

Franco Bagnoli

# Intervista impossibile a William Thompson – Lord Kelvin

*Impossible interview with William Thompson - Lord Kelvin*

Dipartimento di Fisica e Centro Interdipartimentale per lo Studio di Dinamiche Complesse (CSDC), Università di Firenze

Affiliato a INFN Sez. Firenze

**Riassunto.** Si ipotizza una intervista impossibile a un fisico famoso, William Thompson Lord Kelvin, mettendo in luce sia i suoi contributi scientifici che il suo carattere irascibile.

**Parole chiave.** Conduzione del calore, entropia, raffreddamento della Terra, età della Terra e del Sole.

I: Buongiorno professor Kelvin (Fig. 1).

K: Non per essere pedante, ma prima di essere professore sono un Lord.

I: Scusi, Sir Kelvin, non succederà più. Può raccontarci velocemente la sua vita?

K: Sono nato in Irlanda, a Belfast, nel 1824, come William Thompson. Mio padre era un professore di matematica e ingegneria, mia madre morì quando avevo solo 6 anni. Nel '32 ci spostammo a Glasgow, e in seguito viaggiammo a Londra, Parigi, nella Germania e nei Paesi Bassi.

I: Dove ha studiato?

K: Praticamente sempre all'università. Entrai all'università di Glasgow a 10

Summary. An impossible interview with a famous physicist, William Thompson Lord Kelvin, is presented, highlighting both his scientific contributions and his short temper.

Keywords. Heat conduction, Entropy, Cooling of the Earth, Age of the Earth and the Sun.

I: Good morning Professor Kelvin (Fig. 1).

K: Not to be pedantic, but I am first a Lord and only then a professor.

I: Excuse me, Sir Kelvin, it won't happen again. Can you tell us something about your life?

K: I was born in Ireland, Belfast, in 1824, as William Thompson. My father was a mathematician and engineering professor; my mother died when I was only 6 years old. In 1832 we moved to Glasgow, and later we traveled to London, Paris, Germany and the Netherlands.

I: Where did you study?

K: Practically always at university. I entered the University of Glasgow at the age of 10,

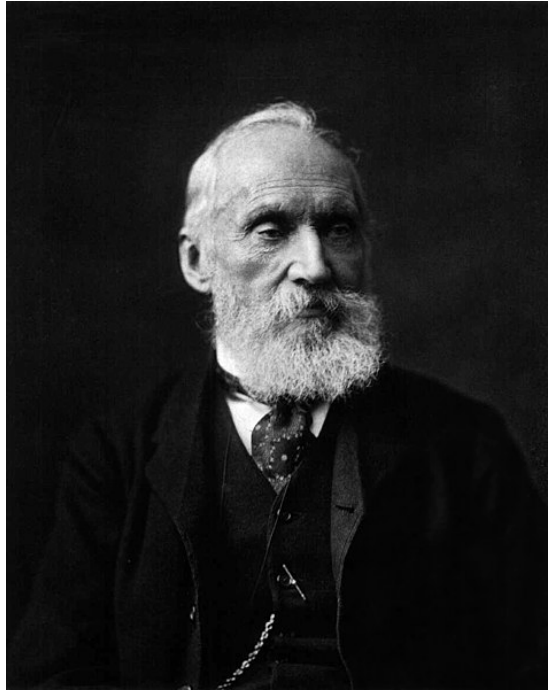


Figura 1. Fotografia di William Thomson, Lord Kelvin, Messrs. Dickinson, London, New Bond Street London, 1917. Da [https://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Thomson,\\_1st\\_Baron\\_Kelvin](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Thomson,_1st_Baron_Kelvin).

Figure 1. Photograph of William Thomson, Lord Kelvin, Messrs. Dickinson, London, New Bond Street London, 1917. From [https://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Thomson,\\_1st\\_Baron\\_Kelvin](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Thomson,_1st_Baron_Kelvin).

but I wasn't a child prodigy; there were simply courses for bright kids of that age. But I soon proved to be quite gifted in mathematics, and I fell in love with Fourier's essay on the propagation of heat, which, though, was attacked by my colleagues because Fourier used the Leibniz notation, while the scheme introduced by Newton was still popular with us.

I: Did you do all your studies at Glasgow?

K: No, I pursued my actual university studies at Cambridge, where, however, I was bitterly disappointed. At the time in Cambridge there was stiff competition to be the best graduate, a tough test whose results were even published in the *Times*. I was so sure that I would be the "Senior Wrangler" that I sent my valet to inquire about the results in order to find out who had finished second. "It's you, sir," he replied.

I: It must have been pretty bad ...

K: Yes, but I quickly recovered. Back in Glasgow, in 1845 I was able to demonstrate that electrostatic induction behaves like heat; in fact they obey the same equations.

I: And then, what did you study?

K: Many things, though in particular the problem of the structure of the atom. I rejected the ideas of "particle" mechanical, or, as I wrote, "the monstrous assumption of infinitely hard and infinitely rigid pieces of matter", whose "existence" was affirmed "in terms of hypotheses likely laid by some of the major modern chemists in their reckless introductory propositions". Conversely, inspired by Maxwell's ideas, I hypothesized that atoms were vortexes in a frictionless fluid [1-4], which was none other than electromagnetic ether.

anni, ma non ero un bambino prodigio, semplicemente c'erano dei corsi per i ragazzi brillanti di quell'età. Ma mi dimostrai presto piuttosto dotato in matematica, e mi innamorai del saggio di Fourier sulla propagazione del calore, che invece veniva attaccato dai miei colleghi perché Fourier usava la notazione di Leibniz, mentre da noi andava ancora per la maggiore lo schema introdotto da Newton.

I: È stato sempre a Glasgow?

K: No, l'università vera e propria l'ho fatta a Cambridge, dove però ho avuto una cocente delusione. Al momento della tesi in matematica a Cambridge c'è una competizione per l'allievo più bravo, un test durissimo i cui risultati venivano addirittura pubblicati dal Times. Ero talmente sicuro di che sarei stato il primo "wrangler" che inviai il mio valletto a informarsi sui risultati per sapere chi era arrivato secondo. "È lei", mi rispose.

I: Ci dev'essere rimasto piuttosto male...

K: Sì, ma mi ripresi velocemente. Tornato a Glasgow, nel 1845 riuscii a dimostrare che l'induzione elettrostatica si comporta come il calore, in effetti obbediscono alle stesse equazioni.

I: E poi di cosa si è occupato?

K: Di tantissime cose, in particolare del problema della struttura dell'atomo. Io rifiutavo le idee del meccanicismo "particellare" ovvero, come scrissi, "la mostruosa assunzione di pezzi di materia infinitamente duri ed infinitamente rigidi", la cui "esistenza" veniva affermata "in termini di ipotesi verosimile da alcuni dei maggiori chimici moderni nelle loro sconsiderate proposizioni introdotte". Viceversa, ispirato dalle idee di Maxwell, ipotizzai che gli atomi fossero

I: But didn't Maxwell also propose kinetic theory?

K: Yes, as far as collisions between atoms are concerned, kinetic theory is fine, but the fact was that atomic spectra had to be explained, that is, how atoms could emit electromagnetic waves, and therefore they could not be infinitely hard. I assumed they were made up of vorticity rings, a bit like smoke rings, more or less knotted and intertwined. In an ideal fluid – without friction, like ether should have been, or as can be done today in superfluid helium [5,6] – the rings can neither be untangled nor ever dampened: they are eternal. Depending on the number of nodes, we had different types of atoms, and together with Tait I developed the theory of nodes (Fig. 2).

Helmholtz had shown that these vorticity filaments attract or repel each other, as do two hurricanes that spin in the same or opposite direction, according to the same law established by Biot-Savart, i.e., as when a current runs through wires. The equations for the vorticity and for the magnetic field are the same, at least until we look at how the vorticity is related to the velocity field of a fluid. Furthermore, these filaments can easily vibrate and therefore emit radiation [7].

I: Can we say that you anticipated string theory?

K: Yes, in some sense. But in the end I had to give it up; my model was unstable. But my studies had great influence on fluid dynamics, and there is one type of instability called Kelvin-Helmholtz, which occurs when two layers of fluid travel at different speeds. After Thomson discovered the electron, I invented a model made up of spherical shells, held together by springs, where the electrons stay on these surfaces, so they can vibrate.

vortici in un fluido privo di attrito [1-4], che altro non era che l'etere elettromagnetico.

I: Ma Maxwell non è anche quello della teoria cinetica?

K: Sì, per quanto riguarda le collisioni tra atomi la teoria cinetica può andare, ma il fatto era che si dovevano spiegare gli spettri atomici, ovvero come facesse gli atomi a emettere delle onde elettromagnetiche, e quindi non potevano essere infinitamente duri. Io supponevo che fossero costituiti da anelli di vorticità, un po' come gli anelli di fumo, più o meno annodati e intrecciati. In un fluido ideale, senza attrito come doveva essere l'etere, o come oggi si può fare nell'elio superfluido [5,6], gli anelli non si possono né oltrepassare né si smorzano mai, sono eterni. A seconda del numero di nodi, avevamo diversi tipi di atomi, e con Tait sviluppai appunto la teoria dei nodi (Fig. 2).

Helmutz aveva dimostrato che tali filamenti di vorticità si attraggono o si respingono, come fanno due uragani che girino nello stesso senso o in senso opposto, con la stessa legge di Biot-Savart, ovvero come fili percorsi da corrente. Le equazioni per la vorticità e per il campo magnetico sono uguali, almeno finché non si va a vedere come la vorticità è legata al campo di velocità di un fluido. Inoltre, tali filamenti possono facilmente vibrare e quindi emettere radiazione [7].

I: Si può dire che ha anticipato la teoria delle stringhe?

K: In un certo senso. Però alla fine mi dovetti arrendere, il mio modello era instabile, ma comunque i miei studi hanno avuto grande influenza nella fluidodinamica, tanto che esiste l'instabilità di Kelvin-Helmholtz, che avviene quando due strati di fluido viaggiano con velocità differenti. Dopo che Thomson aveva

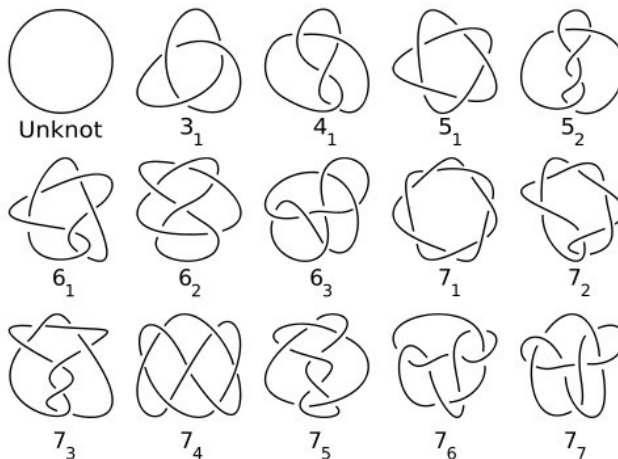


Figura 2. Nella teoria di Thomson e Tait, nodi diversi corrispondono a diversi atomi. Hydrogen: senza nodo, Carbonio:  $3_1$ , Ossigeno:  $4_1$ . Da [https://en.wikipedia.org/wiki/Knot\\_tabulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Knot_tabulation).

Figure 2. In Thomson and Tait's theory, different knots correspond to different atoms. Hydrogen: unknot, Carbon:  $3_1$ , Oxygen:  $4_1$ . From [https://en.wikipedia.org/wiki/Knot\\_tabulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Knot_tabulation).

scoperto l'elettrone, inventai un modello formato da dei gusci sferici, tenuti insieme da delle molle, e gli elettroni stavano su tali superfici, così potevano vibrare.

I: Ma non era più semplice pensare a degli elettroni ruotanti come piccoli pianeti, come nell'atomo di Bohr?

K: Io sapevo bene che una carica in moto irraggia, e quindi si frena. Il mio modello fu poi semplificato da Joseph John Thomson e divenne quello "a panettone", con gli atomi fatti di gelatina positiva e gli elettroni come l'uvetta, per usare una immagine cara a voi italiani, mentre per noi inglesi la metafora era quelle delle prugne nel pudding.

I: Thomson ha il suo stesso cognome. Parente?

K: Il cognome Thomson è molto comune, così come la sua variante Thompson, solo di William Thomson ce ne sono decine di persone famose, e tra i premi Nobel in fisica abbiamo appunto Joseph John Thomson, Charles Thomson Rees Wilson, George Paget Thomson, e, prima che esistesse tale premio, Benjamin Thompson conte di Rumford. Joseph John Thomson riprese la mia idea perché i suoi esperimenti con i raggi catodici gli avevano confermato che gli elettroni erano particelle. Ironicamente suo figlio George Paget vinse il Nobel perché dimostrò il contrario, ovvero che gli elettroni si comportano anche come onde.

I: Lei non anticipò però la fisica quantistica...

K: Anzi, nel 1900, parlando davanti all'assemblea della British Association for the Advancement of Science, a Bradford affermai "Ormai in fisica non c'è più nulla di nuovo da scoprire. Tutto ciò che rimane da realizzare sono misure sem-

I: But wasn't it easier to think of electrons rotating as small planets, as in Bohr's atom?

K: I well knew that a moving charge radiates and therefore slows down. My model was then simplified by Joseph John Thomson and became the "plum pudding" one, with atoms made of positive jelly and electrons like plums, or, to use an image more familiar to you Italians, as raisins in "panettone".

I: Thomson is also your own last name. Are you relatives?

K: The Thomson surname is very common, as is its Thompson variant. There are dozens of famous William Thomsons alone, and among the Nobel prizes in physics we have Joseph John Thomson, Charles Thomson Rees Wilson, George Paget Thomson, and, before the prize existed, Benjamin Thompson Earl of Rumford. Joseph John Thomson took up my idea because his experiments with cathode rays had proved to him that electrons were particles. Ironically, his son George Paget won the Nobel Prize because he proved otherwise, that electrons also behave like waves.

I: But you didn't anticipate quantum physics ...

K: Far from it: in 1900, speaking before the assembly of the British Association for the Advancement of Science, in Bradford, I said, "Now in physics there is nothing new to discover. All that remains to be done are increasingly precise measurements". The same year Planck published his famous work on the quantization of electromagnetic radiation.

I: And how did you become a Lord?

K: That's a long and fascinating story. Around the mid-1800s, telegraphy was in full swing,

pre più precise”. Lo stesso anno Planck pubblicò il suo famoso lavoro sulla quantizzazione della radiazione elettromagnetica.

I: E come è diventato Lord?

K: È stata una storia lunga e appassionante. Intorno alla metà dell’800 la telegrafia era in pieno sviluppo, e si stava valutando la fattibilità di trasmissioni intercontinentali tramite cavi, un’idea proposta anche da Faraday. Io mi misi a studiare il problema, e, utilizzando l’equazione del calore conclusi che il segnale si attenuava con la radice quadrata della lunghezza del cavo, ma aumentava con la sezione del cavo. Praticamente ci sarebbe voluto un cavo enorme e un rivelatore estremamente sensibile.

I: E quindi?

K: Sviluppai un rivelatore molto sensibile, il galvanometro a specchio (Fig. 3), che alla fine si rivelò fondamentale, ma in realtà mi sbagliavo per quanto riguarda la fisica del problema. Io seguivo l’idea di Faraday per cui l’acqua intorno al cavo si comportava come una induttanza, e quindi cercavamo di ridurla in tutti i modi. In realtà, come dimostrò Heaviside senza essere creduto per molti anni, bisognava tenere in conto anche la capacità, e l’induttanza andava aumentata per “tenere insieme” il segnale. Comunque i primi cavi atlantici si spezzarono, e quando alla fine riuscimmo a stenderne uno, Whitehouse (Fig. 4), che era il capo ingegnere, lo danneggiò portandolo ad una tensione di 2000 V, perché non riusciva a vedere il segnale con i suoi rivelatori. Alla fine però, grazie al mio galvanometro, ce la facemmo e recuperammo anche un altro cavo danneggiato, così che nel 1866 c’erano ben due cavi da 3600 km che collegavano l’Europa, o

and the feasibility of intercontinental transmissions via cables was being evaluated, an idea also proposed by Faraday. I studied the problem, and using the heat equation I concluded that the signal attenuated with the square root of the cable length, but increased with the cable section. Basically it would need a very thick cable and an extremely sensitive detector.

I: And so?

K: I developed a very sensitive detector, the mirror galvanometer (Fig. 3), which eventually proved to be fundamental, but in reality I was wrong about the physics. I followed Faraday’s idea that the water around the cable acted like an inductance, so we did all we could to try to reduce it. In fact, as Heaviside showed without being believed for many years, capacity had to be taken into account, and inductance had to be increased to “hold” the signal together. However, the first Atlantic cables broke, and when we finally managed to lay one, Whitehouse (Fig. 4), who was the chief engineer, damaged it by increasing the voltage to 2000 V, because he could not see the signal with his detectors. In the end, however, thanks to my galvanometer, we managed to do it and we also recovered another damaged cable, so that in 1866 there were two 3600-km cables that connected Europe, or rather Ireland and therefore the United Kingdom, to the United States [Fig. 5] [8]. I was made knight, First Baron of Kelvin, by the river of the same name at the University of Glasgow.

I: But you are famous, above all, for your work in thermodynamics!

K: In 1847 I attended a seminar by Joule in which he attempted to oppose the theory of caloric, which, however, had received a great boost from Carnot’s book on the driving power



Figura 3. Galvanometro a specchio di Thomson, circa 1900. Da [https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror\\_galvanometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror_galvanometer).

Figure 3. Thomson's mirror galvanometer, circa 1900. From [https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror\\_galvanometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror_galvanometer).



Figura 4. Wildman Whitehouse nel 1856. Da [https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman\\_Whitehouse](https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman_Whitehouse).

Figure 4. Wildman Whitehouse in 1856. From [https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman\\_Whitehouse](https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman_Whitehouse).

meglio l'Irlanda e quindi il Regno Unito, agli Stati Uniti (Fig. 5) [8]. Io fui fatto cavaliere, ovvero primo barone di Kelvin, dal fiume omonimo che scorre presso l'università di Glasgow.

I: Ma lei è famoso soprattutto per i suoi lavori in termodinamica!

K: Nel 1847 assistetti a un seminario di Joule nel quale tentava di opporsi alla teoria del calorico, che però aveva ricevuto un grande impulso dal libro di Carnot sulla potenza motrice del fuoco e sulla possibilità quindi di produrre macchine termiche efficienti. In realtà Carnot aveva ragione, anche se usava un argomento sbagliato, e Joule non aveva dietro di sé una matematica sufficientemente progredita.

I: E quindi arrivò lei...

K: Può dirlo forte. In particolare, ho definito la scala assoluta delle temperature, detta appunto scala kelvin, e riuscii a coniugare le idee di Carnot sul "calore perduto" con il principio di conservazione dell'energia di Joule, arrivando a formulare la seconda legge della termodinamica, ovvero che non si può estrarre del lavoro da una sola sorgente di calore, raffreddandola. Intuii anche l'idea che qualcosa, che poi Clausius identificò con l'entropia, dovesse sempre aumentare nei processi irreversibili, e che quindi avrebbe portato alla morte termica dell'universo.

I: Ovvero?

K: Ai miei tempi non si conosceva l'espansione dell'universo che era considerato statico, e neppure i processi nucleari. Quindi avevo stimato l'età del Sole e della Terra supponendo semplicemente che si fossero riscaldati per il collasso gravitazionale e si fossero quindi raffreddati lentamente. Feci i calcoli sfruttando la mia conoscenza della legge di trasmissione del calore di Fourier e delle misure

of fire and therefore on the possibility of producing efficient thermal machines. In fact, Carnot was right, even if he used a wrong argument, and Joule didn't have sufficiently advanced mathematics behind him.

I: And so you entered the fight...

K: I certainly did. In particular, I defined the absolute scale of temperatures, called the kelvin scale, and I managed to combine Carnot's ideas on "lost heat" with Joule's principle of conservation of energy, and so I came to formulate the second law of thermodynamics, i.e., that one cannot extract work from a single source of heat by cooling it. I also had the intuition that something, which Clausius later identified with entropy, should always increase in irreversible processes, and which would therefore lead to the thermal death of the universe.

I: What is that?

K: In my day, the expansion of the universe was unknown, and so were nuclear processes. So I estimated the age of the Sun and the Earth by simply assuming that they had warmed up due to their gravitational collapse and had then slowly cooled. I made my calculations using my knowledge of Fourier's law of heat transmission and the measurements of the thermal gradient made in caves and mines, and I came to a concordant estimate of an age between 24 and 400 million years for the universe [9-13]. If it continued to cool, however, it would end up with everything at the same temperature, which is thermal death.

I: But the universe is much older!

K: That's what the geologists kept telling me. They claim an age of the Earth of the order



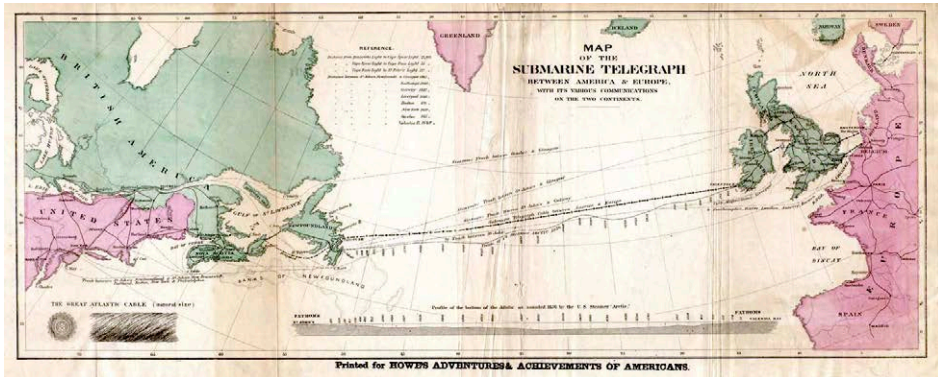


Figura 5. Rotta del cavo transatlantico (1858). Da [https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman\\_Whitehouse](https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman_Whitehouse).  
 Figure 5. Route of the transatlantic cable (1858). From [https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman\\_Whitehouse](https://en.wikipedia.org/wiki/Wildman_Whitehouse).

del gradiente termico fatte nelle miniere, e arrivai a una stima concorde di un'età tra 24 e 400 milioni di anni per l'universo [9-13]. Continuando a raffreddarsi comunque tutto l'universo sarebbe arrivato alla stessa temperatura, ovvero alla morte termica.

I: Ma l'universo è molto più vecchio!

K: È quello che continuavano a dirmi i geologi, che sostenevano un'età della Terra dell'ordine dei miliardi di anni sulla base del tasso di erosione. Anche i biologi come Darwin avevano bisogno di miliardi di anni per far evolvere le spe-

of billions of years, based on erosion rate. Biologists like Darwin also needed billions of years to let the species evolve. And what's worse, they were supported by a collaborator of mine, John Perry (Fig. 6) [14-17].

I: What did Perry say?

K: He dared to argue that I was wrong to consider cooling by conduction, which is typical of solid bodies. In reality, he said, the center of the Earth and the Sun is liquid, and therefore convective motions must be considered.

I: But convective motions are much more efficient than conduction in the transport of heat! Therefore the Earth should have cooled even faster!

K: This is the same mistake that many of my contemporaries made. But the premises are wrong! We do not know the initial conditions, that is, how hot the Earth was at the beginning, but the conditions at the border, that is, the thermal gradient for a small depth. If you take my solid Earth model, and enter the measured gradient, you will find an internal temperature that gradually increases and therefore a rather cold Earth. And vice versa, in the Perry model, we have a thin solid crust and a liquid mantle. Temperature rise is highly non-linear, and therefore even with a cold crust you can have a liquid and glowing core!

I: A kind of chocolate cake with a soft center!

K: Yes, and now you know that Perry's model could also explain the drift of the continents, which can float on the liquid core of the Earth. Luckily, Perry worshiped me and never had the courage to vigorously support his ideas, which have thus been rediscovered only long after.

cie. E quel che è peggio, vennero appoggiati da un mio collaboratore, John Perry (Fig. 6) [14-17].

I: Che diceva Perry?

K: Osava sostenere che io avessi sbagliato a considerare il raffreddamento per conduzione, quello tipico dei corpi solidi. In realtà, diceva lui, il centro della Terra e del Sole è liquido, e quindi bisogna considerare i moti convettivi.

I: Ma i moti convettivi sono molto più efficienti della conduzione nel trasporto del calore e quindi la Terra avrebbe dovuto raffreddarsi ancora più in fretta!

K: Questo è lo stesso errore che fecero molti dei miei contemporanei. Ma le premesse sono sbagliate! Non conosciamo le condizioni iniziali, ovvero quanto era calda la Terra all'inizio, ma le condizioni alla frontiera, ovvero il gradiente termico per una piccola profondità. Se si prende il mio modello di Terra solida, e si inserisce il gradiente misurato, si trova una temperatura interna che aumenta gradualmente e quindi una Terra piuttosto fredda. Viceversa, nel modello di Perry abbiamo una sottile crosta solida e un mantello liquido. L'aumento di temperatura è altamente non-lineare e quindi, anche con una crosta fredda, si può avere un cuore liquido e incandescente!

I: Una specie di tortino di cioccolato con il cuore morbido!

K: Già, e adesso sapete che il modello di Perry poteva anche spiegare la deriva dei continenti, che possono galleggiare sul cuore liquido della Terra, ma per fortuna Perry mi venerava e non ebbe mai il coraggio di sostenere con vigore le sue idee, che vennero così riscoperte solo molto tempo dopo.

I: Ma il riscaldamento della Terra non è dovuto anche al decadimento radioattivo dell'uranio?



Figura 6. John Perry, drawing by author after a photograph from 'History of the Institution of Electrical Engineers 1871-1931 (Appleyard, 1939).

Figure 6. John Perry, drawing by the author from a photograph from *History of the Institution of Electrical Engineers 1871-1931* (Appleyard, 1939).

K: Questo venne scoperto dopo. Ricordo che nel 1904, quando ero già molto anziano, Rutherford (Fig. 7) venne a dare un seminario alla Royal Institution, a proposito di rocce contenenti uranio che decadendo aveva prodotto del piombo. Ebbene, quel briccone, stimando la quantità di queste sostanze aveva calcolato che l'età di quella sola roccia era di 500 milioni di anni, allungando quindi enormemente l'età della Terra. Rutherford, quando mi vide tra il pubblico, fu terrorizzato, sapendo con quanta veemenza ero solito sostenere i miei argomenti.

I: E che successe?

K: Io feci finta di addormentarmi, una cosa che mi accadeva di frequente alle conferenze, e così lui poté esporre tutta la parte tecnica. Ma al momento delle conclusioni aprii gli occhi e lo fissai!

I: E poi?

K: Quel furbone si ricordò che nel mio saggio sull'età del Sole avevo specificato quali erano le premesse da cui partivo. Così disse: "Lord Kelvin ha correttamente stabilito l'età della Terra a patto che nessuna nuova sorgente di calore venisse scoperta. Ma la radioattività produce calore, e quindi le stime vanno cambiate!". Mi aveva fregato [18]!

I: Quindi è la radioattività e non la convezione a allungare l'età della Terra?

K: In realtà l'effetto è congiunto, diciamo più o meno metà e metà! E ovviamente adesso sapete che l'energia del Sole è dovuta solo in piccola parte al collasso gravitazionale, e in gran parte alla fusione dell'idrogeno, il che permette alle stelle piccole come il nostro Sole di brillare per miliardi di anni.

I: Quindi ammette l'errore!

I: But isn't the warming of the Earth also due to the radioactive decay of uranium?

K: This was discovered later. I remember that in 1904, when I was already very old, Rutherford (Fig. 7) came to give a seminar at the Royal Institution about uranium-containing rocks that had produced lead by decaying. Well, that rascal, estimating the quantity of these substances, had calculated that the age of that single rock was 500 million years, thus enormously lengthening the age of the Earth. When he saw that I was in the audience, Rutherford was terrified, knowing how vehemently I would support my arguments.

I: And what happened?

K: I pretended to fall asleep, something that happened to me frequently at conferences, and so he could present all the technical parts. But when he reached his conclusions, I opened my eyes and stared at him!

I: And then what?

K: That sly man remembered that in my essay on the age of the Sun I had specified the premises from which I started. So he said, "Lord Kelvin has correctly established the age of the Earth provided that no new heat sources are discovered. But radioactivity produces heat, and therefore his estimates must be changed!" He screwed me [18]!

I: So it is radioactivity and not convection that increases the Earth's age?

K: Actually the effect is joint, let's say more or less half and half! And of course now you know that the Sun's energy is only due in small part to gravitational collapse, and in large part to the fusion of hydrogen, which allows small stars like our Sun to shine for billions of years.

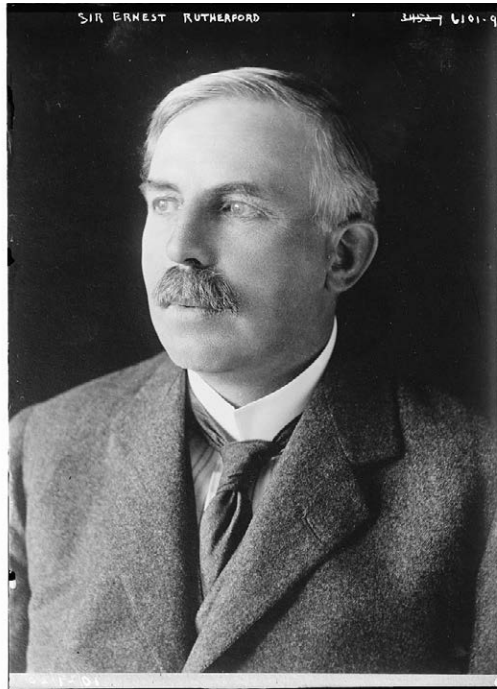


Figura 7. Ernest Rutherford 1900, George Grantham Bain Collection (Library of Congress) <https://lcn.loc.gov/2014716719>. Da <https://www.loc.gov/resource/ggbain.36570>.

Figure 7. Ernest Rutherford 1900, George Grantham Bain Collection (Library of Congress) <https://lcn.loc.gov/2014716719>. From <https://www.loc.gov/resource/ggbain.36570>.

I: So you admit the mistake!

K: To tell you the truth, now that I've been dead for a long time, I can say that I made some slightly hasty judgments. For example, when I was invited to become a member of the aviation company, I said that I absolutely did not believe that vehicles heavier than air could ever fly. And in 1900 I said that X-rays were a scam and that they didn't exist.

I: I think the scientific community has forgiven you, given your enormous contributions. Hope to see you again, Lord Kelvin.

K: Many greetings to you and your readers.

Franco Bagnoli (<http://francobagnoli.complexworld.net>) is a theoretical physicist working at the Department of Physics and Astronomy, University of Florence. He studies complex systems in physics, biology and cognitive sciences. He is also interested in the popularization (see [fisicax.complexworld.net](http://fisicax.complexworld.net) – in Italian) and interactive communication of science, and is president of the Florence Science Café association ([www.caffescienza.it](http://www.caffescienza.it)).

This interview is part of a series available on the Internet [19]. Some of these interviews (in Italian) have been collected into a book [20].

K: A dire la verità, adesso che sono morto da molto tempo, posso dire di aver espresso dei giudizi leggermente affrettati. Per esempio, quando mi invitarono a diventare membro della società aeronautica dissi che non credevo assolutamente che si potesse volare con mezzi più pesanti dell'aria. E nel 1900 dissi che i raggi X erano una truffa e non esistevano.

I: Penso che la comunità scientifica l'abbia perdonato, visti i suoi enormi contributi. A rivederci, Lord Kelvin.

K: Tanti saluti a lei e ai suoi lettori.

**Franco Bagnoli** ([francobagnoli.complexworld.net](http://francobagnoli.complexworld.net)) è un fisico teorico e lavora presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze. Studia sistemi complessi nel campo della fisica, della biologia e delle scienze cognitive. È anche interessato alla divulgazione (vedi [fisicax.complexworld.net](http://fisicax.complexworld.net)) e alla comunicazione scientifica partecipativa, ed è il presidente dell'associazione Caffè-Scienza di Firenze ([www.caffescienza.it](http://www.caffescienza.it)).

Questa intervista fa parte di un ciclo disponibile su Internet [19]. Alcune di queste interviste sono state raccolte in un libro [20].

## Referenze

- [1] Thomson, W. 4. *On Vortex Atoms*. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh **6**, 94-105 (1869). doi:10.1017/S0370164600045430

## References

- [1] Thomson, W. 4. *On Vortex Atoms*. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh **6**, 94-105 (1869). doi:10.1017/S0370164600045430
- [2] Kasbaoui, H., *Kelvin's Brilliant Vortex Atoms*, Medium, Sep 6, 2016 <https://medium.com/@HossKas/kelvins-brilliant-vortex-atom-d2ff256ae5ab>
- [3] Villani, V., *L'atomo dimenticato: il modello a vortice di Kelvin*, Scienze e Ricerche **21**, 41-44 (2016). <http://www.scienze-ricerche.it/?p=6847>
- [4] Wilczek, F., *Beautiful Losers: Kelvin's Vortex Atoms*, Nova newsletter, December 30 (2011). <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/beautiful-losers-kelvins-vortex-atoms/>
- [5] K. Schwarz, Three-dimensional vortex dynamics in superfluid 4He: Line-line and line-boundary interactions, Physical Review B, **31**, 5782-5804 (1985). doi: 10.1103/physrevb.31.5782
- [6] Fonda, E., Meichle, D. P., Ouellette, N. T., Hormoz, S., Sreenivasan, K. R. and Lathrop, D. P., *Visualization of Kelvin waves on quantum vortices*, arXiv:1210.5194 (2012). <https://www.youtube.com/watch?v=SIXIOeOkKxU>
- [7] Thomson, W., XXIV. *Vibrations of a columnar vortex*, Philosophical Magazine Series 5, **10**, 155-168 (1880). doi: 10.1080/14786448008626912
- [8] Bart, D. and Bart, J., *Sir William Thomson, on the 150th Anniversary of the Atlantic Cable* (2008). <https://atlantic-cable.com/CablePioneers/Kelvin/>

- [2] Kasbaoui, H., *Kelvin's Brilliant Vortex Atoms*, Medium, Sep 6, 2016 <https://medium.com/@HossKas/kelvins-brilliant-vortex-atom-d2ff256ae5ab>
- [3] Villani, V., *L'atomo dimenticato: il modello a vortice di Kelvin*, Scienze e Ricerche **21**, 41-44 (2016). <http://www.scienze-ricerche.it/?p=6847>
- [4] Wilczek, F., *Beautiful Losers: Kelvin's Vortex Atoms*, Nova newsletter, December 30 (2011). <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/beautiful-losers-kelvins-vortex-atoms/>
- [5] K. Schwarz, Three-dimensional vortex dynamics in superfluid 4He: Line-line and line-boundary interactions, *Physical Review B*, **31**, 5782-5804 (1985). doi: 10.1103/physrevb.31.5782
- [6] Fonda, E., Meichle, D. P., Ouellette, N. T., Hormoz, S., Sreenivasan, K. R. and Lathrop, D. P., *Visualization of Kelvin waves on quantum vortices*, arXiv:1210.5194 (2012). <https://www.youtube.com/watch?v=SLXIOeOkKxU>
- [7] Thomson, W., XXIV. *Vibrations of a columnar vortex*, *Philosophical Magazine Series 5*, **10**, 155-168 (1880). doi: 10.1080/14786448008626912
- [8] Bart, D. and bart, J., *Sir William Thomson, on the 150th Anniversary of the Atlantic Cable* (2008). <https://atlantic-cable.com/CablePioneers/Kelvin/>
- [9] Kelvin, W. T., *On the secular cooling of the earth*. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* **23**,157-170 (1863).
- [10] Kelvin, W. T, *On the age of the Earth*. *Nature* **51**,438-440 (1895).
- [11] Lamb, E., *Lord Kelvin and the Age of the Earth*, *Scientific American blog*, June 26 (2013). <https://blogs.scientificamerican.com/roots-of-unity/lord-kelvin-age-of-the-eart/>
- [9] Kelvin, W. T., *On the secular cooling of the earth*. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* **23**,157-170 (1863).
- [10] Kelvin, W. T, *On the age of the Earth*. *Nature* **51**,438-440 (1895).
- [11] Lamb, E., *Lord Kelvin and the Age of the Earth*, *Scientific American blog*, June 26 (2013). <https://blogs.scientificamerican.com/roots-of-unity/lord-kelvin-age-of-the-eart/>
- [12] Philip C. E., Peter M. and Frank M. R., *Kelvin, Perry and the Age of the Earth*, *American Scientist* **95**, 342 (2007). doi: 10.1511/2007.66.342 <https://www.americanscientist.org/article/kelvin-perry-and-the-age-of-the-earth>
- [13] Burchfield, J. D., *Lord Kelvin and the Age of the Earth*, (Science History Publications, New York 1975)
- [14] England, P. C., P. Molnar and F. M. Richter, John Perry's neglected critique of Kelvin's age for the Earth: A missed opportunity in geodynamics. *GSA Today* **17**, 4-9 (2007)
- [15] Perry, J., *On the age of the Earth*. *Nature* **51**,224-227 (1895).
- [16] Perry, J., *On the age of the Earth*. *Nature* **51**, 341-342 (1895).
- [17] Perry, J., *On the age of the Earth*. *Nature* **51**, 582-585 (1895).
- [18] Eve, A.S., *Rutherford: Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford (O.M.: Macmillan, New York 1939) p. 451.*
- [19] Franco Bagnoli, 2006, *FisicaX*, <http://fisicax.complexworld.net>.
- [20] Franco Bagnoli, 2019, 30 Interviste impossibili ai fisici del passato, Apice Libri, Sesto Fiorentino, Italy.

- [12] Philip C. E., Peter M. and Frank M. R., *Kelvin, Perry and the Age of the Earth*, *American Scientist* **95**, 342 (2007). doi: 10.1511/2007.66.342 <https://www.americanscientist.org/article/kelvin-perry-and-the-age-of-the-earth>
- [13] Burchfield, J. D., *Lord Kelvin and the Age of the Earth*, (Science History Publications, New York 1975)
- [14] England, P. C., P. Molnar and F. M. Richter, John Perry's neglected critique of Kelvin's age for the Earth: A missed opportunity in geodynamics. *GSA Today* **17**, 4-9 (2007)
- [15] Perry, J., *On the age of the Earth*. *Nature* **51**, 224-227 (1895).
- [16] Perry, J., *On the age of the Earth*. *Nature* **51**, 341-342 (1895).
- [17] Perry, J., *On the age of the Earth*. *Nature* **51**, 582-585 (1895).
- [18] Eve, A.S., *Rutherford: Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford (O.M.: Macmillan, New York 1939) p. 451.*
- [19] Franco Bagnoli, 2006, *FisicaX*, <http://fisicax.complexworld.net>.
- [20] Franco Bagnoli, 2019, 30 Interviste impossibili ai fisici del passato, Apice Libri, Sesto Fiorentino, Italy.