

CE.R.CO.  
SCUOLA DI DOTTORATO IN ANTROPOLOGIA  
ED EPISTEMOLOGIA DELLA COMPLESSITÀ  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

# Relatività, Quanti, Chaos e altre Rivoluzioni della Fisica

Atti del XXVII Congresso Nazionale  
di Storia della Fisica e dell'Astronomia,  
Bergamo 2007

*a cura di*

Enrico Giannetto, Giulia Giannini e Marco Toscano

**Guaraldi**

LUISA BONOLIS  
Università *La Sapienza* di Roma

*Alle origini della fisica spaziale*

Il 4 ottobre 1957 l'Unione Sovietica mise in orbita il primo satellite artificiale. La notizia produsse una forte reazione negli Stati Uniti. Un universo precedentemente invisibile agli astronomi e al di là della portata dei fisici poteva essere ora esplorato. Il 21 gennaio 1958, circa quattro mesi dopo lo Sputnik, l'Explorer I, il primo satellite americano, individuò le fasce di van Allen. Questa fu la prima importante scoperta scientifica dell'esplorazione spaziale. Nella primavera del 1958 gli Stati Uniti fondarono la NASA, allo scopo di mantenere la leadership statunitense nel nuovo campo della scienza e della tecnologia spaziale. Allo stesso tempo, la National Academy of Sciences creò lo *Space Science Board*, un comitato di consulenza formato da un gruppo di scienziati con l'incarico di promuovere l'interesse della comunità scientifica verso la ricerca spaziale e allo stesso tempo supportare la NASA.

Bruno Rossi era tra i quindici membri del *Board*, la cui prima riunione fu tenuta a New York il 27 giugno 1956. Una serie di comitati e *panel* furono creati allo scopo di esaminare campi di ricerca diversi. Rossi fu nominato presidente del sottocomitato per i "progetti spaziali", il cui obiettivo era quello di scoprire campi di ricerca che potevano essere sfuggiti agli "esperti". Il 30 settembre 1958, durante la prima riunione, il comitato di Rossi, formato da Thomas Gold, Salvator Luria e Phillip Morrison, rilevò l'assenza di proposte relative alla ricerca di vita extraterrestre e di esperimenti riguardanti le condizioni idromagnetiche dello spazio interplanetario.

Numerose osservazioni avevano da tempo fornito una evidenza indiretta della presenza di gas ionizzati nello spazio esterno alla terra. Tra il settecento e l'ottocento, l'osservazione delle tempeste magnetiche e le perturbazioni associate con le aurore boreali avevano suggerito che quei fenomeni potessero avere un'origine extraterrestre. L'apparente correlazione con il ciclo solare e la scoperta dei brillamenti, insieme alle

numerose prove della loro associazione con le grandi tempeste magnetiche, avevano indotto lo scienziato norvegese Olaf Kristian Birkeland a ipotizzare che le aurore fossero causate da particelle cariche emesse dal sole e "risucchiate" dal campo magnetico terrestre in prossimità dei poli<sup>1</sup>. Ipotizzò anche che i brillamenti solari fossero costituiti da elettroni negativi e ioni positivi<sup>2</sup>. La sua idea fu ripresa dal matematico norvegese Carl Störmer, che iniziò a calcolare i percorsi che i fasci di particelle solari avrebbero seguito una volta entrati in contatto con il campo magnetico terrestre<sup>3</sup>.

All'inizio degli anni trenta Sydney Chapman e Vincent C.A. Ferraro effettuarono una serie di calcoli dimostrando che le nubi di gas ionizzato emesse dal sole in corrispondenza delle tempeste magnetiche viaggiavano a 1000 o 2000 km al secondo, raggiungendo quindi la terra nel giro di uno o due giorni. Ipotizzarono anche che l'interazione tra le particelle con il campo magnetico terrestre avrebbe formato una *cavità magnetica* intorno alla terra e una *coda magnetica* dalla parte opposta rispetto al sole<sup>4</sup>.

Anche fenomeni come la luce zodiacale risultavano attribuibili alla diffusione della radiazione solare – così come la diffusione di onde radio provenienti dalle stelle – da parte di gas interplanetari ionizzati, che si supponeva fossero elettroni.

Una terza manifestazione della presenza di corpuscoli solari fu notata in connessione con le fluttuazioni di intensità dei raggi cosmici. Già nel 1938 Scott E. Forbush mostrò che il numero di raggi cosmici aumentava in coincidenza del minimo del ciclo solare, e viceversa<sup>5</sup>.

Una quarta e decisiva evidenza proveniva dalle osservazioni delle comete. Nel 1951 Ludwig Bierman interpretò la deflessione di circa 6° della coda delle comete dalla direzione radiale rispetto al sole in termini di interazione tra gli ioni della coda cometaria e il flusso di particelle *continuamente* emesso dal sole a velocità di centinaia di chilometri al secondo<sup>6</sup>.

Utilizzando il modello di una corona solare statica e a simmetria sferica, Sidney Chapman concluse che il riscaldamento dell'alta atmosfera rilevato dai razzi, dovesse essere causato dal calore fuoriuscente dal sole attraverso la corona. La temperatura dell'ordine del milione di gradi spiegava quindi la sua estensione nello spazio interplanetario, ben oltre l'orbita terrestre<sup>7</sup>.

Il meccanismo generale era da ricercarsi nella teoria magnetoidrodinamica del fisico svedese Hannes Alfvén, che aveva messo in evidenza come un gas ionizzato in moto dovesse trasportare con sé un campo magnetico<sup>8</sup>.

All'inizio del 1956, studiando lo spettro energetico dei raggi cosmici, Philip Morrison arrivò alla conclusione che la terra fosse immersa in un groviglio di campi magnetici interplanetari di origine solare. Suggerì che le particelle dei raggi cosmici provenienti dallo spazio fossero soggette a un effetto repulsivo nel diffondersi a caso attraverso le nubi turbolente di plasma magnetizzato proveniente dal sole, che trasportavano "congelate" al loro interno le linee di forza appartenenti al campo originario. In questo modo si poteva spiegare l'effetto rilevato da Forbush<sup>9</sup>.

In parallelo con l'analisi dei dati osservativi, verso la fine degli anni cinquanta esistevano quindi due visioni dello spazio interplanetario. Il flusso di particelle fuoriuscente dal sole ad alta velocità, proposto da Biermann e l'atmosfera solare statica che Chapman supponeva si estendesse oltre la terra. Eugene Parker si rese conto del fatto che la corona e i flussi di gas solare non potevano essere entità distinte. Secondo Parker la corona solare non era in equilibrio, ma doveva espandersi continuamente nello spazio, riempiendo l'intero sistema solare e generando un flusso ad alta velocità, che chiamò *vento solare*, per distinguerlo dai precedenti modelli di un'atmosfera statica o di una radiazione corpuscolare che si comportava come un insieme di «proiettili»<sup>10</sup>. Parker suggerì inoltre che l'effetto di indebolimento sul flusso idrodinamico dovuto alla gravità avrebbe prodotto una transizione da un flusso subsonico a uno supersonico. La sua teoria forniva una descrizione delle condizioni prevalenti nello spazio interplanetario, insieme a una spiegazione della teoria di Bierman dell'aberrazione delle code cometarie. Tuttavia non fu accolta con favore. Un lavoro presentato all'*Astrophysical Journal* nel 1958<sup>11</sup> fu respinto da due referee e pubblicato grazie all'intervento dell'allora direttore, Subrahmanyan Chandrasekhar<sup>12</sup>.

Alla fine degli anni cinquanta, la maggior parte degli scienziati erano ormai persuasi che un plasma di origine solare pervadesse lo spazio interplanetario fino all'orbita terrestre e probabilmente oltre. Tuttavia non esisteva alcun accordo, nemmeno approssimativo, circa le proprietà di questo plasma. Secondo i calcoli di Joseph W. Chamberlain, per esempio, il vento sarebbe stato piuttosto una «brezza»<sup>13</sup>.

Il lancio di sonde spaziali nel 1959 rendeva ormai possibile misurare la densità degli ioni e degli elettroni nello spazio esterno alla cavità magnetica terrestre. Nel gennaio 1959 la prima osservazione diretta fu fatta dal satellite sovietico Lunik I per mezzo di contatori a scintillazione e rivelatori a ionizzazione. Lunik II, lanciato nel settembre 1959 in direzione opposta al sole, riuscì a misurare, a una distanza di 29 raggi terrestri, un flusso di ioni positivi la cui energia superava 15 eV e la cui intensità era di circa  $2 \cdot 10^8$  particelle/cm<sup>2</sup> s<sup>14</sup>. Lunik III fu lanciato nell'ottobre dello

stesso anno e rilevò un flusso di circa  $4 \cdot 10^8$  ioni positivi/cm<sup>2</sup> s a una distanza di 29 raggi terrestri<sup>15</sup>.

L'interesse per il plasma interplanetario del Gruppo di Raggi Cosmici del MIT guidato da Bruno Rossi era percepito come una "naturale estensione" della propria linea di ricerca in quanto principalmente motivato dalla sua connessione con il problema delle variazioni temporali dei raggi cosmici<sup>16</sup>. Il problema era stato anche discusso con Morrison e Gold e quindi a Rossi era apparso del tutto naturale sottoporlo all'attenzione dello *Space Board Committee* nell'incontro dell'ottobre 1958.

Rossi sentiva che nuove opportunità «di trovare qualcosa di inaspettato» si aprivano attraverso la tecnologia spaziale, così come all'inizio degli anni trenta il contatore Geiger-Müller era stato lo strumento che aveva trasformato le ricerche dei raggi cosmici in un nuovo campo della fisica. Un programma concreto per lo sviluppo di un esperimento avente lo scopo di misurare la composizione e il moto d'insieme del plasma interplanetario fu subito sviluppato con la collaborazione fondamentale di Herbert Bridge a cui si unirono Frank Scherb, Edwin Lyon, Constance Dilworth-Occhialini e successivamente Alan Lazarus, Alberto Bonetti e Alberto Egidi. Nel maggio 1959 i risultati di uno studio preliminare apparvero sull'*Annual Report for the Laboratory for Nuclear Science*<sup>17</sup>. Vi si sottolineava l'importanza di conoscere in dettaglio le seguenti proprietà del plasma: «a) spatial distribution of the plasma in the solar system and its variation with time; b) bulk velocity of the plasma; c) correlation with solar activity; d) correlation and association with magnetic fields; e) composition; and f) plasma "temperature"». Un ulteriore obiettivo era quello di misurare la direzione del moto del flusso di plasma<sup>18</sup>.

Lo strumento, fondamentalmente una *tazza di Faraday* modificata, fu lanciato soltanto il 25 marzo 1961 a bordo del satellite Explorer X. Una differenza sostanziale con le sonde sovietiche risiedeva nel fatto che queste ultime non soltanto non avevano alcuna protezione contro l'interferenza dei fotoelettroni, che falsavano quindi la misura dell'intensità. Inoltre non erano in grado di misurare l'energia dei protoni che, al contrario degli elettroni dotati di moti molto più disordinati, erano quelli che potevano fornire dati attendibili sul moto d'insieme del flusso di plasma.

La sonda del MIT stabilì alcune questioni di base sulle condizioni esistenti nello spazio interplanetario, oltre a dimostrare l'esistenza di un vento solare supersonico e di una cavità geomagnetica, una regione di spazio in cui il campo magnetico terrestre costituisce uno schermo per il vento solare<sup>19</sup>.

Il volo di Explorer X mutava profondamente il concetto di *spazio esterno* e la relazione terra-sole emergeva del tutto rinnovata da quella che Alfvén ha considerato una rivoluzione scientifica confrontabile con l'introduzione del telescopio come strumento di osservazione del cielo da parte di Galileo. I presupposti costruttivi dello strumento messo a punto dal gruppo di Rossi, saranno successivamente riutilizzati per l'esplorazione delle magnetosfere degli altri pianeti del sistema solare.

### Note:

- <sup>1</sup> Birkeland, O.K., *Sur les rayons cathodiques sous l'actions de forces magnétiques intenses*, «Arch. Sci. Phys. Naturelles», 1, 1896, pp. 497-512; *Id.*, *Expédition Norvégienne de 1899-1900 pour l'étude des aurores boréales*, «Skr. Nor. Vidensk. Akad. Kl. Mat. Naturvidensk.», N. 1, 1901.
- <sup>2</sup> *Id.*, *The Norwegian aurora polaris expedition 1902-1903*, Vol. 1, *On the Cause of Magnetic Storms and the Origin of Terrestrial Magnetism*, prima e seconda sezione, H. Aschehoug e Co., Christiania 1908 e 1913.
- <sup>3</sup> Störmer, C., *Sur la situation de la zone de fréquence maximum des aurores boréales d'après la théorie corpusculaire*, «C.R.Acad.Sci.», 151, 1910, pp. 736-739; *Id.*, *Sur les trajectoires des corpuscules électrisés dans l'espace sous l'actions des magnétisme terrestre avec application aux aurores boréales*, seconde memoire, «Arch. Sci. Phys. Nat.», Ser. 4, 32, 1911, pp. 117-123, pp. 190-219, pp. 277-314, pp. 415-436, pp. 505-509.
- <sup>4</sup> Chapman, S., Ferraro, V.C.A., *A New Theory of Magnetic Storms*, «Nature», 126, 26 luglio 1930, pp. 129-130; *Id.*, *A new Theory of magnetic storms*, Part I: *The initial phase*, «J. Geophys. Res.», 36, 1931, pp. 77-97, pp. 171-186; 37, 1932, pp. 147-156, pp. 421-429; and Part II: *The main phase*, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, «J. Geophys. Res.», 38, 1933, pp. 79-96.
- <sup>5</sup> Forbush, S.E., *On world-wide changes in cosmic-ray intensity*, «Phys. Rev», 54, 1938, pp. 975-988.
- <sup>6</sup> Biermann, L., *Kometenschweife und Solare Korpuskularstrahlung*, «Z.f. Astrophys.», 29, 1951, pp. 274-286.
- <sup>7</sup> Chapman, S., *Notes on the Solar Corona and the Terrestrial Ionosphere*, *Smithsonian Contribution to Astrophysics*, Vol. 2, 1957, pp. 1-14; *Id.*, *Interplanetary space and the earth's outermost atmosphere*, «Proc. Roy. Soc. London», A253, 1959, pp. 462-481.
- <sup>8</sup> Alfvén, H., *A theory of magnetic storms and of the aurorae*, «K. Sven. Vetenskapakad. Hanl. Ser.», 3, 1939, p. 18; ristampato parzialmente in «Eos», 51, 1970, pp. 180-194; *Id.*, *A theory of magnetic storms and of the aurorae II, The aurorae; III, The magnetic disturbances*, «K. Sven. Vetenskapakad. Handl., Ser.», 1940, 3, p. 18; *Id.*, *Cosmical Electrodynamics*, Oxford University Press, New York 1950; *Id.*, *The theory of magnetic storms and auroras*, «Nature», 167, 1951, p. 984.

- <sup>9</sup> Morrison, P., *Solar Origin of Cosmic-Ray Time Variations*, «Phys. Rev.», 101, 1956, pp. 1397-1404.
- <sup>10</sup> Parker, N., *The solar wind*, «Scientific American», 210, 1964, pp. 66-76; p. 70.
- <sup>11</sup> *Id.*, *Dynamics of the Interplanetary Gas and Magnetic Fields*, «Astrophys. J.», 128, 1958, pp. 664-676.
- <sup>12</sup> *Id.*, *The Martial Art of Scientific Publication*, «Eos», vol. 78, n. 31, 1997, p. 391.
- <sup>13</sup> Chamberlain, O.W., *Interplanetary gas. II. Expansion of a model solar corona*, «Astrophys. J.» 131, 1960, pp. 47-56.
- <sup>14</sup> Gringauz, K.I., Bezrukikh, V.V., Ozerov, V.D. and Kybchinskii, R.E., *Study of the interplanetary ionized gas, high energy electrons, and solar corpuscular radiation by means of three electrode traps for charged particles on the second cosmic rocket*, «Soviet Phys. Doklady», 5, 1964, pp. 361-364.
- <sup>15</sup> Gringauz, K.I., *Some results of experiments in interplanetary space by means of charged particle traps on soviet space probes*, «Space Res.», 2, 1961, pp. 539-553.
- <sup>16</sup> Rossi, B., *Moments in the life of a scientist*, Cambridge University Press, New York 1990, p. 132.
- <sup>17</sup> Laboratory for Nuclear Science, Massachusetts Institute of Technology, Cosmic Ray Group Progress Report May 1, 1959, Sec. VI. Plasma Probe Studies, p. 60.
- <sup>18</sup> Bridge, H.S., Dilworth, C., Lyon, B.F., Rossi, B., e Scherb, F., *An Instrument for the Investigation of Interplanetary Plasma*, «J. Geoph. Res.», 65, 1960, pp. 3053-3055.
- <sup>19</sup> Bridge, H.S., Dilworth, C., Lazarus, A.J. Lyon, B.F., Rossi, B., e Scherb, F., *Direct Observation of the Interplanetary Plasma*, «J. Phys. Soc. Japan», 17, Supp. A-II, 1962, pp. 553-564.