorie de difrazion, de riflessione, de rifrazion, de dispersion e vie indilunc, si pues fâsi une idee che la teorie de lûs, che si fonde su lis funziions spaziâls continuis, e puedi rivâ a dîneâ i soi fondaments se do-prade a considerâ i fenomens di emission e di trasformazion de lûs.

Par dî il vêr, mi ven di considerâ che inte realtât lis osservaziions su la “radiazion di cuarp-neri”, la fotoluminescence, i rais catodics emetûts de radiazion disore la suee dal viole, e altris fenomens che a vegnin metûts adun cun la emission e la trasformazion de lûs, si puedin intindî miôr se o fasìn nestri l’assum (5) di considerâ une distribuzion de energjie luminose discontinue. Seont la ipotesî che chi o considerarìn, intal moment che un rai luminôs si slargje partint di une ole, la energjie no si spant su volums di spazi che a van a inressi, ma e consist di un numar finît di grignêi (6) di energjie, spazialmentri localizâts, che si movin cence vignî dividûts e che a puedin sedi tirâts dentri (7) o sburtâts fûr (8) come unitâts intatis.

In chest articul o intint disvilupâ il rasonament e fâ presint i fats che mi àn puartât su cheste strade, cu la sperance che chest pont di viste al favorissi cualchi studiôs inte sôs ricercjis.

**1. Suntune dificoltât relative a la “radiazion dal cuarp-neri”.** Par començâ, cjapìn il pont di viste che al ven daurman considerât inte prospettive de teorie di Maxwell e de teorie dal eletron. Considerìn che intune part di spazi, sierât jenfri parêts perfetementri rifletentis, si cjatin moleculis di gas e eletrons libars di movisi cence nissun impediment, che tra di lôr si pandin fuarcis conservativis cuant che si puartin in prossimitât e met ancje che, seont la teorie cinetiche, a podedin urtâsi come che a fasin lis moleculis di un gas<sup>1</sup>. Considerìn cun di plui che i eletrons a sedin confinâts in ponts dal spazi, tignûts a distance fra di lôr midiant fuarcis diretis dilunc de linie tra i ponts e di valôr che al dipint da la distance fra chescj ponts.

Ancje i eletrons leâts a podaran sintî la presince di eletrons libars e di moleculis libaris se a vegnin a cjatâsi a une curte distance fra di lôr. Clamìn “risunadôrs” i eletrons confinâts in ponts dal spazi; chescj eletrons a emetin e a assorbissin ondis eletromagnetichis di periodicitât ben definide.

Se o considerìn la concezion che si à in dî di vuê su la emission de lûs, intal volum considerât, la radiazion che si pues cjatâ intal câs di ecuilibri

dinamic su la base de teorie di Maxwell, e dovarès sedi identiche a la “radiazion di cuarp-neri” – almancul se o presumìn la presince di risunadôrs su dutis lis frecuencis consideradis.

Metìn di bande, par cumò, lis radiacions emetudis e assorbidis dai risunadôrs, e fasìn un studi su la condizion di ecuilibri dinamic che e corrispuint a lis interazions (trussadis) tra eletrons e moleculis. Par un ecuilibri di cheste fate, la teorie cinetiche dai gas e dîs che la energjie di moviment medie di un eletron risunadôr e à di sedi la stesse energjie medie dal moviment di traslazion di une molecule di gas. Se o discomponìn il moviment di un eletron risunadôr in trê moviments perpendicolârs pindulants tra di lôr, o cjatin un valôr di energjie  $\bar{E}$  medie di un cussì fat moviment pindulant di:

$$\bar{E} = \frac{R}{N}T$$

Dulà che  $R$  e je la costant dai gas (9),  $N$  il numar di “moleculis reâls” (10) di un gram ecuivalent e  $T$  la temperadure assolude. Considerât che i valôrs di energjie cinetiche medie e potenziâl dal risunadôr a àn il stes valôr, la energjie  $\bar{E}$  e divente  $2/3$  da la energjie cinetiche di une molecule di gas monoatomic che si môf liberementri. Se par cualchi motîf – intal nestri câs par procès radioatîfs – il valôr di energjie medie di un risunadôr al fos plui grant o plui piçul di  $\bar{E}$ , alore lis trussadis tra eletrons e moleculis a compuartaressin un trasferiment di energjie al gas o dal gas, che al à un valôr medi che si manten diviers di zero. Ven a stâi che, intal nestri câs, l'ecuilibri dinamic al è pussibil dome se la energjie medie di ogni risunadôr e à il valôr avuâl a  $\bar{E}$ .

A chest pont o podìn disvilupà un resonament parêl ae interazion tra i risunadôrs e la radiazion presinte intal spazi. Planck al à rigjavât la relative condizion di ecuilibri dinamic<sup>2</sup> suponint che la radiazion e vegni considerade tant che il procès plui disordenât che si puedi pensâ<sup>3</sup>.

Al cjate:

$$\bar{E}_\nu = \frac{L^3}{8\pi\nu^2} \rho_\nu$$

dulà che  $\bar{E}_\nu$  e je la energjie medie di un risunadôr cun la frequence proprie  $\nu$  (a riuart de component pindulante),  $L$  la velocitât de lûs,  $\rho_\nu$  la fre-

cuenche e  $\rho_\nu d\nu$  la energjie par volum unitari di chê part di radiazion cun la frecuenche che e svarie fra  $\nu$  e  $\nu + d\nu$ .

Se la energjie radioative di frecuenche  $\nu$  si manten cence incressi e decressi, alore o podìn valêsi da lis relacions scritis chi sot

$$\frac{R}{N}T = \bar{E} = \bar{E}_\nu = \frac{L^3}{8\pi\nu^2} \rho_\nu$$

$$\rho_\nu = \frac{R}{N} \frac{8\pi\nu^2}{L^3} T$$

Cheste relazion, che o vin cjatade in condizions di ecuilibri dinamic, no dome no je in acuardi cu la esperience, ma e mostre ancje che intal nestri model no si pues discuti di une definide distribuzion di energjie tra eter e materie. Tant plui grant o considerìn l'interval di frecuenche dai risunadôrs, tant plui grande e ven calcolade la energjie intal spazi, e al limit o cjatarìn

$$\int_0^\infty \rho_\nu d\nu = \frac{R}{N} \frac{8\pi}{L^3} T \int \nu^2 d\nu = \infty$$

**2. Su la determinazion dai cuants elementârs di Planck.** O mostrarìn intal seguit che, jenfri cierts limits, la determinazion dai cuants elementârs furnide di Planck e je indipendente da la sô teorie di “radiazion di cuarp-neri”.

La formule di Planck<sup>4</sup> par  $\rho_\nu$ , verificade in ducj i esperiments fin cumò puartâts a compiment, e risulte

$$\rho_\nu = \frac{\alpha \nu^3}{e^{\beta\nu/T} - 1}$$

Dulà che  $\alpha = 6, 1 \cdot 10^{-56}$ ,  $\beta = 4, 866 \cdot 10^{-11}$

Par valôrs granj di  $T/\nu$ , ven a stâi, par granj valôrs di lungjece di onde e grande densitât di radiazion, cheste ecuazion si ridûs a

$$\rho_\nu = \frac{\alpha}{\beta} \nu^2 T$$

Si pues viodi che cheste formule e corispunit a chê scrite intal paragraf 1 e che a ven fûr de teorie di Maxwell e de teorie dal eletron. Me-

tint a man çampe e a man drete dal segn di egualiance i coeficients des dôs formulis, o vignìn a otignî

$$\frac{R}{N} \frac{8\pi}{L^3} = \frac{\alpha}{\beta}$$

o ancje

$$N = \frac{\beta}{\alpha} \frac{8\pi R}{L^3} = 6,17 \cdot 10^{23}$$

Ven a stâi, che un atom di idrogjen al pese  $1/N = 1,62 \cdot 10^{-24}g$ . Al è stât Planck a cjatâ chest valôr, che al è ancje il valôr che al ven fûr cun altris metodis.

Si che duncje si rive ae conclusion: tant plui alt o cjatìn il valôr di densitât di energjie e di lungjece di onde di une radiazion, tant plui justificâts si dimostrin i fondaments teorics dulà che si sin poiâts; ma cundut achel, par piçulis lungjecis di onde e bas nivel di intensitât di radiazion, i ne-stris fondaments teorics a colin dal dut.

Lant indenant o considerarìn la “radiazion di cuarp-neri” su la fonde de esperience, cence doprâ un model esplicitâf su la emission e la trasformazion de radiazion.

**3. Su la entropie de radiazion.** La tratazion che e ven dopo e je contignude intun famôs lavôr di Wien, e chi e ven presentade dome par completece.

Considerìn une radiazion che e incove un volum  $v$ . Fasìn in mût che lis proprietâts osservabilis di cheste radiazion a sedin completamenti determinadis se la densitât di radiazion  $\rho(v)$  e ven determinade par dutis lis frecuencis<sup>5</sup>. Stant che al è pussibil che lis radiazions di frequence diverse a puedin sedi separadis cence lavôr o calôr, o podìn scrivi la entropie de radiazion cun la forme:

$$S = v \int_0^{\infty} \varphi(\rho, v) d\nu$$

che  $\varphi$  e sta par une funzion des variabilis  $\rho$  e  $v$ . Si pues ridusi  $\varphi$  a une funzion di une sole variabile dome disint che la entropie de radiazion jenfri parêts rifletints no ven cambiade par efiet di une compression adiabatiche. No vin intenzion di lâ trop in là, ma scrusignâ di bot cemût che al è pussibil otignî la funzion  $\varphi$  da la leç di radiazion di cuarp-neri.

Intal câs di “radiazion di cuarp-neri”,  $\rho$  e je une funzion di  $v$  che e rint massime la entropie par une dade energjie, ven a stâi

$$\delta \int_0^{\infty} \varphi(\rho, \nu) d\nu = 0$$

se

$$\delta \int_0^{\infty} \rho d\nu = 0$$

Di chest si ven a otignê par cualsisedi siele di  $\delta\rho$  come funzion di  $\nu$

$$\int_0^{\infty} \left( \frac{\delta\varphi}{\delta\rho} - \lambda \right) \delta\rho d\nu = 0$$

dulà che  $\lambda$  nol dipint di  $\nu$ . Intal câs di radiazion di cuarp-neri,  $\delta\varphi/\delta\rho$  nol dipint di  $\nu$ .

Par un incressite  $dT$  di temperature di une radiazion di cuarp-neri in tun volum  $\nu = 1$ , o vin la ecuazion:

$$dS = \int_{\nu=0}^{\nu=\infty} \frac{\delta\varphi}{\delta\rho} d\rho d\nu$$

o, considerant che  $\delta\varphi/\delta\rho$  nol dipint di  $\nu$ ,

$$dS = \frac{\delta\varphi}{\delta\rho} dE$$

Considerant che il valôr di  $dE$  al è chel stes dal calôr trasferît e che il procès al è reversibil, si à ancje

$$dS = \frac{1}{T} dE$$

Dal confront si ven a otignê

$$\frac{\delta\varphi}{\delta\rho} = \frac{1}{T}$$

cheste e je la leç di radiazion dal cuarp-neri. Cheste leç si pues trai sco-mençant a considerâ la funzion  $\varphi$  e, di chê altre bande, la funzion  $\varphi$  e pues sedi calculade mediant integrazion, tignint presint che  $\varphi$  al va al nuie se  $\rho = 0$ .

**4. Leç limit par la entropie da la radiazion monocromatiche a basse densità di radiazion.** Da lis osservazions fatis a so timp su la “radiazion di cuarp-neri” al risulte clarementri che la leç

$$\rho = \alpha \nu^3 e^{-\beta\nu/T}$$

mitude in evidence di Hrn. W. Wien, no je dal dut corete. In ogni câs par grancj valôrs di  $\nu/T$ , e risulte completementri in acuardi cul esperiment. Par i nestrîs calci o cjaparìn par buine cheste formule, tignint presint, sot un altri aspjet, che i nestrîs risultâts a son di cjapâ par bogns dome jenfri cierts limits.

Prime di dut, de formule parsore si tire fûr

$$\frac{1}{T} = -\frac{1}{\beta\nu} \ln \frac{\rho}{\alpha\nu^3}$$

daspò, considerant la formule dal paragraf di prime,

$$\varphi(\rho, \nu) = -\frac{\rho}{\beta\nu} \left[ \ln \frac{\rho}{\alpha\nu^3} - 1 \right]$$

Fasìn cumò l'assum di cjapâ in considerazion une radiazion di energie  $E$ , cun frecuece che e cole tra  $\nu$  e  $\nu + d\nu$  intun volum  $\nu$ .

La entropie di cheste radiazion si scrîf

$$S = \nu\varphi(\rho, \nu) = -\frac{E}{\beta\nu} \left[ \ln \frac{E}{\nu\alpha\nu^3 d\nu} - 1 \right]$$

Se si considere di strenzisi a scrusignâ la dipendence de entropie dal volum incovât de radiazion, e o scrivìn  $S_0$  la entropie de radiazion che e ocupe il volum  $\nu_0$ , o cjatìn

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta\nu} \ln \frac{\nu}{\nu_0}$$

Cheste ecuazion e mostre che la entropie di une radiazion monocromatiche di densità avonde basse e svarie cul volum daûr de stesse leç pa la cuâl e svarie la entropie di un gas perfet o di une soluzion diluide. Plui indenant la ecuazion a pene cjatade e vignarà interpretade su la fonde dal principi introdusût di L. Boltzmann in fisiche, in acuardi al cuâl la entropie di un sisteme e je une funzion de probabilitât dal so stât.

**5. Studi dal pont di viste de teorie molecolâr de dipendence de entropie dal volum dai gas e des soluzioni diluidis.** La perauale “probabilitât”, doprade intal calcul de entropie inte teorie molecolâr dal gas no à il stes significât che i ven dât inte teorie de probabilitât. In particolâr,

a vegnin dispès fissadis ipotesis intal “câs di probabilitât avuâl” ancje cuant che i modei teorics doprâts a son suficientementri definîts par dedusilis. Intun lavôr a part o dimostrârâi che, fasint la analisi di un procès termic, al è suficient doprâ la cussì nomenade “probabilitât statistiche”, e o speri cussì di meti di bande une dificoltât logjiche che ancjemò e constituîs un berdei a la aplicazion dal principi di Boltzmann. Al moment, dut câs, o darai la formulazion gjenerâl che e vignarà aplicade a câs une vore particulârs.

Se al à un significât fevelâ di stât di un sisteme e se, cun di plui, ogni incressite de entropie e pues sedi spiegade come une transizion a un stât plui probabil,alore la entropie  $S_1$  di un sisteme e je une funzion de probabilitât  $W_1$  dal so stât intal istant. Se, duncje, doi sistemis  $S_1$  e  $S_2$  no rivin a sintî la presince un dal altri, o podìn scrivi:

$$S_1 = \varphi_1(W_1) \cdot S_2 = \varphi_2(W_2)$$

Se chescj doi sistemis a vegnin considerâts un sôl sisteme di entropie  $S$  e probabilitât  $W$ , o vin:

$$S = S_1 + S_2 \quad \text{e} \quad W = W_1 + W_2$$

Cheste relazion nus dîs che i doi stâts a son independents. Di chestis ecuazions al ven daûr che:

$$\varphi(W_1 \cdot W_2) = \varphi_1(W_1) + \varphi_2(W_2)$$

e finalmentri

$$\begin{aligned} \varphi_1(W_1) &= C \ln W_1 + c \\ \varphi_2(W_2) &= C \ln W_2 + c \\ \varphi(W) &= C \ln W + c \end{aligned}$$

La cuantitât  $C$  e je duncje une costant universâl; e ven de teorie cinetiche dai gas che il so valôr al è dât dal rapuart  $R/N$ , dulà che lis costantis  $R$  e  $N$  a àn il stes significât disore scrit. Se la entropie di un ciert stât iniziâl e je  $S_0$  e  $W$  la probabilitât relative di un stât di entropie  $S$ , o vin in gjenerâl:

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \ln W$$

Viodìn cumò di un câs particulâr. Considerìn intun volum  $v_0$  un ciert numar ( $n$ ) di ponts di podê movi (par esempli moleculis), che a saran



ogjet de nestre discussion. Cun di plui intal volum si puedin cjatâ altris ponts di podê movi, di ogni gjenar e in numar arbitrari. No fasarìn nisun assum su la leç che e descrif il moviment intal spazi dai ponts, se no pal fat che al rivuart di chest moviment nissune part dal spazi (e nissune direzion) e pues sedi considerade privilegjade. Cun di plui, il numar dai ponts che o stin considerant (prime nomenâts) al è cussì piçul che si pues trascurâ lis interaziions fra di lôr.

Il sisteme in cuestion, che al podarès, par esempi, sedi un gas perfet o une soluzion diluide, al ven a vê une entropie  $S_0$ . Considerin il câs dulà che une part  $\nu$  dal volum  $\nu_0$  al tegni dencj i  $n$  ponts libars di movisi intal volum iniziâl, cence che nuie altri al produsì cambiaments intal sisteme. Chest stât clarementri al corispuint a un altri valôr  $S_1$  di entropie, e o mostrarin cumò il principi di Boltzmann par determinâ la dife-  
rence di entropie fra i doi stâts.

Si domandìn: quale ise la probabilitât di chest stât rispjet al stât originari? O in altris peraulis: quale ise la probabilitât che intun istant di timp dal dut arbitrari, ducj i  $n$  ponts intal volum  $\nu_0$  che si movin cence dipendence di un viers a chel altri a vegnin a cjatâsi (casualmentri) intal volum  $\nu$ ?

Si à clarementri par cheste probabilitât, che e je une «probabilitât statistiche»

$$W = \left( \frac{\nu}{\nu_0} \right)^n$$

e si dedûs di cheste, aplicant il principi di Boltzmann:

$$S - S_0 = R \frac{n}{N} \ln \frac{\nu}{\nu_0}$$

Al è il câs di cjavâ note che, par otignî cheste ecuazion da la cuâl si pues trai par vie termodinamiche la leç di Gay-Lussac e chê parele de pression osmotiche, nol è necessari fâ assunziions su la leç che e regole il moviment da lis moleculis<sup>6</sup>.

**6. Interpretazion de espression de dipendence de entropie de radiazion monocromatiche dal volum, seont il principi di Boltzmann.** Intal paragraf 4, o vin cjatât, considerant la dipendence de entropie de radiazion monocromatiche dal volum, la espression:

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta v} \ln \frac{\nu}{\nu_0}$$

Se o scrivîn cheste ecuazion inte forme:

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \ln \left[ \left( \frac{\nu}{\nu_0} \right)^{NE/R\beta v} \right]$$

e le confrontîn cu la formule gjenerâl che e esprim il pricipi di Boltzmann

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \ln W$$

o rivîn a trai cheste conclusion:

Se une radiazion monocromatiche di frecuece  $\nu$  e energjie  $E$  e ven sierade (di parêts rifletintis) intun volum  $\nu_0$ , la probabilitât che intun istant di timp sielt arbitrariementri la energjie totâl di radiazion e vegni a cjatâsi intune part  $\nu$  dal volum  $\nu_0$  e je

$$W = \left( \frac{\nu}{\nu_0} \right)^{NE/R\beta v}$$

O rivîn cussì a la conclusion che:

La radiazion monocromatiche, di piçule densitât – jenfri il domini di validitât de formule di Wien – si compuarte come se e fos formade di cuants di energjie, fra di lôr independents, di grandece  $R\beta v/N$ .

Cumò o nin a confrontâ il valôr medi dai cuants di energjie de radiazion di “cuarp-neri” cun la energjie cinetiche medie dal moviment dal centri di masse di une molecule a la stesse temperaturade. Cheste ultime e je avuâl a  $3/2 (R/N)T$ , tant che il valôr medi dal quant di energjie, otignût su la base de formule di Wien, si scrîf:

$$\frac{\int_0^\infty \alpha \nu^3 e^{-\beta \nu / T} d\nu}{\int_0^\infty \frac{N}{R\beta \nu} \alpha \nu^3 e^{-\beta \nu / T} d\nu} = 3 \frac{R}{N} T$$

Se cheste radiazion monocromatiche (di densitât suficientementri piçule), a rivuart de dipendence de entropie dal volum, e agjîs come se e fos un mieç discret costituît di cuants di energjie di grandece  $R\beta v/N$ , alor e al è plausibil investigâ se lis leçs di emission e di trasformazion de lûs

a son fatis in mût che la lûs si compuarti come se e fos fate di cuants parêi di energjie. O tratarin la cusion intai paragrafs seguitîfs.

**7. Su la regule di Stokes.** Metin il câs de lûs monocromatiche che e ven mudade di fotoluminescence in lûs di diferente frecuece. Di conciert cul risultât che o vin a pene otignût, o proponin l'assum che tant che la lûs in origin che la lûs mudade a sedin fatis di cuants di energjie di grandece  $R\beta v/N$ , dulà che  $v$  e je la frecuece corispondent. Alore o podin interpretâ il procès di trasformazion in chest mût: Ogni quant di energjie in origin di frecuece  $\nu_1$  che al ven assorbît – al mancul par une densitât di distribuzion dai cuants di energjie suficientementri basse – al prodûs dome par efiet de sô azion un quant di lûs di energjie di frecuece  $\nu_2$ ; se dal câs intal stes timp l'assorbiment dal quant di energjie in origin al prodûs ancje cuants di energjie di frecuece  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  e v.i., tant che quant di energjie di altre sorte (par esempli calôr). Nol à nissune impuartance cjapâ in considerazion i procès, tra il principi e la fin, che a puartin al risultât finâl. Fintremai che o considerin la sostanza fotoluminescente tant che un fontanâr di energjie che e si spant cun continuitât, la energjie dal quant finâl di lûs e pues, su la fonde dal principi de conservazion de energjie, no sedi plui grande di chê dal quant di lûs iniziâl; par tant o vin di otignî la condizion

$$\frac{R}{N}\beta\nu_2 \leq \frac{R}{N}\beta\nu_1 \quad \text{o ancje } \nu_2 \leq \nu_1$$

Cheste no je altri che la ben cognossude regule di Stokes.

Si à di marcâ che la intensitât de lûs produsude in acuardi cu lis ne-stris ideis, cence che alc altri al sucedi e par flevare iluminazion, e sedi proporziônâl a la intensitât de lûs, parcè che ogni quant in origin al produsarà un procès elementâr da la specie mostrade disore, indipendentementri de azion incident di chei altris cuants di energjie. In particulâr no si varà un limit inferiôr di intensitât de lûs incident par la cuâl la lûs incident sot di cheste suee no sarès in grât di produsi fluoressence.

Seont i concets pandûts disore si pues figurâsi des deviazions da la regule di Stokes intai câs sot scrits:

1. Il numar dai cuants di energjie par unitât di volum tirâts dentry inte trasformazion al è cussì grant che un quant di energjie de lûs emetude al pues cjapâ energjie di plui cuants di energjie incidente.

2. Cuant che la lûs in origjin (o trasformade) no presente lis proprietâts carateristicichis di “radiazion di cuarp-neri” in acuardi cu la leç di Wien; par esempi, la lûs in origjin e je gjenerade di un cuarp a temperature cussì alte che par lungjecis di onde di chê fate la leç di Wien no je plui valide.

Cheste ultime pussibilitât e merte une atenzion particulâr. Seont la concezion disvilupade achì di fat nol è impussibil che, parfin cun densitâts une vore piculis, une “radiazion no Wieneane” e puedi vê energiis diferentis rispjet ae “radiazion di cuarp-neri” jenfri il domini di validitât de leç di Wien.

**8. Su la gjenerazion di rais catodics par iluminazion dai solits.** Un lavôr pioneristic di Lenard al mostre che la idee tradizional seont la cuâl la energjie de lûs si spant cun continuitât intal spazi e va incuintri a dificolâts une vore seriis se si cîr di spiegâ i fenomens fotoelectricis.

Seont la concezion che la lûs incidente e je componude di cuants di energjie  $R\beta v/N$ , la produzion di rais catodics de bande de lûs e pues sedi imagjinade in chest mût: I cuants di energjie a travanin il strât superficial dal cuarp, e la lôr energjie si trasforme, almancul in part, in energjie cinetiche dai eletrons. Il model plui sempliç al compuarte che un cuant di lûs al trasmudi dute la sô energjie a un eletron; o fasarin l’assum che chest al sucedi. No vin di meti di bande, dut câs, la pussibilitât che cualchi eletron al puedi assorbî une part de energjie dai cuants di lûs. Un eletron che al à otignût energjie cinetiche dentri il cuarp, une volte rivât in superficie al varà pierdût part de energjie. Cun di plui, o fasin l’assum che, par lassâ il cuarp, ogni eletron al à di fâ un ciert lavôr  $P$  (carateristic dal cuarp). I eletrons che a vegnin ecitâts su la superficie a angui perpendicolârs a lassaràn il cuarp cun velocitât normâl plui grande. La energjie cinetiche di chescj eletrons a vignarà a jessi

$$\frac{R}{N}\beta v - P$$

Se il cuarp al è cjamât e si cjate intun potenziâl positif  $\Pi$  e al è con-tornât di condutôrs a potenziâl zero, e se  $\Pi$  al è a pene sufficient a impedî une pierdite di quantitât di elettricitât de bande dal cuarp, al ven che

$$\Pi \varepsilon = \frac{R}{N} \beta v - P$$

dulà che  $\varepsilon$  al sta a segnâ la cjarie dal eletron; ven a stâi

$$\Pi E = R\beta v - P'$$

dulà che  $E$  al ten cont de cjarie di un gramecuivalent di un ion monovalent e  $P'$  al è il potenziâl di cheste cuantitât di eletricidât negative rispjet al cuarp<sup>7</sup>.

Se o scrivin  $E = 9,6 \times 10^3$ , alore  $\Pi \times 10^{-8}$  al è il potenziâl in volt che il cuarp iradiât al ven a vê intal vœit.

Par viodi se la relazion rigjavade e corispuint, par chel che al inten l'ordin di grandece, cul esperiment o considerin  $P = 0$ ,  $v = 1,03 \times 10^{15}$  (o sin al valôr di suee dal ultraviolet dal spetri solâr) e  $\beta = 4,866 \times 10^{-11}$ . Si cjate chest valôr  $\Pi 10^7 = 4,3$  Volt che al è un risultât che al è in acuardi, considerant l'ordin di grandece, cul risultât di Lenard<sup>8</sup>.

Se la formule rigjavade fûr e je corete,  $\Pi$  al ven a sedi, in coordinadis cartesianis in funzion de frecuece de lûs incident, une linie drete dulà che la pendance no dipint de sostance studiade.

Par chel che o rivi a viodi, chestis ideis sul efiet fotoelectric no son in contradizion cun lis proprietâts che Lenard al à osservât. Se ogni cuant di energjie incident, indipendentementri di chei altris, al stramude la energjie ai eletrons, alore la distribuzion des velocitâts dai eletrons, ven a stâi, la cualitât de radiazion catodiche produsude, e risulterà indipendente da la intensitât de lûs incident; di chê altre bande, stant il rest compagn, il numar di eletrons che a lassin il cuarp al sarà proporzionâl a la intensitât de lûs incident.

Par chel che al rivuarde lis necessariis limitazions a chestis regulis o podarìn introdusi notis in mût parêl a chês che o vin considerât necessariis par justificâ lis deviazions de regule di Stokes.

Prime, o vin suponût che almancul cualchidun dai cuants di energjie de lûs incident a dismudin dal dut la proprie energjie a un sengul eletron. Se no si fâs cheste resonevule supozizion, si ven a otignî, invece de ecua-zion di prime la relazion scrite chi sot:

$$\Pi E + P' \leq R\beta v$$

Cun conclusions parelis, par chel che al rivuarde la luminescence catodiche, che al è un fenomen contrari a chel a pene disvilupât, si ven a otignî:

$$\Pi E + P' \geq R\beta v$$

Par chel che al rivuarde lis sostancis scrusignadis di Lenard,  $\Pi E$  al è simpri une vore plui grant di  $R\beta v$ , cussì come la diference di potenziâl electric, che i rais catodics a àn di traversâ fin a gjenerâ lûs visibil, in cierts câs a fasin un centenâr, in altris miârs di Volt .

Si à duncje di fâ la suposizion che la energjie cinetiche di un eletron e produci une vore di cuants di energjie luminose.

**9. Su la ionizazion dal gas par mieç de lûs ultraviolete.** O fasìn cumò l'assum che intal procès di ionizazion di un gas cun lûs parsore de suee dal violet, ogni cuant di energjie luminose che al ven assorbît a ionize une sole molecule di gas. Di chest si pues dî prin di dut che la energjie di ionizazion di une molecule (ven a stâi, il lavôr teorichementri necessari par produci ionizazion) nol pues sedi un valôr plui grant di un cuant di lûs absorbît par produci l'efiet. Se  $J$  al segne la energjie (teoriche) di ionizazion par gramecuivalent, al ven daûr che

$$R\beta v \geq J$$

Stant a lis misuris di Lenard, la efetive lungjece di onde plui grande par l'aiar e je di cirche  $1,9 \times 10^{-5}$  cm, e duncje

$$R\beta v = 6.4 \cdot 10^{12} \text{ erg} \geq J$$

Un limit superiôr pe energjie di ionizazion al pues sedi otignût ancje dai potenziâi di ionizazion dai gas srarîts. Seont J. Stark, il plui piçul potenziâl di ionizazion (su anodis di platin) par aiar al è di cirche 10 volt . Si ven a otignî, duncje, come limit plui grant par  $J$ , il valôr di  $9,6 \times 10^{12}$ , che al è plui o mancul avuâl a chel osservât. O vin ancje une altre consequence, che la sô verifiche par vie sperimentâl mi somee di grande impuartance. Se ogni gran (quant) di energjie luminose supât al è in grât di ionizâ une molecule, alore fra la quantitât di lûs assorbide  $L$  e il numar  $j$  di grammolecole di gas ionizât e dovarès valê cheste relazion:

$$j = \frac{L}{R\beta v}$$

Cheste relazion e dovarès, se lis nestrìs ideis a corispuindin ae realtât, valê par ducj i gas che – ae frecuence corispondente – a mostrin un pre-seât assorbiment e a produsin ancje ionizazion.

*Berne, ai 17 di Març dal 1905*  
*(Acetât ai 18 di Març dal 1905)*

**Notis dal curadôr**

- (1) Podeabii, ven a stâi dotâs di une masse che e derive de masse molecolâr dai constituents da la materie solide, liquide o gassose.
- (2) Burît fûr, emetût o produsût o gjenerât.
- (3) Sorzint ridusude a un pont o font pontiform.
- (4) Mediâts (intal timp o intal spazi) o medi.
- (5) Assum o suposizion o ipotesî.
- (6) Grignêi o grans o cuants.
- (7) Tirâts dentri o assorbîts o supâts.
- (8) Sburât fûr o emetûts o produsûts.
- (9)  $R = 8,315 \text{ Joule}/^\circ\text{C mole}$ , e je ancje clamade *Costant di Clapeyron*.
- (10) L'autôr par "moleculis reâls" forsi al pensave a lis moleculis che no vegnin di altris grups molecolârs.

<sup>1</sup> La stesse valence de suposizion che, in stât di ecuilibri termic, moleculis di gas e di eletrons a vedin le stesse energjie cinetiche mediade intal timp. Si sa che  $S$ . Drude al à utilizât chest assum par dedusi une relazion tra la condutivitât termiche e chê eletriche intai metai.

<sup>2</sup> M. Planck, *Annalen der Physik* 1 (1900), 99.

<sup>3</sup> Si pues pandi chest assum inte maniere che e ven culi scrite. Lis componentis  $z$  de fuarce eletriche ( $Z$ ) intun dât pont dal spazi fra il timp  $t = 0$  e il timp  $t = T$  (dulà che  $T$  al rapresente un interval di timp grant se paragonât a ducj i periodis des ossilazions consideradis) in schirie di Fourier

$$z = \sum_{v=1}^{\infty} A_v \sin\left(2\pi v \frac{t}{T} + \alpha_v\right)$$

dulà che  $A_v \geq 0$  e  $0 \leq \alpha_v \leq 2\pi$ . Par un istès pont intal spazi, si considere di vê cheste expansion un numar arbitrari di voltis in arbitraris istants di timp ancje sielts arbitrarimentri. In chest câs, o vin par diferentis frecuencis di diferentis combinazions di valôrs par quantitâts  $A$  e  $\alpha_v$  di probabilitâts (statistichis)  $dW$  cussî scritis

$$dW = f(A_1, A_2, \dots, \alpha_1, \alpha_2, \dots) dA_1 dA_2 \dots d\alpha_1 d\alpha_2 \dots$$

La radiazion in chest câs e risulte il plui casual procès che o podin pensâ, se

$$f(A_1, A_2, \dots, \alpha_1, \alpha_2, \dots) = F_1(A_1) F_2(A_2) \dots f_1(\alpha_1) f_2(\alpha_2) \dots,$$

ven a stâi, cuant che la probabilitât par un dât valôr di  $A$  o  $\alpha$  e risulte indipendente di ducj chei altris valôrs di  $A$  e  $\alpha$ . Tant plui lis cubiis separadis di quantitâts  $A_v$  e  $\alpha_v$  a sodisfin la condizion di dipendence dal assorbiment e di emission di grups di speciâi risunadôrs, tant plui o podin disî che il câs tratât al è il plui disordenât procès che o podin pensâ di otignî.

<sup>4</sup> M. Planck, *Annalen der Physik* 4 (1901), 561.

<sup>5</sup> Chest assum al è di considerâ arbitrari. Lu adotarî in maniere naturâl, considerât che al è l'assum plui sempliç, almancul fin cuant che un esperiment no nus fasarà pensâ il contrari.

<sup>6</sup> Se o considerin  $E$  la energie dal sisteme, si ven a otignî

$$-d(E - TS) = p dv = T dS = RT \frac{n}{N} \frac{dv}{v}$$

o 
$$p v = R \frac{n}{N} T$$

<sup>7</sup> Fasint la suposizion che l'eletron al puedi sei gjavât fûr par mieç de lûs da la molecole neutre sôl spindint un ciert lavôr, nol è nuie di cambiâ inte relazion a pene mostrade: si à dome di considerâ  $P'$  une adizion di doi tiermins.

<sup>8</sup> P. Lenard, *Annalen der Physik* 8 (1902), 165.