

THE CARRINGTON EVENT WAS CAUSED BY SECONDARY COMETS AND METEORS OF COMET BIELA

Boris R. German ^(1,2),

(1) Independent Researcher, Freiburg, Germany (borisgerman@hotmail.com), (2) Phys.-Tech. Institute Academy of Sciences, Donetsk, Ukraine (german@mail.fti.ac.donetsk.ua)

Keywords: the 1859 Carrington Event, the 3D/Biela comet, Andromedids, the Mazapil meteorite, white-light solar flares, ICMs, SEPs, geomagnetic storms, low-latitudes aurorae, cosmogenic isotopes, MHD waves, the Taylor-type instability, pinch effects.

INTRODUCTION

It is known that the historical Carrington Event occurred from August 26 to September 7, 1859, when the strongest geomagnetic disturbances, low-latitude aurorae, and ignitions in long telegraph lines of Eurasia, America and Australia were observed [Stewart, 1861, p. 424]. Extreme geomagnetic storms were recorded twice: on August 28/29 and September 1/2, 1859.

To date, researchers believe that the Carrington Event was caused by solar flares and two interplanetary coronal mass ejections (ICMEs) that hit Earth. The flare on September 1, 1859, observed by R. Carrington [Carrington, 1859] and marked by a crochet trace (a characteristic 'hook' on the magnetogram), was identified as a solar white-light flare, i.e., with radiation in the continuum spectrum [Hudson, 2021].

However, during the same time in 1859, astronomers expected observations of the Andromedids meteor shower and two secondary comets, which appeared together after the breakup of comet 3D/Biela. As is now believed, they were not observed due to poor weather. At the same time, published evidence allows us to assert that the Carrington event was associated with Andromedids and/or with fragments of Comet Biela.

The 3D/Biela Comet, with a short period of revolution around the Sun ~ 6.7 years, belonged to the Jupiter family of comets and was discovered independently by astronomers Jacques Montaigne and Charles Monsieur on March 8, 1772. This Comet was then observed by Jean-Louis Pons on 10 November 1805 and rediscovered again on 27 February 1826 by Wilhelm von Biela. A meteor shower was also discovered in the orbit of this Comet. Astronomer E. Herrick concluded that the 1838 radiant these meteors should be located near the Cassiopeia constellation or, more likely, the vicinity of the cluster in the Perseus' sword [Newton, 1886]. Then, as a result of passages near Jupiter, the radiant of the meteor stream of the 3D/Biela Comet could shift to the Gamma (Alamak) star in the Andromeda constellation, where it remains until nowadays as the source of the Andromedids meteor stream.



Fig. 1. Two secondary comets, 'A' and 'B', immediately after the disintegration of the parent Comet 3D/Biela in February 1846 [Weiß, 1888; Flammarion, 1894, p. 499, Fig. 213, Harvard College Library. <http://books.google.com/>] (the spiral structure may indicate the Birkenland electric currents of the comet). The 'B' comet was located northwest of the large 'A' comet (north is up, west is to the left).

On December 19, 1845, the nucleus of 3D/Biela was observed to be splitting, and by December 31, 1845, it was complete. Astronomer M. Mori, in mid-January 1846, reported two disintegrated parts. Each of them was a separate comet, with the nucleus, coma and tail (Fig. 1). Each of them was a separate comet, with the nucleus, coma and tail (Fig. 1). However, the 3D/Biela Comet was probably divided into a larger number of fragments¹, since the connecting arch was clearly traced between the two main parts. At one point, up to five fragments were observed [Jenniskens, 2007]. By the end of March, the distance between the two main components was ~ 2.6 million km. Since the 3D/Biela Comet was always at a significant perihelion distance from the Sun (~ 0.86 of the radius of the Earth's orbit [Fesenkov, 1978, p. 198]), the assumption about its disintegration due to internal energy is justified (see later).

In 1852, astronomer A. Secchi from Rome observed the secondary greatest 'A'-comet from August 26 until September 23, and the secondary smaller 'B'-comet from September 15 until September 29 [Secchi, 1872]. The distance between them was already ~ 2.8 million km [Flammarion, 1894, p. 499].

Since the Mazapil iron meteorite fell and was immediately found in Mexico on the day of the Andromedids stream maximum in 1885 [Hidden, 1887], the Comet Biela could have magnetic metallic fragments. Therefore, the movement of magnetized particles of meteors along the force lines of the geomagnetic field could cause effects indistinguishable from those created by particles of the solar wind. They included penetration into the magnetosphere/atmosphere from both the North and South magnetic poles, as well as the induction of aurorae and telluric currents.

Already, astronomer E. Weiß pointed out that a close move near Jupiter led to a gradual decrease in the longitude of the ascending node of the 3D/Biela orbit [Weiß, 1888]. Moreover, now the radiant of Andromedids is 20° south relative to the radiant in the 19th century [Kronk, 1999]. The main source of meteors is numerous filaments formed due to significant changes in the comet's orbit. If, on November 27, in both 1872 and 1885, there were several thousand meteors per hour, then now, in the region of November 14, the Andromedids are only a weak stream with a maximum activity of fewer than 3 meteors per hour. Nowadays, the Andromedids meteor stream is observed from September to December [Kronk, 1999].

A correct interpretation of the Carrington Event is important in light of the debate about the threats to terrestrial civilization. However, the hypothesis of an exclusively solar origin of the 1859 Carrington Event faces serious difficulties (this will be discussed).

PART 1.

FRAGMENTS OF COMET BIELA VERSUS ICMEs

1.1. THE 1859 CARRINGTON EVENT

A comparison of data from the great meteor showers of 1798, 1838, and 1872, when the Earth was near the Biela's orbit or crossing it, showed that the Andromedids were distributed, *'preceding the comet to a distance of 300 millions of miles and following it to a distance of 200 millions of miles'* [Newton, 1875, p. 224, Fig. 104]. Although Comet Biela was expected at the end of May 1859, it is not surprising that the secondary 'A/B' comets, together with the Andromedids meteor shower, appeared at the end of August.

Based on scientific data, the first magnetic disturbances attributed to the historical Carrington Event were simultaneously recorded at the Observatories in France (Paris), and in Guatemala on 26 August 1859, when the geomagnetic declination (i.e., deviation from true north) changed between 9:30 a.m. and noon [Comptes Rendus, 1860, p. 473; Smart, 2006]. Then, sudden disturbances of abnormally strong amplitude during magnetic storms were observed twice: on the evening of 28 August and on the morning of 2 September 1859. The violations themselves showed an oscillating character, which was reflected in a change in polarity of telegraph currents. The perturbations throughout the planet continued until September 7 inclusive, when the magnetic field calmed down [Stewart, 1861, p. 424].

The publication of the scientific journal *'The Weekly Herald'* for September 1859 stated that in the USA, all telegraph lines were affected to the north so that during the presence of a 'meteor', communication had to be interrupted [AUC, p. 335]. This mention of 'meteor' is not the only one. There were more examples, and in addition, related to Gamma Andromeda.

¹ Throughout the text presented, I include in the term 'fragments' of Comet Biela both the large secondary comets 'A' and 'B', which appeared as a result of its disintegration in the 1840s, and the Andromedids meteor shower.

Astronomer B. Stewart reported that in many places, the lights had a magnificent appearance, while in others where this 'meteor' was also seen, the phenomenon of lights was rare. In other words, aurorae were not observed everywhere, but many observers reported a 'meteor'.

Descriptions of this 'meteor' given by observers far from each other were collected by Professor E. Loomis and published [Stewart, 1861b, p. 423]. E. Loomis himself received a letter from the Secretary of the Smithsonian Institution, D. Henry, stating that there is a large collection of materials regarding this interesting 'meteor' [Loomis, 1860b, p. 339; Shea, 2006]. According to this collection, there was a report by Professor C. Hansteen from Christiania (nowadays Oslo), Norway, that on August 29 at 12:18, a beam shot in the east into Gamma Andromeda [Loomis, 1860b; Shea, 2006, p. 338]. In 1885, according to H. Newton [Newton, 1886, p. 419], the Andromedids radiant was also located to the east of most observers. Interestingly, in the 17th century, the artist Hevelius left an image reproducing a luminous beam that shot from the nucleus of Halley's comet into the tail [Chambers, 1909, p. 104].

The significant also was the evidence by E. Lowe, which reflects the sequential development of observations on the evening of August 28 and the morning of August 29, 1859, in St. Nottingham, England, ending with the phrase: '*At 3:15 a.m. an auroral dome formed near Gamma Andromeda*' [Loomis, 1860b; Shea, 2006, p. 339].

It is now generally accepted that the disturbances during the Carrington Event were spreading from the north. It is therefore symptomatic that in northern countries, namely Norway and England, reports the direction of both the auroral beam and the dome towards Gamma Andromeda.

On August 28 at 9:30 p.m., according to Captain B. Stanard at Cleveland, Ohio, USA, there remained only a steady, very bright white light in the north, forming a huge curve passing through Cepheus and Perseus [Shea, 2006, p. 349]. Between these constellations, closer to Perseus, as is known, is also Gamma Andromeda.

Professor A. Twining at West Point, New York, USA, pointed out that on August 28, the streamers moved high in the north through the Cassiopeia constellation. Let me remind you that the astronomer E. Herrick concluded that the radiant of the meteors of Comet Biela in 1838 should have been located near the Cassiopeia constellation [Newton, 1886], which is the neighbour of Gamma Andromeda in the sky.

Quite remarkable is the report in '*The New York Times*' [Green, 2006] that the multi-colored bands of the aurora crossed each other in massive pillars between the constellations of Aries, Taurus, and the Head of Medusa (in the Perseus constellation) – approximately 15° to the south of the zenith. Above the triangle of these constellations is the star Gamma Andromeda. From Athens, it was also reported that the aurora was limited to the east by the Alpha Perseus star [Loomis, 1860a, p. 83]. The astronomer W. Denning, who had been studying meteors for many years, claimed that the 1885 Andromedids shower also was wide, up to 7°, and he saw several meteors from a point south of Gamma Andromeda [Denning, 1885, p. 69].

It was also stated [AUC, p. 331] that the luminous arch was under a dark segment in the Eridan constellation and first stayed above the main aurora stretching beyond the zenith (that is, the length of the auroral radiance was $\geq 90^\circ$). The arch subsequently 'disappeared' to the north in Eridan. This does not exclude the 'Eridan — Gamma Andromeda' direction.

The famous poet Walt Whitman recalled in his poem '*The Year of Meteors*' that a comet flew in from the north, flashed in the sky, and a string of meteors flew high overhead... '*It was the year of comets and meteors!*' [Whitman, 1859–1860]².

Indeed, from a report, for example, by professor K. Lyman of Yale College, New Haven, Connecticut, follows that on September 2, around dawn, the attention of professor F. Shepard was attracted by rapid flashes and pulsations overhead, which, as it seemed to him, indicated a very low altitude of the phenomenon [Shea, 2006, p. 320]. Earlier, on the evening of August 28, at 21:53 (New Haven mean time), a rapidly moving shooting star, i.e., meteor was spotted. [Loomis, 1860b; Shea, 2006, p. 320, Table 1.3].

According to a report published in the '*Port Gibson Revale*', observer Senex, Sr., of Jefferson County, Mississippi, noted a meteor moving on September 1 at 11 p.m., and then on September 2 at 1 a.m. counted **seven meteors** [Loomis, 1860b; Shea, 2006, p. 325].

The crew of the ship '*Southern Cross*' from Alta (Upper) California on the night of September 2 in the Southern Hemisphere (50° S, 80° W) between squalls, in clear places in the sky, observed lights flashing with a meteoric brilliance [Loomis, 1860b; Shea, 2006, p. 344].

Sailors during the aurora over Civitavecchia Bay, 80 kilometers northwest of Rome, associated the fiery pillar they saw

2 Although the Comet C/1860 M1 and meteor shower were observed in New York in July 1860, Whitman's poem dates back to 1859–1860. Therefore, the poem could describe the 1859 Carrington Event.

directly with a comet [Secchi, 1859b; Blake, 2020, Appendix B.1.].

Finally, the 'Melbourne Argus' reported that on 28 August over Mount Gambier town, South Australia, a bright meteor, approaching the horizon, exploded like a rocket, and a vivid aurora arose straightaway. This meteor's explosion and the subsequent aurora were also visible in Adelaide, 390 km from Mount Gambier town [Green, 2006]. Consequently, the aurorae of the 1859 Carrington Event, including low-latitude ones, can be a result of meteor explosions.

It is believed that at the end of August and at the beginning of September 1859, the weather conditions for observations were poor. For example, on August 28 and September 2, over all four magnetic stations in Russia (in St. Petersburg, Ekaterinburg, Barnaul, and Nerchinsk) were overcast and cloudy [Loomis, 1861a, p. 77]. In addition, according to computer modeling, the Andromedids meteor shower in 1859 should have been weak; otherwise, it is difficult to explain the lack of registrations [Jenniskens, 2007]. Despite this, astronomer A. Secchi reported that in Rome, beautiful rockets and auroral pillars of intense white and pale yellow light in the direction of the north could be seen even through the clouds [Secchi, 1859]. In Cleveland, Ohio, it was noticed that fire arrows flew from the north, like a terrible bombing [Cardenas, 2016], etc.

Regarding the rockets often mentioned by eyewitnesses, it is known that '*the substance of the meteor passes from the head to the tail, reaching several kilometers in length. Parts of the tail seem to flutter, the streams that make it up are intertwined, lengthening, shortening and replacing each other, sometimes resembling the tails of rockets*' [Astapovich, 1958, p. 338]. This intertwining effect can also be attributed to the mechanism of compression of comet 'threads' due to the 'pinch effect' of discrete eddy current beams, leading to thin filaments [Thornhill, 2006; Peratt, 2015], which will be discussed follow.

1.2. GEOMAGNETIC DISTURBANCES

1.2.1. CONTRADICTIONS IN THE STANDARD PARADIGM

The start of the 1859 Carrington Event was associated, as already mentioned, with the magnetic disturbances in Guatemala on August 26. At the same time, strong earthquakes occurred in neighbouring El Salvador [Canudas, 1860; Ribeiro, 2011]. Although the issue is controversial, the occurrence of an intense geomagnetic storm of solar origin and a nearby large earthquake at the same time is not recognized within the framework of nowadays scientific paradigm [Love, 2013]. As for the connection between such earthquakes and meteor streams, there are no issues. It is known that the brightest meteors with a (-15) stellar magnitude and a luminous intensity of $I > 10^{11}$ candela (cd) are recorded by seismographs [Astapovich, 1958, p. 296, Fig. 142]. So, the registered meteor stream on January 20, 1977, consisting of massive, slowly moving dense stones, caused serious seismic activity both on the Moon and on Earth [Oberst, 1987, p. 737]. Additionally, if in 1977 there were only stone fragments, then in the case of the 3D/Biela Comet components, shock waves could be generated by the passage of large iron-stone fragments near the magnetosphere or meteors in the atmosphere, thus initiating telluric induced currents and the earthquakes in El Salvador in August 1859.

It is assumed that after the magnetic disturbances of August 26, 1859, the first of two strong magnetic storms of the Carrington Event began on August 28 at 23 UT, since the aurora in Havana arose around this time. In the Southern Hemisphere, on the evening of August 28, all three elements of the magnetometer of the Melbourne Observatory recorded large disturbances, which recovered on August 29 [Hamble, 2006; Hayakawa, 2018]. At the Colaba Observatory in Bombay (India), the gradual change in the horizontal component of the geomagnetic field continued until almost midnight on August 31. This indicates an uneven impact of the factor that caused the geomagnetic disturbances on different regions of the Earth.

One of the main arguments for the solar nature of the 1859 Carrington Event is stated a solar white-light flare in the region of two large sunspots, observed by astronomer R. Carrington at the Greenwich Observatory on September 1, 1859, at about 11:18 UT [Carrington, 1859]. According to R. Carrington, the white-light solar flare completely disappeared at 11:23 UT. At the Paris Observatory, a geomagnetic disturbance was recorded on September 1 at 11:30 UT [Comptes Rendus, 1860, p. 473; Smart, 2006, p. 340]. Independent of R. Carrington, astronomer R. Hodgson at Kew Observatory registered a geomagnetic disturbance of all three elements at 11:15 UT. Around the same time, at 11:22 UT, a sharp, small hook-shaped excursion in the geomagnetic trace (crochet), attributed to a solar flare, appeared on the horizontal H -component of the magnetogram at Kew.

A crochet-flare of ultraviolet or X-rays, explosive type on the Sun, quickly, through ~ 8 minutes, affects the Earth by the Mögel–Döllinger effect or SID – an increase in conductivity in the ionosphere dynamo region, manifested only on the illuminated side of the Earth. However, during the 1859 Carrington Event, no one monitored X-rays and/or UV-rays [Curto, 2016]. In the Rome Observatory, e.g., the time about 11:22 UT was considered not working, i.e., the records were not made [Blake, 2020, Fig. 3].

It should be emphasized that a careful study of the records when deciphering magnetograms in the Observatories in London revealed many problems [Beggan, 2024]. This concerns calibration gaps, complexities scaling millimeters into nanoTesla, uncertainties depending on the thickness of the trace, in the image's resolution, distortions of records and so on. The claims that registrations coincided on magnetograms at Greenwich and in Kew, 20 km away, are also unreliable due to the lack of evidence of time synchronisation between these Observatories [Beggan, 2024].

Measurements of the magnetic characteristics in Rome on 2 September began a few hours after the sudden onset was recorded at Kew. A deviation of $H \sim 3000$ nT occurred in Rome when the Kew magnetogram was off-scale, and the amplitude of the data in Colaba was rapidly decreasing [Blake, 2020]. However, in Rome, the variations of the declinometer, the vertical magnetometer, and the bifilar³, measuring three characteristics D , Z , and H , respectively, were not simultaneous, since the maximum changes in each of them occurred at different times [Secchi, 1859a]. At the same time, the great vibrations were contemporaneous with the currents observed on the telegraph lines.

Therefore, the claim that the trace on the London magnetograms on September 1, 1859, at 11:22 UT was directly related to a solar flare, and not, say, to a magnetospheric disturbance by a shock wave from a large fragment of 3D/Biela Comet or a meteor explosion, remains a strong hypothesis, but not a fact. The impact of a meteor explosion on the ionosphere also leaves a hooked crochet-type trace on magnetograms [Astapovich, 1958, p. 274]. However, since solar white-light flares are not always but often accompanied by plasma of interplanetary coronal mass ejections (ICMEs), a strong geomagnetic storm after the registered of the crochet on September 1, 1859, on the next day September 2, 1859, that is, after 17.6 hours, was associated by researchers with solar ICME [Cliver, 1990]. There is no evidence for this: an ICME in this case was postulated.

Since the strongest geomagnetic storms are generated by rapid coronal ejections, the distribution of their velocities is important. At the same time, translating what R. Carrington qualitatively described in 1859 into a stable peak stream rate⁴ is probably an unsolvable task [Riley, 2012]. Hence, the significant problems in the ICME initial velocity estimates for the Carrington Event.

For example, having received an initial ICME speed of approximately 5000 km/s, but taking into account the maximum speed known in the SOHO/LASCO database, which is around 3500 km/s, the researchers [Riley, 2012] were forced to come up with a kind of 'knee' for stitching these results in the name of their plausibility.

It has been found that almost half of strong geomagnetic storms with a minimum of index $Dst \leq (-300$ nT) occurred in association with sunspot groups ≤ 1000 μ sh [Cliver, 2022]. The estimate of the total radiated energy of the solar flare during the 1859 Carrington Event, $\sim 4 \times 10^{25}$ J, based on the sketch and description, does not exceed the energy of later flares [Hudson, 2021]. The relatively recent flare in August 1972 was as or more high-energy than during the 1859 Carrington Event, and the rate of interplanetary release was higher [Tsurutani, 2003]. Therefore, neither the area of the spots nor their activity is the decisive argument: such spots will always be found on the solar disk. Overall, there is a small but significant anti-correlation between the region of the sunspot group from which the ICME originated and auroral and geomagnetic responses [Lockwood, 2024]. In addition, in large sunspot clusters, eruptive flares are suppressed [Cliver, 2022].

Geoefficiency involves the many effects that flares and/or ICMEs can have on Earth. The strength of a magnetic storm depends on both the heliographic coordinates of the solar event and the orientation of the magnetic field in the ejection (ICME) concerning the geomagnetic field. This is not only a geomagnetic storm but also other complex processes, including a radiation storm of the solar energetic particles (SEPs). It is still believed that all these conditions during the 1859 Carrington Event '*coincided by chance*' [Hudson, 2021]. For a scientific concept, such a conclusion is flimsy.

It is claimed that SEPs have a strong tendency to associate with solar white-light flares [Cliver, 2013]. This relationship suggests X-ray emission of electrons, or emission of gamma-lines of protons (solar proton events, *SPE*, probably represent a subset of SEPs). The *SPE* intensity is determined by levels of nitrate radicals and radioactive ¹⁴C, ³⁶Cl, and ¹⁰Be elements formed in the Earth's atmosphere and deposited in '*tree rings, corals and ice cores*' [Cliver, 2013].

Naturally, the Carrington geomagnetic storm was to produce known atmospheric effects during solar flares (*SFEs*), relating to the largest ever recorded in the mid-latitudes [Bartels, 1937; Newton, 1943; Cliver, 2004]. Therefore, strange that an Event of this magnitude did not leave a noticeable imprint of nitrates in the polar ice as well as a trace of cosmogenic nuclides beryllium ¹⁰Be [Cliver, 2012; Wolff, 2012; Usoskin, 2012], chlorine ³⁶Cl [Miyake, 2023], or carbon ¹⁴C [Usoskin, 2012; Usitalo, 2024].

In this regard, it is speculative to assert [Cliver, 2013] that although there is no direct evidence of SEPs events due to the

3 In a bifilar magnetometer, the needle is suspended by two threads so that its movement is constrained. This magnetometer can be used for measuring (absolute) horizontal intensity and field variations [Smart, 2006, p. 345].

4 In X-rays (see follow).

low concentration in ice cores of nitrate radicals or cosmogenic isotopes (e.g., ^{10}Be), which could be associated with the effects of ICME on the Earth's atmosphere in August–September 1859, such impact '*almost certainly occurred*'. Sorry, if there is no evidence of a connection, then why did the impact of the ICME surely occur? Meanwhile, the relationship between the records of the nitrogen radicals and cosmogenic isotopes with the entire set of *SFE/SEP/SPE* for 1859 is rejected in principle [Wolff, 2012; Usoskin, 2012].

A single ICME is unlikely to cause successive magnetic storms with an interval of 3–4 days. Therefore, it has been suggested that the storm on 2 September may have been one of many storms associated with several ICMEs emanating from a common active sunspot cluster [Cliver, 2013; Hayakawa, 2018b]. It was stated [Smart, 2006] that the absence of a statistically significant increase in the observed concentration of cosmogenic nuclides for 1859 indicates that solar radiation, possibly of multiple proton ejections, had a soft spectrum with a predominance of shock waves.

Let's consider the option of multiple ejections. If several ICMEs are 'launched' from a common active region on the Sun, the first ICME may be slowed down in interplanetary space due to 'path drag'. Since the first ICME clears this path ('snowplough effect'), the last ICME, leaving the Sun a few days later, may advance almost without slowing down and lead to an extreme geomagnetic storm [Hayakawa, 2019]. However, the presence of only a small group of sunspots on the eastern side of the Sun's disk on August 25, 1859, was not sufficient to cause the magnetic storm on August 28/29, as it was not geoeffective [Hayakawa, 2019]. At the same time, a single ICME can be responsible for a two-stage storm if the southern IMF component is embedded in both the sheath and the magnetic cloud in the ICME [Tsurutani, 2003; Hayakawa, 2018b]. Therefore, some attempts have been made to compare the Carrington Event with the complex geomagnetic storm of 1989, which lasted ~24 hours. However, the *Dst*-profile for the 1859 storm showed that the Carrington Event was '*due to simple plasma injection, and there is no evidence of a complex storm*' [Tsurutani, 2003].

The geomagnetic storm on August 28/29 was only a little weaker ($-Dst=673$ nT)⁵ [Love, 2025] than the historical geomagnetic storm on September 2 ($-Dst=866$ nT) [Love, 2024]. In addition, the aurorae were being reported more often on 28/29 August than on September 2 [Hayakawa, 2019]. The surface of the Sun before the Carrington Event was observed by renowned astronomers – Secchi, Carrington, Schwab, and others. Neither sources of geomagnetic storms on the Sun nor traces of coronal holes on magnetograms were detected before the white light flare on 1 September 1859 [Neidig, 1983; Hayakawa, 2018b]. This casts doubt on yet another postulation related to solar activity: the 'cleansing' of interplanetary space by the supposed ICME of August 27/28, 1859, which is attributed to the prelude leading to the rapid 'delivery' of the next ICME and the geomagnetic storm of September 2, 1859.

At Colaba on September 2, 1859, the geomagnetic *H*-component indicated an absolute rate of change of ≥ 2.436 nT/hr [Love, 2024a]. The maximum average-hourly density profile was almost 14 times higher than similar values observed since then [Cliver, 2013]. However, taking hourly [Siscoe, 2006] instead of spot average values on the Colaba magnetogram yields a significant scatter for *Dst*, with the maximum *H*-deviation equal to (-850 nT) instead of (-1600 nT). Therefore, the maximum ($-Dst$) of the Carrington Event storm is uncertain. Moreover, it was derived from observations made at a single observatory⁶, which makes the given estimates questionable [Akasofu, 2005; Love, 2006; Hayakawa, 2022]. In addition, it was claimed [Siscoe, 2006] that this magnetogram shows two main *H*-depressions on September 2: the first one from 09:00 to 11:00 hours, allegedly caused by the sheath of the geoeffective ICME, and then the main phase from 17:00 to 19:00 hours, attributed by the authors to the space between the shock wave and the body of the ICME. According to this interpretation, if the unusually large $H=(-1600$ nT) was caused by ionospheric currents, it is not so exceptional, but if by magnetospheric currents, it is unprecedented.

Magnetic storms on Earth correlate with both solar ejections – magnetic clouds, and with ring currents, CIR (corotating interaction region), flowing in the magnetosphere toroidally around the Earth with the centre in the equatorial plane at altitudes of ~10–60 thousand km. Changes in the CIR weaken the geomagnetic field and lead to geomagnetic storms. The ring current moves clockwise (if viewed from the North Pole), and is carried by electrons and ions drifting in opposite directions with an energy of ~1–200 keV.

For a long time, the most probable hypothesis was considered to be the ICME magnetic cloud with a southern component $B_z \sim (-90$ nT) of the field inside the interplanetary magnetic cloud, providing a peak (-1760 nT) during a geomagnetic storm on 2 September [Lakhina, 2012; Turuani, 2003; 2023]. Due to the $B_z \sim (-90$ nT), a maximum interplanetary electric field of ~160 mV/m resulted. From this, taking into account the aurorae at low latitudes and, accordingly, the plasma pause at the $L=1.3$ level, a magnetospheric convection electric field of ~20 mV/m was obtained [Tsurutani, 2003; 2018]. In this scenario, the extremely fast recovery of the magnetic storm is postulated as a consequence of nonlinear losses of the ring current.

5 The maximum negative value of the *Dst* index is a generally accepted measure of magnetic storm intensity. The data given are after removing the *Sq* variation from measurements on quiet days.

6 The value of the geomagnetic *Dst*-index, which is an indirect indicator of the energy in the ring current during a storm, is calculated as the hourly average of four mid-latitude magnetic observatories.

However, 'if the depression was caused by the ring current, then the interplanetary electric field would require $\geq 200\text{--}451\text{ mV/m}$, which is considered implausible' [Love, 2024a]. Moreover: 'The magnitude of the simultaneous disturbance was much greater at auroral latitudes; therefore, the change arose at high latitudes and is not a ring current field' [Akasofu, 1960, Fig. 3].

The depression in Colaba Observatory was also registered on the dayside and lasted for ~ 2 h after the storm onset, and the westerly auroral electrojet (AEJ) simultaneously intensified [Ohtani, 2022]. This led to attempts to explain the value (-1600 nT) by the magnetic field of the ICME sheath, which points to the distant dayside R1 wedge current system in response to the strong southward component of magnetic field inside the ICME sheath, rather than the ring current [Siscoe, 2006; Ohtani, 2022]. However, this approach is not consistent with the magnetohydrodynamic theory [Kennel, 1985; Tsurutani, 2023]. This theory predicts a compression of the sheath magnetic field by a factor of 4 by the fast shock, yielding a sheath field strength of $\sim 20\text{ nT}$ (maximum $\sim 40\text{ nT}$), clearly insufficient for the September 2, 1859 storm. The supposed subsequent 10-fold field enhancement [Siscoe, 2006; Ohtani, 2022] is not confirmed in the near-Earth ICME sheaths ('no significant enhancement was noted at all' [Thuruani, 2023]). The short time between the sudden impulse (SI+) and the onset of the main storm phase implies a shortened ICME sheath [Thuruani, 2003].

Thus, 'the magnetic fields of the ICME sheath are excluded as a source of the interplanetary electric field for the Carrington magnetic storm' [Tsurutani, 2003; 2023].

Therefore, additional potential causes have been proposed: amplification of the ring current by the auroral electrojet and/or field-aligned currents, etc. These potentialities have also met with serious criticism [Othani, 2022]:

- the H -depression sequence was noticeably different from the auroral electrojet (AEJ) sequence in the same sector, which excludes the possibility of the depression being initiated by a local ionospheric current due to the electric field penetrating from the auroral zone to lower latitudes;
- the H -depression lasted only a few hours, followed by an unexplained, 'more prolonged geomagnetic and auroral activity on September 2–3, 1859';
- at the peak of the H -depression, Colaba was on the dayside at LT=11 (UT+4.9); however, the AEJ is usually located poleward in the midday sector and is not intense compared to other sectors; 'the observed dependence |MLat| suggests that the ring current was not the primary source of the observed depression'.

As a result, the idea that the observed H -depression at Colaba was caused by the ring current/AEJ and hence the magnetic cloud's field of the ICME is excluded [Othani, 2022].

A consensus has not yet been reached, and nothing more substantial has been proposed: it has even been argued that 'there may be something wrong with the Colaba data' [Love, 2024b].

In addition, on September 2, the horizontal H -component of the magnetic field recorded at Colaba showed too fast a recovery. This effect surprised the researchers since it did not reflect the intensity of the ring current. Therefore, researchers were forced to either assume an unusual loss process due to its unique nature [Hayakawa, 2018b] or simply discard the most extreme value [Siscoe, 2006].

For some explanations of the rapid recovery phase of the Colaba magnetic storm, the key factor is the solar wind density, which is usually dominant in the ICME sheath. However, the anomalous increase in density ('plasma stopper') [Li, 2006] implies a suppression of the H -component even before the sheath arrives at Earth [Tsurutani, 2023]. Another research [Keika, 2015] also suggests a sharp decrease in the solar wind density at the boundary between the ICME shell and the subsequent magnetic cloud [Ohtani, 2022]. Contradictions are evident⁷.

At the same time, it may be recalled that in the 1885 Andromedids shower, there was an impetuous decrease in the number of meteors by the end of their registration [Newton, 1886, p. 410]. In a similar case, the magnetosphere can quickly return to its original state.

On the other hand, the ring current, although excluded as the initiator of the Colaba geomagnetic storm, could have participated in its abrupt recovery. The continuous influx of ions with higher energy requires, correspondingly, a longer time for the decay of the ring current. The source of such ions could be, for example, substorm injections. However, in the deep inner magnetosphere ($L < 1.5$), they are not observed [Hayakawa, 2018b; 2022].

Notwithstanding, known that cometary ions are heavier than solar wind ions and, therefore, the cometary plasma has an energy density two orders of magnitude greater than the typical solar wind energy density [Espley, 2015; Stephenson, 2021]. Hence, with the Colaba data, it may be all right. In addition, a large cometary meteor shower was capable of covering the entire Earth, including, in particular, the Bombay Observatory on September 2, 1859, first from the night side and then from the day side.

⁷ Furthermore, an analogy is drawn with the super speed of the solar wind in 2012. However, this analogy is not relevant, as nothing comparable to the characteristics of the Carrington event was observed in 2012.

1.2.2. COMETS SUPPRESS PLANETARY MAGNETOSPHERES

As already indicated, according to recent estimates [Tsurutani, 2003; 2023], the required external magnetic field, responsible for the geomagnetic storm on 2 September 1859, could have been ~ 90 nT. It is worthwhile to compare the supposed participation of the stream of fragments of the 3D/Biela Comet in the 1859 Carrington Event with the known data for other comets. For example, it is known that Comet 1P/Halley had an ion magnetic field of ~ 80 nT [Riedler, 1986], which almost reached the required value. More recently, on July 3, 2015, an unprecedented increase in the magnetic field to ~ 300 nT was measured by the Rosetta spacecraft at Comet 67P/Churyumov–Gerasimenko (hereafter - 67P) [Goetz, 2019]: *'the accumulation of magnetic energy was 6 times greater than that usually accumulated inside the coma of the 67P'*. The magnetic field, taking into account the possible iron core of the 3D/Biela Comet, probably could have been even greater. Still, the registered magnetic fields are quite sufficient to explain the H -changes on September 2, 1859, at Colaba as well as at the geomagnetic latitude of Rome.

The behavior of the magnetic field on September 1/2, 1859, was similar to that on August 28/29, 1859 [Stewart, 1861, p. 425]. Both times, three periods of oscillation on the magnetograms in London were noted [Stewart, 1861, p. 425]: (1) from half a minute to ~ 4 –5 minutes; (2) ~ 40 –50 minutes; (3) ~ 6 hours.

1. The initial sudden disturbances lasted for ~ 3 min and then changed more smoothly for another ~ 7 minutes. After this, i.e., after 10 minutes, their direction changed to the opposite. Such low-frequency oscillations are usually attributed to Pc5 continuous pulsations with a period from several to 10 minutes in connection with geomagnetic storms [Jacobs, 1964]. Notwithstanding, typical periods of dominant waves of the 1P/Halley Comet in 1986 were ~ 2 –6 min, and the 3-minute period of pulsations was caused by thermal ions due to their charge change and photo-ionization. These oscillations were initiated by oxygen-hydrogen radicals, which spiraled around the magnetic field lines and went far from the nucleus [Mukai, 1986].
2. The 40–50 minute period during the Carrington Event is confirmed by the description of the aurora on the night of 28/29 August 1859, when the inspector of the telegraph service of the Northern Railway at Noyelles-sur-Mer noticed a fairly bright white light in the sky, which then increased in intensity towards the horizon. This whitish light, which marked the beginning of the aurora, lasted for about three-quarters of an hour, i.e. about 45 minutes [AUC, 1864, p. 352].

The delay in the increase of ionospheric currents, of ~ 45 min, could be, for example, associated with the IMF reversal to the south during the transfer of magnetic field lines from the dayside to the tail of the Earth's magnetosphere. Such a ~ 45 -minute effect was observed during experiments with the 'Clusters' satellites in 2001.

3. *'However, the main feature of the disturbances during the geomagnetic storms of August 28/29 and September 1/2, 1859, was the period of 6 hrs, which is most clearly seen in the curves of the horizontal and vertical components. The first 3 hrs, these two elements at Kew diminished, and for the next 3 hrs, increased, until after about 6 hrs again reached their normal values'* [Stewart, 1861, p. 429].

This behavior is in exact agreement with the passage of the Andromedids stream recorded on 27 November 1885 *'when the first 3 hrs saw an increase in meteor's number and after the peak, their number decreased in the next 3 hrs, so that within 6 hrs passed the main part of the stream'* [Newton, 1886, p. 425].

Thus, the dependence of the geomagnetic components on the Andromedids, if this meteor stream was present during the Carrington Event of 1859, should have had a similar inversion character twice, on August 28/29 and September 1/2, 1859, which is consistent with both two, 'A' and 'B', secondary comets of the 3D/Biela and with disrupted Andromedids shower. In other words, during the first 3 hours, the increase in the Andromedids shower should have decreased the vertical and horizontal structures of the geomagnetic field, and during the next 3 hours, when the shower of the comet fragments decreased, both geomagnetic components again increased, i.e., returned to normal values.

Mechanisms of influence can be assumed in wide ranges: e.g., a compression of the magnetosphere by shock waves/jets of 'A/B' comets, etc. However, if such a 3-hour schedule was typical for the Andromedids (see, e.g., on November 27, 1885), then for the ICMEs, in different flares from unequal solar spots, twice, on August

8 At the hypothesis level, the authors suggested that a corotating interaction region (CIR) was a trigger for this effect, which led to the compression of the cometary plasma. However, more likely, in my opinion, is the accumulation of energy due to the ambipolar field inside the comet [Stephenson, 2021].

28/29 and September 1/2, 1859, it could have occurred, again, only randomly.

Meteor showers arise due to comets, or rather due to their fragmentation, which, among other things, manifests itself in jets. In 1986, three long-lived jets were observed around the 1P/Halley's Comet. Interestingly, the 6-hour period on magnetograms 1859 allows us to compare it with the observation in 1986 during the 'TUNDE-M' experiment of quasi-periodic 4-hour electron jets associated with the nucleus of 1P/Halley's Comet [Somogyi, 1986]. It is clear that the periods of jets for the nuclei of different comets, the 3D/Biela and 1P/Halley, do not have to coincide. However, the very fact of such periodicity in different conditions is very eloquent. Therefore, in 1859, the records on magnetograms were associated with disturbances of the Earth's magnetosphere/atmosphere by the Andromedids or two secondary comets 'A/B', each of which had several jets.

P. Jenniskens supposed that the comet 'A' (the large fragment of the 3D/Biela Comet) was the initiator of the Andromedids shower in 1885 [Jenniskens, 2007]. It is possible that the comet 'A' did not 'sleep' in 1859 and 'participated', independently or together with the comet 'B', in the geomagnetic storms during the 1859 Carrington Event.

In Rome, St. Petersburg, and Nerchinsk, bipolar oscillations of declination were especially strong. Within the standard paradigm of the solar origin of the Carrington Event, bipolar variations of the *D*-component are inexplicable [Hayakawa, 2019]. However, it is significant that in 1986 symmetrical oscillations of the magnetic field of Comet 1P/Halley were registered, associated with shock waves. In the plasma environment of the comet, there may be a region of fixed high-density structure [Espley, 2015], which could move forth and back in the Earth's magnetosphere as it crossed it.

A feature of the Carrington Event's aurorae was the distinct convergence of all streamers into one point in the sky. However, the center of an aurora on 2 September 1859 did not always coincide with the astronomical meridian. For example, in Athens, it was in the north–northwest from the meridian [Loomis, 1860a, p. 82]. In Rome, this center was also in the northwest [Blake, 2020]. The Andromedids shower's radiant on 25 November 1872, relative to the previous day, was also displaced to the northwest, lower than the Gamma Andromeda. Although three-quarters of the meteors on November 25, 1872, came from the vicinity of the Gamma Andromeda, the rest were displaced [Newton, 1872]. In addition, on 27 November 1885, observers also claimed that some meteors originated from the northwest of Gamma Andromeda [Newton, 1886, p. 420]. In 1859, the western declination increased by 13.2' at Kew Observatory [Stewart, 1861]. The declinometer deviation in Rome was 11' greater to the west than to the east, and the aurora was brighter in the west than in the east [Secchi, 1859a]. Analogically, during the Andromedids shower in November 1885, the observed common centre of meteors in the atmosphere was not stationary but drifted westward as well [Denning, 1885, p. 72].

One possible explanation for the dominance of the western declination is the position of a secondary 'B'-comet northwest of the greatest secondary 'A'-comet following the breakup of Comet 3D/Biela in the 1840s. If these secondary comets are considered to be the sources of the Andromedids, their relative locations could have caused a shift of part of the meteor shower to the northwest during the Carrington Event. Astronomer A. Secchi noted that in Rome on August 29, 1859, geomagnetic activity intensified at 01:30 in the morning, when his assistant observed two large lights on either side, to the right (east) and left (west) of magnetic north [Secchi, 1859b; Blake, 2020, Appendix B.1]. The broad radiant of the Andromedid meteor stream, with a slight westward tilt — that is, the alternating disturbance from different sides of the magnetic north during the recurring passage of 'eastern' and 'western' meteors — matches these observations.

The electrical theory of comets [Thornhill, 2006] states that highly energetic and focused jets erupt from comets due to electrical arc discharges in the nucleus. Electrical energy accumulates inside [Steffenson, 2021], and the comet can explode, like an overstressed capacitor, in the event of discharges. The observation of a comet over the Civitavecchia gulf, and the lights on both sides of magnetic north in Rome, correlates with the fact of the maximum deviation of the horizontal component $H \sim 3000$ nT during the Carrington Event on the magnetogram recorded precisely at the Rome Observatory. In the case of the maximum passage of the meteor shower over Rome, its 'echoes' of the explosions could also explain the geomagnetic characteristics in Bombay.

In Rome, according to E. Loomis, the greatest deviation of the magnetic needle was recorded on 1 September at 7:20 a.m. Göttingen time [Loomis, 1861b, p. 334], that is, well before the comet was registered in England on the same day. Although this is considered a misprint, and it should have been, probably, 2 September [Shea, 2006, p. 385], data, e.g., from places like St. Petersburg also indicate that the range of variation of the characteristics of the unipolar magnetometer, which measured declination, on 1 September (263'39') was almost 2.5 times higher than on 2 September (107'44') [Loomis, 1860a, p. 80]⁹.

9 At other Russian magnetic stations, the situation looked similar [Loomis, 1860a, pp. 80–82].

The connection between geomagnetic disturbances and comet activity was noted long ago [Maris, 1929]. It may be recalled that the activity of Comet Halley from October 10, 1835, to April 1836 was also associated with geomagnetic disturbances during the entire observation period. This fact is difficult to associate with solar activity. Rather, it is consistent with the theory of electric comets [Thornhill, 2006]. In turn, on November 28, 1845, comet 3D/Biela was observed as a faint nebula. The comet appeared during unusually calm magnetic weather, but on December 3, a strong geomagnetic storm occurred, the only disturbance between the previous March and the following August [Maris, 1932]. On December 3, 1845, the 3D/Biela comet was 1.5 astronomical units from the Sun and made an angle of 30 degrees with the Earth.

For example, when only the Comet 1P/Halley tail passed near the Earth in 1910, changes were recorded on the magnetic declination curve that were comparable in shape to solar disturbances during geomagnetic storms (Fig. 2).

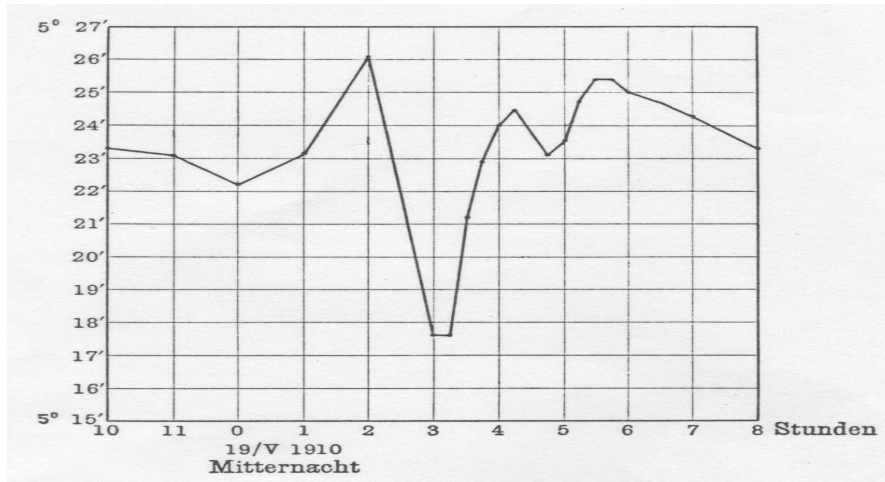


Fig. 2. Change in magnetic declination during the passage of the 1P/Halley Comet tail near the Earth in May 1910 [Rudski, 1910, Meteorol. Z., 262].

When Comet C/2013 A1 Siding Spring collided with Mars in October 2014, NASA's spacecraft MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) detected chaos in the Martian magnetosphere at a distance of about 140×10^3 km as the comet's magnetic field overwhelmed it. The collision was akin to a violent solar storm, as the comet's ions are more massive than solar wind ions by a factor of 18, giving the cometary plasma an energy density two orders of magnitude greater than the typical solar wind energy density [Espley, 2015]. Disturbances were recorded near the induced magnetospheric boundary caused by the interaction of the plasma of the comet's outer coma with Mars. One of the mechanisms is the Kelvin–Helmholtz instability, which occurs due to the difference in the velocities of the comet's plasma and the planet¹⁰.

It is known that the plasma coma of comets, not to mention the tail, can extend more than a million kilometers. In July 1992, for example, ions at $\sim 440 \cdot 10^3$ km from the nucleus were detected near the 26P/Grigg–Skjellerup comet and magnetic waves ~ 1000 km long were observed. These waves were generated by charged particles created from the breakup of water molecules around the comet as they moved in the magnetic field created by the solar wind [https://sci.esa.int/s/ApiK4GW].

Even several hours after the comet 'departed' from Mars, disturbances in the Mars magnetosphere continued to be measured. Similarly, disturbances during the Carrington Event and after the historic storm of 2 September 1859 were observed up to and including September 7, when the magnetic field calmed down [Stewart, 1861, p. 424].

The non-synchronous rotation of Titan's atmosphere with its surface is not explained by either solar thermal tides or Saturn's gravitational tides [Wright, 2025]. Therefore, it may be due to a comet/asteroid impact in the past. Similarly, the non-synchronous rotation between the atmosphere and the solid surface is observed on Venus. Probably, in the Universum of flying stones, collisions are more a regularity rather than vice versa.

Based on the evidence presented, the expected encounter with fragments of the 3D/Biela Comet was more likely to cause such a long series of geomagnetic perturbations from August 26 to September 7, 1859, than magnetic clouds ICMEs, as suggested by a conventional paradigm today based on a set of random coincidences.

¹⁰ Instabilities of the geofield lines of force are also characteristic of the Earth's magnetopause. Energy is stored on Kelvin–Helmholtz instabilities, and the plasma is heated and released on the night side during reconnection.

1.3. AURORAE OF THE CARRINGTON EVENT

1.3.1. PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS

In addition to geomagnetic disturbances, another key aspect of the Carrington Event is the anomalous aurorae. From the point of view of solar genesis, the following contradictory opinions and unresolved issues exist.

1. The low-latitude and color of the aurorae. It was noted that the appearance of rays with whitish, red, violet and other colors (at all wavelengths) could be the result of the sheet-like structure of the aurorae; but sheet-like aurorae at low latitudes with a predominance of red color is a problem [Hayakawa, 2018b–2023]. The cometary hypothesis copes with this problem: red and white, like other colors, are characteristic of cometary dust tails and Andromedids meteors as well (see below).
2. Anomalous brightness corresponding to the International Class IV Benchmark (IBC) [Chamberlain, 1961], at which the total illumination of the Earth is equal to that observed during the full moon [Loomis, 1860b, p. 346].

'Such bright aurorae have not been recorded by modern scientific instruments at low latitudes since then' [Hayakawa, 2018b]; although I will add, ICMEs often 'visit' our Earth.

If the rays were caused by a localized enhancement of low-energy electron precipitation, which is unusual for low latitudes, then the processes in the inner, $L < 1.5$, magnetosphere would be problematic [Hayakawa, 2018b]. Additionally, let me remind you that if magnetospheric currents caused the $H \sim (-1600 \text{ nT})$ at Colaba, it is unprecedented [Siscoe, 2006] in the framework of the paradigm solar active. *In case these aurorae, including the whitish ones, were caused by the precipitation of electrons with an energy above $\sim 1 \text{ keV}$, then their origin is simply incomprehensible* [Hayakawa, 2018b].

In contrast to the 'incomprehensible' origin of the Carrington Event auroras using classical approaches, results from the Deep Impact mission to Comet Tempel revealed a strong increase in brightness due to scattered sunlight on the ejected dust after the impact [Thornhill, 2006].

3. It has been established that while trapped ions in the magnetosphere cause the ring current, auroral electrojets are caused by particle precipitation and ionospheric conductivity. The negative shift of the geomagnetic horizontal H -component during the Carrington Event could have been caused by the westward-flowing Hall current associated with the DP2 current system, i.e., ionospheric convection. Notwithstanding, the cause of the electron fallout during the Carrington Event remains an open question for the solar origin paradigm [Hayakawa, 2018b]. It is expected that *'an extremely dense ion plasma layer (or ring current) and/or an extremely dense plasmaspheric electron population has emerged. This problem has not yet been solved'* [Hayakawa, 2018b; 2022].

In this aspect, it should be noted that particles with energies greater than 1 keV have been recorded in comets [Ibadov, 2010], and the dense ion-electron population can be successfully attributed to the comets [Espley, 2015].

The model in 'latitude–longitude' coordinates showed that with the development of eddy currents in the magnetosphere, ionospheric currents prevail in the 'north–south' direction [Belakhovsky, 2020]. Eddy currents in comets, which, due to the pinch effect, lead to cometary filaments in tails [Thornhill, 2006; Peratt, 2015]. The magnitude of magnetospheric currents during the geomagnetic storm at Colaba on 2 September 1859 is not explained by either magnetic clouds or shells of ICMEs (paragraph 1.2.1); however, heavy cometary ions and jets overcome this problem.

4. It is known that the system of polar currents expands equatorward during strong geomagnetic events, which has led to the following statements.

4.1. The equatorial expansion of the auroral oval is consistent with the timing of magnetic disturbances [Hayakawa, 2018b; 2022].

4.2. Reports of aurorae, coinciding with the auroral oval overhead, indicate that telegraph systems were exposed to geoelectric fields [Love, 2024a].

These statements contrast with the following.

- A huge luminous arch was above the hills; however, the declination needle remained motionless [AUC2, p. 331].
- In Paris on 2 September, from 4 to 8 a.m., the needles of the magnetic telegraph were in constant motion, as if a direct current was passing through the wires; however, no aurorae were observed that day [Comptes Rendus, 1860, p. 365; Shea, 2006, p. 341]. Therefore, it is doubtful that telegraph systems were exposed to geoelectric fields in connection with the auroral oval overhead.
- Since the auroral oval corresponds to electric currents in the ionosphere, which have a latitudinal distribution, the strongest objection to the initiation of auroras in connection with the equatorial spreading of the auroral

oval is the effects in long telegraph lines, which were observed in a meridional direction, and not a latitudinal one. In Europe, the most disturbing effects had been observed, for example, the lines from Zurich to Berne, Fribourg and Lausanne, from Stuttgart to Tübingen and Karlsruhe, from Paris to Marseilles and northward [Comptes Rendus, 1860, p. 473; Smart, 2006, pp. 340–343].

Canadian geophysicist D. Boteler was surprised [Moro, 2024] by the ignition of telegraph lines during the Carrington Event, not only in the latitudinal but also in the meridional direction from Boston to Portland at the Elizabeth cape in the United States. They occurred orthogonally to the auroral electrojet. D. Boteler decided to attribute this phenomenon to the coastal effect between Boston and Portland. But the telegraph lines noted in Europe were not connected by sea coasts and, accordingly, the coastal effects.

5. The H -3000 nT deviation at the geomagnetic latitude of Rome is usually only seen at higher magnetic latitudes [Hayakawa, 2019].

Indeed, *'the Mlat at Rome, 38.6° in 1859, is extremely low for an AEJ observation even by the extreme storm standard'* [Blake, 2020, Fig. 5]. Aurorae typically occur in the auroral oval centred at $67^\circ(\pm 6^\circ)$ latitude in both hemispheres.

'In any case, it is very unlikely that the auroral oval descended to low latitudes' [Akasofu, 2005].

The last statements I can strengthen by that, as a result of large solar proton events, the ozone concentration in the Earth's polar atmosphere is significantly reduced due to ionization by protons and, accordingly, the creation of secondary electrons that dissociate atmospheric molecules. Specific documented events relate, for example, to 1972, 1989, 1995 and 2000 [Smart, 2006]. However:

'Regular observations were made at Versailles on the amount of ozone in the atmosphere. During the aurorae of Aug. 29 and Sept. 2, the quantity of ozone was decidedly greater than usual. Table 4.3 shows the sums of ozone' [Shea, 2006, p. 341].

If a significant expansion of the auroral oval to low latitudes had occurred, then energetic particles along magnetic field lines would have bombarded the atmosphere in the same way as at high latitudes, and hence the aurorae would have caused the ozone depletion during the Carrington Event. The recorded ozone increase is contrary to solar proton impacts on Earth, but confirms the penetration and discharge of meteors/particles of cometary, dust or ion tails down to low latitudes.

6. Because of the isolation of the September 2-3 aurorae in La Union and San Salvador (El Salvador) from other low-latitude aurora observations, an attempt was made to connect this phenomenon to a 20-degree rotation of the whole Earth's magnetosphere [Hayakawa, 2018b-2023].

In my opinion, such a turn is unrealistic. Supporters of the Carrington Event due solely to solar activity found themselves at a dead end when explaining isolated low-latitude aurorae and were forced to postulate, in addition to the two ICMEs, a new type of polar aurorae: not diffuse, and not discrete, but so-called 'low-latitude' [Hayakawa, 2020], i.e., ad hoc.

However, there are fragmented swarms of meteors spread and intersecting the entire Earth with gaps due to their heterogeneity. In rarefied streams, the distance between meteors reaches a million kilometers, but their commonality has been proven. This also applies to meteorites. For example, on January 30, 1868, the identical composition of fell meteorites was established in Poland (near Pultusk), in Madagascar (Nosy Be) and Italy (Lerici) [Astapovich, 1958, p. 359].

The 1885 Andromedids' dense part width was ~ 100000 miles, and the entire shower was ~ 200000 miles [Newton, 1886, p. 414]. The 1885 radiant was spread over a wide area. Therefore, the aurorae due to the 1859 Andromedids' meteors could also reach any points on our planet, including low-latitude ones. As it was then argued, *'in the case of a clear sky, individual aurora tracks could be visible up to the equator'* [Loomis, 1861b, p. 320]. Such tracks are probably what was seen on September 2–3 in La Union and San Salvador (El Salvador). Moreover, the aurorae were **diffuse**, which corresponds to the observations of eyewitnesses of the Carrington Event [Green, 2006, p. 10].

The exclusion of AEJ restricts the variants of potential causes of anomalous aurorae, including those at low latitudes, and their observations simultaneous with disturbances in telegraph wires. Meanwhile, aurorae have been observed at ionospheric altitudes (50–1000 km [Loomis, 1861b]¹¹), which, in my view, suggests their origin is either related to magnetospheric processes driven by secondary fragments of Comet Biela or meteor explosions.

Aurorae occurring in connection with meteor showers have been known for a long time [Astapovich, 1958, p. 430]. For example, as early as November 1799, A. Humboldt pointed out the effect of sky glow in connection with meteors. The admiral F. Wrangel also claimed in the 19th century that he had repeatedly observed meteors initiating the auroral pillars [Wrangel, 1827; 1841]. It was reported about the passage of meteors in November 1832 in Kursk province: *'it*

11 According to modern estimates [Hayakawa, 2018b], during the Carrington event, the upper boundary of the aurorae was located at an altitude of ~ 400 km. In the case of meteors penetrating to low altitudes, about 50 km, they could be seen from the earth's surface only in a limited sector due to parallax.

seemed as if dawn was beginning to break on all sides'; and the lower part, 'around the horizon was belted with a pale whitish cloud' with separate bright crimson places [Svyatsky, 1922]. In England, a similar phenomenon was observed in 1933 and 1938 [Astapovich, 1958, p. 430]. It is therefore not surprising that in 1859 in Henry County, Indiana, the redness disappeared, leaving a cloud with a bright white fringe on the northern horizon [Shea, 2006, p. 357].

There is a numerous set of reports on the white aurorae during the 1859 Carrington Event, included in an article by E. Loomis. For example [Loomis, 1860b]: '*a bright, sparkling white light began to emanate...; diverging rays was white...; on August 28, rays of clear white light rose from all ends of the horizon; on September 1, was an aurora with beautiful red and white ribbons...; on September 3, there was another aurora, consisting mainly of white streamers...!*'

In this one article alone, the white color of the aurorae has been mentioned a total of 53 times!

Descriptions of the initial and final stages of aurora are symptomatic. They were associated with a white color, which, like red, was the dominant auroral color during the Carrington Event [Hayakawa, 2018b].

- In St. Valeri, France, the red light became weaker and disappeared completely on August 29 at 2 a.m. but the white light, which marked the phenomenon's beginning, continued for three-quarters of an hour longer [Comptes Rendus, 1860, p. 367]. A similar report, as already stated, was received from Noyelles-sur-Mer, where the whitish light, which marked the beginning of the aurora, lasted for about 45 minutes after the disappearance of red [AUC, 1864, p. 352].
- From an observation in the state of Florida, it followed that on August 28 at 1 a.m. the crimson color completely disappeared, and nothing remained except the fan-shaped appearance of numerous diverging rays of white light [Loomis, 1860b, p. 358].
- At Cleveland, Ohio, at 9:30 p.m., everything disappeared except a constant, very bright white light in the north [Shea, p. 249].
- At St. Louis, Missouri, observed that on August 28 at 9 p.m., the northern sky was filled with white light, but closer to the northern horizon, it was blue sky [Loomis, 1860b, p. 346; Shea, 2006, p. 357].

Consequently, the white color did not result from combining the colors of aurorae at different wavelengths in the atmosphere, but was introduced externally in a ready-made form (that is, it already belonged, like red, to a comet).

On August 28–29, whitish aurorae were observed in Havana. In Guadeloupe, two beams of whitish light were seen rising parallel. According to the '*Washington Daily National Intelligencer*' of August 31, 1859, unusual aurorae were reported, of a pure milky white color [Green, 2006; Cardenas, 2016].

'*An ordinary comet tail presents the appearance of a stream of milky-white light*' [Chambers, 1909, p. 4]. For example, for Comet Pons in 1884, the inner and brightest zone was notable for its milky appearance [Chambers, 1909, p. 97].

However, white aurorae are numerous (98% probability) during the increase of ^{14}C in the Earth's atmosphere, with subsequent deposition and accumulation, due to solar energetic particles (SEPs) [Abbot, 2016]. Therefore, the paradox in the context of the Carrington Event is that high levels of this isotope were not detected in the 1859 deposits [Uoskin, 2012; Miyake, 2023; Uusitalo, 2024]. This fact negates the postulated fluence of $F > 30$ MeV [Cliver, 2013] solar energetic particles in connection with the supposed multi-active flare accompanied by a shock wave. Then why, during the Carrington Event, were there many white aurorae if no high level of ^{14}C was detected in 1859? Since SEPs were not confirmed not only by ^{14}C levels but also by other cosmogenic isotopes, could the 3D/Biela's secondary comets/meteors have been responsible for the colors, including white, of the aurorae during the Carrington Event?

Today it is known that the gas tails of comets, containing ions of water, carbon monoxide/dioxide and cyan, have a bluish color due to fluorescence (re-emission of absorbed sunlight), and dust tails that scatter sunlight are of different colors, but as a rule, white-yellow. '*It has long been noted that such shades as 'yellowish' or 'ruddy' are not unprecedented in both nuclei and tails of comets. However, in most comets, a white or silvery-grey tint predominates*' [Chambers, 1909, p. 8]. Examples in the past have included the comets of 1769, 1811, and 1843, Comet Donati of 1858, Comet Koggia of 1874, Comet Fabry of 1886, etc. More recently, Comet Hale-Bopp showed a white dust tail, but also had a yellow (sodium) tail. In turn, on the background of the cool blue stars, Comet 'Siding Spring', which emitted in the infrared, appeared red, including its dust tail [[Comets Cool Cosmos](#)].

Since meteors originate mainly from comet tails, their color corresponds to the colors of these tails. It is known that the Andromedids appear reddish when at (+3) brightness magnitude and white at (−3). In addition, the glow of thermally excited atoms causes meteors' various initial colors to turn white within seconds [Astapovich, 1958, p. 455]. The 1885 Andromedids meteors were reported as white and red [Tupman, 1885, p. 80] or large meteors ... there were white, with

long yellow or reddish-yellow trails, and three to four times the size and brightness of Jupiter. The intermediate ones in size were also white. The smaller ones often appeared of a bluish and some of a yellow or yellow-red tint [Capron, 1885, p. 82].

If in 1859 the meteors had a ferromagnetic conductive composition, then due to the perpendicular component, when crossing geomagnetic field lines, Foucault induction-eddy currents arose in them. This led to the skin-effect, successive detachment of the outer sheaths and, accordingly, to aurorae. The scenario could be similar to the 1994 collision of fragments of the Shoemaker–Levy Comet with Jupiter [Churymov, 1994]: high-speed entry into the magnetosphere/atmosphere → heating and explosions → transformation into plasma → aurorae. For the 1994 collision, the intensity of the shock wave radiation from one fragment of Comet Shoemaker–Levy was $\sim 10^{24}$ erg/sec ($\sim 10^{17}$ J/sec) [Churymov, 1994, p. 12]. For the Earth's atmosphere, the power of meteors was estimated at $\sim 18 \times 10^{17}$ erg/sec [Astapovich, 1958, p. 425]. Such a value explains the brightness of the aurorae in 1859, equal to the surface illumination during the full moon.

The illumination of the surface during a full moon is ~ 0.2 lux, which corresponds to the luminosity of a fireball at a distance of 450 km in $\sim 40 \times 10^9$ cd [Astapovich, 1958, p. 274]. Fireballs were observed, both equal to the moon in brightness and surpassing it. For example, regarding the apparent brightness of the 1718 large meteor, E. Halley reported that the full moon became invisible and all the stars in the sky disappeared as if it were daytime.

The impressive size of meteors is associated with thermal ionization of both the air and the substance of the meteor itself, and the subsequent recombination of ions, which leads to glow and aurorae. At a speed of ~ 40 km/sec, a meteoric body of 1 g is capable of ionizing a 20-km cylinder with a diameter of 0.5 km in the atmosphere by short-wave radiation in 0.5 sec [Astapovich, 1958, p. 435].

Finally, we have reached one of the decisive moments. In 1859, the maximum diameter of the auroral rays bundle was **~ 20 miles (~ 32.2 km)** [Loomis, 1861b, p. 322]¹². The space corresponding to each visible meteor in the densest part of the 1885 Andromedids shower was equal to a cube with an edge length of **~ 32.8 km** [Newton, 1886, p. 425]. Empirically, depending on the brightness of a typical meteor, the length of its path was found to be **~ 33.0 km** [Astapovich, 1958, §151, p. 239]. However, according to modern data, the standard diameter of the auroral rays bundle **associated with ICME is only ~ 1 km or less** [Baranoski, 2003, p. 47].

These arguments are sufficient grounds for relating the Carrington Event aurorae as caused by secondary comets and Andromedids meteors of Comet Biela.

1.3.2. DIFFUSE AURORAE AND ELECTRIC FIELDS OF COMETS

When the Earth passed through the tail of Comet Tebbutt in 1861, an unusual phosphorescent glow was observed on the evening of June 30, very similar to a diffuse aurora [Chambers, 1909, p. 145].

The great aurorae, a very diffuse, with little or no structure, were observed by many eyewitnesses on August 28/29 and on September 2/3, 1859 [Green, 2006, p. 10].

Diffuse auroras concerning, e.g., the USA are mentioned 24 times in the compendium data from Professor E. Loomis [Shea, 2006]. Several examples can be given.

- From the report by E. Loomis himself, it follows that at Lewiston, Maine, 28 August 1859, the **diffuse** illumination was very strong. At 22:10, the light had become very pale and **diffuse**, particularly in the north. At 22:19, the whole heavens brightened up again with **diffuse** brushes of straw-colored light, inclining towards the magnetic zenith [Shea, 2006, p. 316].
- Professor C. Lyman of Yale College reported that at New Haven on August 28th, the whole northern quarter of the heavens was covered with a **diffused**, hazy auroral light [Shea, 2006, p. 319].
- According to observations at Camp Simeahmoo, Washington Territory, August 28 at 8 p.m., a **diffused** light, without definite form, covered about one-fourth of the heavens. '*August 29th, a faint diffused light was seen in the north at 9 p.m., and was still visible at midnight. August 30th, a similar light was first seen at 8 p.m.*' [Shea,

12 Probably, including a meteor track (Appendix A).

2006, p. 346].

- Etc.

In turn, the Rosetta probe revealed the auroral nature of the emissions from the coma of Comet 67P/Churyumov–Gerasimenko. The aurora was similar to the diffuse aurora on Mars on open draped field lines. However, on Comet 67P, the solar wind electrons were accelerated by the ambipolar field inside the comet, whereas on Mars, they are accelerated by the Sun. Therefore, these aurorae persist on the comet, whereas on Mars, diffuse aurora are observed only during strong solar events [Stephenson, 2021].

Recently, modeling of the electric field of comet 67P for one of the days showed a magnitude up to 4 mV/m, but calculations were also made for a magnitude of 10 mV/m on the comet's surface [Lewis, 2024]. In this case, the change in electron temperature with cometocentric distance, as well as the magnetic field, was not taken into account (it was valid only inside the diamagnetic cavity). Such characteristics are close to the estimates of the possible electric fields responsible for the aurorae of the Carrington Event. According to the electrical theory of comets [Tornhill, 2006], diffuse electrical discharges occur in comets.

In principle, a particularly bright auroral beam is also capable of causing a rapid change in the geomagnetic field [Astapovich, 1958, p. 463]. In turn, concerning the meteor, some authors assumed its maximum electric charge to be $\sim 10^6$ coulombs [e.g., Astapovich, 1958, p. 463]. However, my calculations showed that such a value is insufficient to explain the disturbances of the geomagnetic field of ~ 1500 and ~ 3000 nT, registered, respectively, in Colaba, India, and in Rome, Italy, in 1859. It is possible to try to apply the mechanism of magnetic field amplification during magnetic flux compression during natural explosions [Sakharov, 1965]. Theoretical calculations and laboratory experiments have shown the achievement of magnetic fields of 5×10^6 oersted in a volume of 100 cm^3 due to so-called magnetic cumulation of up to 40×10^3 nT. At the same time, for meteor explosions, this theory has not yet received further development. However, after the disintegration of Comet Biela, the Andromedids remained a compact group in its orbit, and the secondary comets of the 3D/Biela Comet were quite capable of creating anomalously high magnetic fields.

It is known that four years after Comet Hale-Bopp left the inner Solar System, it was still active and exhibited a coma, a fan-shaped dust tail, and an ion tail - although it was farther from the Sun than Jupiter or Saturn [Thornhill, 2006]. Comet's electric fields sufficient to cause an electrical discharge beyond the orbit of Saturn must be capable the potential to deflect the horizontal component of the geofield by $H \sim 1500$ nT at Bombay and $H \sim 3000$ nT at the latitude of Rome.

The spectroscope has often shown that the light of comets does not consist largely of simply reflected sunlight [Chambers, 1909, p. 12]. For example, twenty-one spectrograms were made for Comet Morehouse between October 28 and December 2, 1908, and not one of them showed any trace of a continuous spectrum, i.e., the reflected sunlight was small compared with the intrinsic light [Chambers, 1909, p. 188]. Self-luminosity was also characteristic of Comet Pons of 1812, which was brighter in 1883–1884 than would have been expected according to theory. Likewise, Comets Holmes of 1892 and Morehouse of 1908 experienced brightness variations that were inexplicable within the framework of classical ideas about comets [Chambers, 1909, p. 11].

The standard theory of comets undergoing only sublimation as a result of solar heating is inadequate: '*The average brightness of Comet Encke under ordinary circumstances does not appear to have varied since its discovery; the comet has returned to the Sun about 30 times in a century, but there is no evidence of a process its disappearance*' [Chambers, 1909, p. 65].

The famous comet Holmes has repeatedly distinguished itself by sudden outbursts of brightness. They were observed already in November 1892 during the comet discovery, and in October 2007, Comet 17P/Holmes unexpectedly became a million times brighter. In less than a day, it grew from a small comet of the 17th stellar magnitude to a magnitude of 2.5. By mid-November 2007, the diameter of the coma increased from 28 thousand km to 7 million km, and it became significantly larger than the Sun. At the same time, the nucleus of Comet Holmes has a diameter of 3.4 km. During the anomalous outburst in 2007, Comet Holmes was moving away from the Sun and, therefore, cooling. Probably, sudden plasma discharges occurred – a transition from the dark current mode to normal glow, which allowed the plasma coma to become visible [Goodspeed, 2011]. The difference between the modes is a combination of electrical voltage and current density within the plasma [Findlay, 2013].

Observers have repeatedly claimed that comets flicker like the Aurora Borealis. The tracks of some large comets vibrated. This was true for the tails of the comets of 1618, 1769, and 1874. Significant signs of pulsations were also present for Comet Morehouse of 1908. The vibrations began in the head and seemed to travel in a few seconds along

the entire length of the comet [Chambers, 1909, p. 25; 125]. H. Newton wrote that in 1872, the Andromedids' bright luminous trails flickered for seconds after the meteors themselves had disappeared [Newton, 1872]. In this regard, for example, the report of M. Matthews from Rochester (New York State) was characteristic, that on September 3, 1859, the white streamers of the aurora constantly flickered and danced [Shea, 2006]. Interestingly, in October 1835, astronomers compared the appearance of the nucleus of Halley's Comet to a stream of fire, and at times this flame scintillated similarly to the flickering of the Aurora Borealis [Chambers, 1909, p. 115]. The observed scintillations and flashes can be attributed to plasma discharges, which behave nonlinearly.

Let me remind you that the changes in magnetic characteristics during the Carrington Event were not simultaneous. It is known that meteor streams can be heterogeneously distributed in space. For example, in different observatories, the peaks of the sporadic meteor stream in 1975 did not coincide and fell on June 20–26 and June 22–29 [Kaufmann, 1989]. One of the heterogeneity solutions was the long-term synchronization of the orbits of the meteor stream and Jupiter [Oberst, 1987]. Similarly, geomagnetic storms related to the 1859 Carrington Event could be caused by a stream of distributed fragments of the 3D/Biela comet due to passing near Jupiter. As a result, the 1859 Carrington geomagnetic storms lasted ~ 13 days from August 26 to September 7, 1859. For example, in the models [Jenniskens, 2007, p. 1043], also ~ 13 days are allocated for passing the main stream of Andromedids near the Earth. Almost as much, i.e., ~ 14 days, from September 15 to 29, 1852, the secondary 'B' comet of the 3D/Biela Comet was observed [Kronk, 1999]. The secondary 'A' comet was observed for approximately 28 days, and intriguingly, this observation began on August 26, 1852 — coinciding exactly with the day and month marking the start of geomagnetic storms during the Carrington Event in 1859. The distances between the two secondary comets of the split Biela Comet, like their plumes, could vary, especially due to perturbations when passing near Jupiter, among other influences. However, it is well understood that meteor streams scarcely alter the timing of their peak activity over a relatively short period, such as approximately seven years. Consequently, the consistent interval of 13–14 days, beginning on August 26, for both observations of the 3D/Biela fragments in 1852 and the magnetic storms in 1859, supports the idea that this comet was involved in the 1859 Carrington Event.

1.3.3. ADDITIONAL ARGUMENTS

1.3.3.1. DARK STRIP

It is known that individual comet tails are divided in the middle by a dark strip. Such a noticeable dark strip was characteristic, for example, of Comet Morehouse on November 18, 1908 [Chambers, 1909, pp. 25, 32].

During the Carrington Event, a dark strip was also repeatedly mentioned.

- In Sag Harbor, New York, a dark band appeared on the horizon in the south, well defined, but occasionally broken by small columns of light [Loomis, 1860b, p. 343].
- On September 1st, in Michigan, USA, a dark strip appeared under a white sky. Subsequently, the dark belt remained on the southern horizon, and the light continued to spread across the entire sky [Loomis, 1860b, p. 352; Shea, 2006, p. 358].
- In New York, according to Professor O. Morris, from the evening of the 1st until dawn on the 2nd of September, during the aurora, a dark strip was observed to the south, then another dark strip, crowned by a white band, from which rays of bright light went along the upper edge [Loomis, 1860b, p. 353].
- Similar reports came from the Southern Hemisphere: 'A broad dark band extended over the hills, above which rose a huge luminous arch' [AUC2, p. 331].
- In the state of Illinois, USA, in the south, a bright band was observed from east to west, with a dark band similar to a cloud below it [Loomis E., 1860b, p. 342].

1.3.3.2. DUST CLOUDS

Interestingly, the '*Hobart Town Mercury*' in Tasmania reported that the geomagnetic storm during the 1859 Carrington Event produced the effect of streams of nebulous matter similar to stardust falling from the apex [Lasar, 2012]. However, the dust is poorly associated with coronal plasma ejections, but corresponds well to the fragmentation of

comets and so-called fog meteors known in meteoritics [Astapovich, 1958, p. 357].

The passage of the meteor stream on June 22–26, 1975, e.g., coincided with peaks in the conductivity of the E-layer ionosphere in Brazil, which had not occurred for 21 years [Duennebier, 1976]. The mass of the entire stream was $\sim 10^{11}$ kg, and its fragments reached $\sim 2 \times 10^3$ kg and were well modeled by dust balls. In 10 days, $\sim 2.4 \times 10^4$ kg of meteoroid matter fell, which affected ionization comparable to a solar flare.

There were several reports of dark clouds being observed during the Carrington Event.

- In Burlington, New Jersey, B. Marsh observed a significant number of black clouds moving south [Shea, 2006, p. 334].
- In Henry, Indiana, a dark cloud, adorned with enormous bands of white, blinding light, was reported to have appeared on the northern horizon [Loomis E., 1860b, p. 345].
- According to observations from La Union, San Salvador, published in the 'Gaceta del Estado', on the night of September 2, a dense black cloud arose in the east and began to spread [Shea, 2006, p. 337].
- At Jacksonville, Florida, on August 28, about 9 p.m., a dark cloud was observed, and the aurora was beautiful along the edge of this cloud [Loomis E., 1860b, p. 348].
- In New York, a dark cloud lay to the south and southwest, rising above the horizon [Loomis, 1860b, p. 354].
- At Union Hill, on the night of September 1-2, to the north, there was a dark cloud, above which was a whitish aurora [Loomis E., 1860b, p. 359].

Could these clouds be associated directly with the cometary dust, or with clouds of dust lifted by impacts of the 3D/Biela fragments? In the latter case, it probably makes sense to search craters in the marked places, first of all, at the bottom of the Civitavecchia Bay and also to investigate the ice cores from 1859 in Greenland and Antarctica for the correspondence of the cosmic substance to the composition of the Mazapil meteorite.

However, there were the following interesting reports during the Carrington Event:

- The aurora had a light pink glow that rose and changed to a blood-red hue; through this light, all the stars could be seen [AUC2, p. 340].
- At Ogdensburg, New York, on September 2, a large arch was formed, with one end located in the east and the other in the northwest. The arch base was dark, but the stars shone along its entire length [Loomis E., 1860b, p. 350].
- On August 28, at Hamilton, the sky was covered with a dark, gloomy cloud-like substance, which was not an ordinary cloud, since stars could be seen through it [Shea, p. 348].

Since the astronomer J. Herschel once observed Comet 3D/Biela passing in front of a cluster of stars, without causing any obscuring effect [Chambers, 1909, p. 14], it is reasonable to attribute the above reports of dark clouds to the dust fraction of fragments/meteors of Comet 3D/Biela.

PART 2.

SPACE WEATHER IN THE XIX CENTURY

2.1. THE YEAR 1872

2.1.1. THE GEOMAGNETIC STORM ON FEBRUARY 4

The beginning of 1872, February 4, was marked by the strongest geomagnetic storm, comparable to the storm of the 1859 Carrington Event. The intensity of aurorae over a wide range of longitudes and latitudes, from England to China and Réunion, was reflected in magnetograms variations from Havana to Greenwich and Colaba [Hayakawa, 2018a; 2023].

T. Hall reported an aurora at Barnstaple with white rays on the south radiating from the Pleiades in the Taurus

constellation (this direction leads to Gamma Andromeda). According to his article, there was a sudden burst of rays from the central point, covering the entire sky from all sides. Then the sky remained completely cloudless until almost 20:16 UT when only the remains of a few white stripes were visible [Hall, 1872]. In turn, the aurorae on Mauritius also had whitish structures.

These manifestations on February 4 are attributed to the activity of an eruption from the region of solar spots near the center of the disk on the morning of February 3, 1872, observed by A. Secchi in Rome [Secchi, 1872]. However, this region had an area equal to only ~ 461 millionths of the solar hemisphere (μsh). For comparison: according to the assumptions, the geomagnetic storm of the Carrington Event originated in association with solar spots of an area $\sim 2971 \mu\text{sh}$ [Hayakawa, 2018; 2023], and during the 18th solar cycle, appeared a spots group of an area $\sim 5000 \mu\text{sh}$ [Newton, 1955; Cliver, 2004]. According to different articles, the value of Dst from (-850 nT) to (-1760 nT) for the 1859 Carrington storm [Hayakawa, 2022] is comparable to the value of the horizontal component in Colaba in 1872, scaled as (-1600 nT) [Tsurutani, 2003; Nevanlinna, 2008; Kumar, 2015].

It should be emphasized that the previous perihelion of the 3D/Biela Comet, according to calculations [Denning, 1905, p. 852], fell on February 2, 1866, and the next on February 17, 1886. Therefore, on February 4, 1872, some of the surviving fragments after the breakup of Comet 3D/Biela could, due to the motion along the comet's orbit, also be near perihelion and others near the Earth, despite various deviations. Such fragments, ionized by the solar wind, could have caused a geomagnetic storm on February 4, 1872.

The equatorial boundaries of the auroral oval during the 1859 Carrington superstorm ($\sim 25.1^\circ \pm 0.5^\circ$ ILAT) and February 1872 ($\sim 24.2^\circ$ ILAT) coincide with existing comparisons based on the intensity of hourly estimates Dst [Silverman, 2008; Cliver, 2013; Hayakawa, 2019]. For example, on February 4, 1872, the aurora was observed in Bombay and Athens. In both cases, the cause could have been secondary comets of the 3D/Biela or Andromedids crossing Earth's orbit.

2.1.2. THE ANDROMEDIDS IN NOVEMBER

The Biela Comet was expected to appear in August–September 1872 [Chambers, 1909, p. 197]. These hopes were not fulfilled, but on November 13, 1872, a solar white-light flare was recorded [Secchi, 1872; Hudson, 2021], and the first meteors from the Gamma Andromeda region were observed from November 14 [Newton, 1872]. Of course, the question arises of the causal connection between the white solar flare and the activation of the Andromedids shower the day after it (this issue will be considered later). At the same time, A. Twining and H. Newton reported the radiant of meteors along the 'Pleiades — Gamma Andromeda' line, 3° from this star and of an expansion of the stream at least 8° . Finally, at the stream's peak, on November 27, ~ 38400 meteors were counted in the Earth's atmosphere [Denza, 1872].

In turn, the French astronomer C. Flammarion wrote that on November 27, 1872, fiery lines slid almost vertically in swarms and showers, flashing with blinding balls of light (Fig. 3). They all emanated from a point in the sky, near the Gamma Andromeda star. If Comet 3D/Biela, or rather its remnants, were to cross the Earth's orbit in the second half of August [Flammarion, 1894, pp. 499–501], then the appearance on November 27, 1872, 12 weeks later, of a meteor shower corresponding to the position of the radiant point of 3D/Biela, confirmed that the meteors moving very close to its orbit. It is known that the Andromedids in 1798, 1830, and 1838 were observed on the 3D/Biela's trajectory at different distances [Chambers, 1909, p. 198].

I pay attention that some Andromedids' meteors were noted in November 1859 as well. As in 1872, relative to the meteors of November 1859, 12 weeks earlier, the Carrington Event began in the second half of August, namely on August 26. Thus, in August 1859, there is another indirect sign of the Earth colliding with Comet 3D/Biela itself or with what was left after its fragmentation.

Summing up the results for 1872, the following can be noted.

- The shining rays on February 4 came from the vicinity near the Pleiades of the Taurus constellation, i.e., from the direction of the Gamma Andromeda star. In November, A. Twining and H. Newton also reported the radiant of the meteor shower along the 'Pleiades — Gamma Andromeda' line. In this resemblance between two events.
- A sudden burst of rays from the central point, and also whitish structures, and low-latitude aurorae on February 4, 1872, were analogues to the aurorae characteristics during the 1859 Carrington Event.

In 1798, 1838, and 1847, the longitude of the Sun was close to the longitude of the node of the orbit of the 3D/Biela Comet in 1772. However, the radiants of this Comet's meteors in 1867, 1872, and 1885 already corresponded to the orbit of 1852, which was changed by the influence of Jupiter in 1841–1842 [Newton, 1886, p. 424]. The fact is that the old orbit of the 3D/Biela Comet was divided into two new orbits. This is not

surprising. For example, the 1P/Halley Comet produced about 12 meteor showers, and the Taurid meteor streams at one time were also divided into: Beta Taurids: from June 5 to July 18 (peak June 29); South Taurids: September 10 to November 20 (peak October 10); Northern Taurids: October 20 to December 10 (peak November 12).



Fig. 3. The falling meteors on 18 November 1872 (adapted from [Flammarion, p. 534, Fig. 231. Harvard College Library. <http://books.google.com/>]).

It follows that a further divergence of two meteor showers of the 3D/Biela Comet, say, into two periods: November–February associated with one of the secondary comets of 3D/Biela and June–September associated with the other secondary comet of 3D/Biela, would look natural. Andromedids were expected in 1859, but observation conditions were poor.

Therefore, similar to the 1859 Carrington Event, the Biela's fragments or Andromedids could be responsible for the geomagnetic storm on February 4, 1872. The solar origin hypothesis cannot explain such a short time interval between these two abnormally strong storms.

2.2. THE GREAT COMET OF 1882

It has been argued that the large comet of 1882 had split into four parts, each of which became an independent comet orbiting the Sun [Chambers, 1909]. The Great Comet of 1882 approached the Sun very close: perihelion distance was 0.008 AU. During this event, on November 17, 1882, one of the strongest magnetic storms on Earth was recorded. The deviation of the horizontal component of the geomagnetic field at the Colaba Observatory, Bombay, showed $H \sim 450$ nT, and at Greenwich it was $H > 1090$ nT (the instrument was off-scale) [Tsurutani, 2003].

Since November is the month of Andromedid activity, was one of the large fragments of Comet 3D/Biela, due to an ionization or other mechanisms, also responsible for the geomagnetic storm of November 17, 1882?

2.3. POWERFUL ANDROMEDIDS SHOWER IN 1885

From November 25 to 30, 1885, a meteor shower reappeared from the Andromeda constellation in the Earth's sky. On

November 27, magnificent stellar rain was observed throughout Europe just at the moment when the Earth crossed the orbit of Comet Biela (Fig. 4)¹³. Three hours after the peak of the Andromedids, the number of meteors decreased by an order of magnitude, so 'six hours contained the bulk of their shower' [Newton, 1886, p. 425].

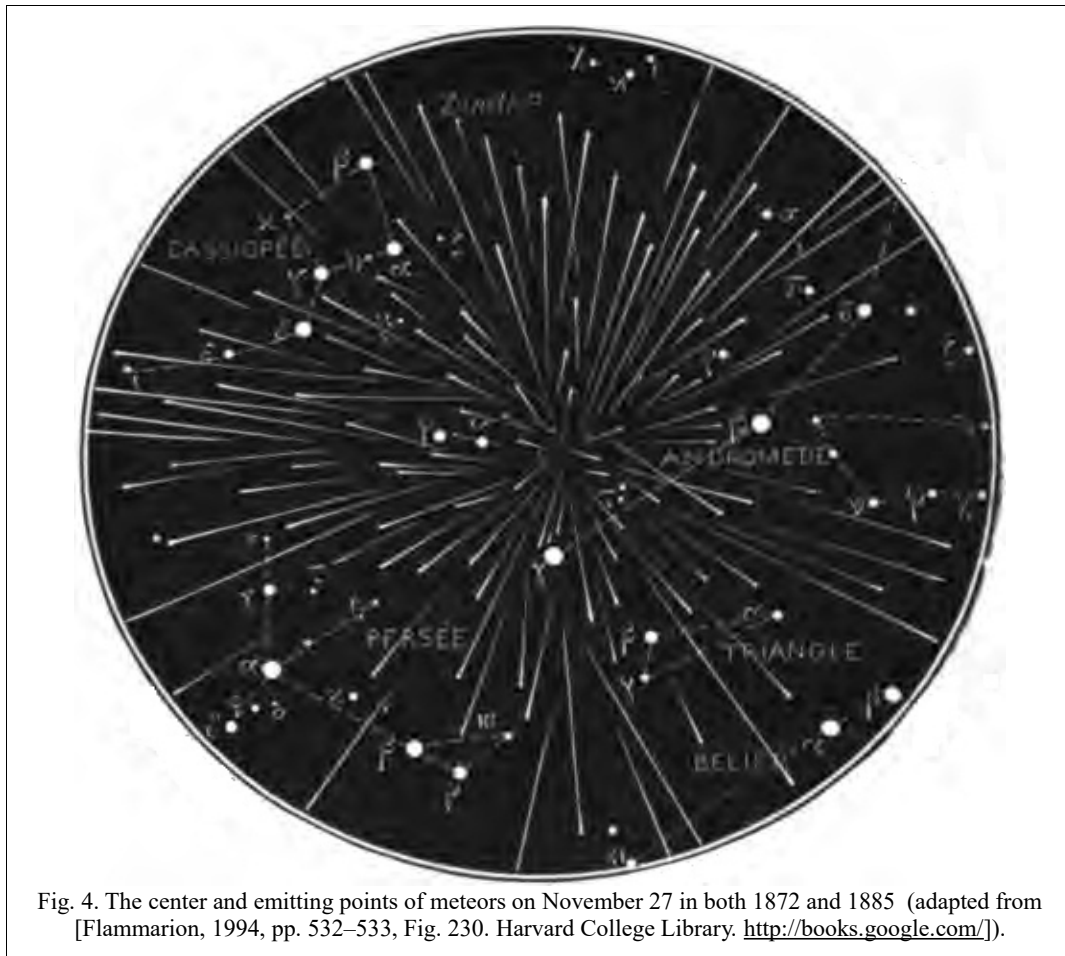


Fig. 4. The center and emitting points of meteors on November 27 in both 1872 and 1885 (adapted from [Flammarion, 1994, pp. 532–533, Fig. 230. Harvard College Library. <http://books.google.com/>]).

On November 27, on the night of the maximum of this meteor shower, the fallen **iron meteorite** Mazapil, weighing 4.656 kg, was found in Mexico [Hidden, 1887]. It is well known that metal emission lines have been recorded in comet spectra [Ibadov, 1991]. Back in 1966, E. Opik argued that bodies forming meteorites could occur at the same time as comets. Therefore, metals must be in the nuclei of comets [Opik, 1966; Beech, 2002]. In addition, over the years of wandering in the solar system, an iron nucleus could form at Comet Biela as a result of 'collection' and subsequent settling to the center of magnetic dust particles from outer space. Other options for the formation of metal cometary nuclei were also possible: impact melting during collisions in space, capture from the asteroid belt, and so on. In this regard, it is interesting to note an iron-nickel meteorite during the peak of the Perseid meteor stream on August 11, 1859. The meteorite was found northwest of Massachusetts, 20 km from Albany and Troy, in the Bethlehem area (New York, USA). Its glow during the fall was described as brilliant. Researchers linked the meteorite's bright white color to the presence of nickel-iron in it [A.J.S.A., 1859]. A similar approach holds for brilliant white meteors from the Andromedids stream as well.

Recently, on the night of the Perseids meteor stream maximum on August 12, 2024, a southern aurora was recorded over the '*Academician Vernadsky*' station in Antarctica. This phenomenon is rare there since the station is relatively far from the South magnetic pole. At the same time, a strong geomagnetic storm with an index of K=8 on the Bartels scale occurred. Is this evidence of magnetic fragments in the Perseid meteors?

Naturally, the question arises, why, after February 4, 1872, did not register strong geomagnetic storms during the Andromedids stream in November 1872 and November 1885? To answer, one must take into account the following.

- Perturbances on magnetograms can occur not only due to the plasma ejected by the Sun but also for other reasons. Comets create a shock wave since charged particles swirl around magnetic field lines and form a torus

13 For details, see the *Astronomical Review of 1886* [d'Astronomie, 1886, Revue, pp. 19–35; Flammarion, 1894].

of velocities in space. Additionally, according to the Chapman–Ferraro theory (1931), a geomagnetic storm is capable of occurring due to the interaction of ionized particles of a meteor stream with the Earth's magnetic field. The Svalgaard–Mansurov effect showed that with a southern direction of the external magnetic field, the reconnection of the lines of force is favorable, and access for a cosmic plasma of any origin to the Earth's magnetosphere is open. Instabilities of the geomagnetic field lines of force are also characteristic of the Earth's magnetopause. On the Kelvin–Helmholtz instabilities, energy is stored, and the plasma is heated, releasing during reconnection. Therefore, the occurrence of magnetic storms is caused, among other things, by the state of the Earth's magnetic field and the orientation of the magnetic field of the meteor shower, since the properties of magnetohydrodynamic (MHD) waves depend on the direction of the wave vector relative to the magnetic field.

- In 1885, the Mazapil iron meteorite could refer to the remains of a once large fraction of magnetic fragments after the disintegration of Comet Biela in the 1840s. That is, over time, after the geomagnetic storms of August–September 1859 and on February 4, 1872, the magnetic fraction was already practically exhausted for a serious disturbance of the Earth's magnetosphere. So, in 1892, the maximum Andromedids was several hundred meteors per hour, which was almost an order of magnitude inferior to the number of meteors on November 27, 1885. Now, an account of Andromedids meteors is units per hour.

It is known that fragmentation of 80% of comets occurred far from the Sun [Tornhill, 2006]. The disintegration of Comet 3D/Biela in aphelion [Jenniskens, 2007], away from the heating by the Sun, excludes the process of sublimation and suggests it was due to internal sources, such as plasma dust discharges in or near the comet [Thornhill, 2006; Popel, 2024], the Foucault surface induction currents when the comet crosses sectors of the interplanetary magnetic field, and so on [Dehel, 2022]. Comet Wirtanen of 1957 broke up inside the orbit of Saturn. B. Marsden, an astronomer at the Smithsonian Observatory, suggested that each of the comets, 1882 II and 1965 VIII, broke up outside the orbit of Neptune and, in addition, well above the plane of the ecliptic; solar heating up could not have been the cause [Tornhill, 2006]. Not so long ago, similar behavior of high activity at significant distances from the Sun, at a distance of $r=9.7\text{--}13$ AU, was demonstrated, for example, by two comets, C/1995 O1 (Hale-Bopp) [Fulle, 1998] and C/2007 D1 (Linear) [Epifani, 2010]. Moreover, Comet Linear never approached the Sun closer than its perihelion $r=8.8$ AU. Therefore, the presence of hypervolatile gases capable of sublimation inside the Comet Linear nucleus [Epifani, 2010] is doubtful. In addition, it is known that comets, contrary to expectations, demonstrated a deficit of water and the dominance of the dust fraction, as, for example, Comet 9P/Tempel-1 in the 'Deep Impact' experiment.

In meteorites, only the surface layer is heated in the Earth's atmosphere. However, due to large telluric induction currents (GIC) caused by fragments containing magnetic metals, they could ignite long lines of telegraph wires and wooden parts of buildings. In such a case, the intersection of the Earth's orbit with fragments of the disintegrated Comet Biela on October 8, 1871, could really cause famous fires in Chicago, Peshtigo and Port Huron [Wood, 2004]. Similar phenomena were observed during the 1859 Carrington Event as well.

However, the role of the initiator of the famous fires of 1871 is more likely to be claimed by Comet 2P/Encke. The Comet's spectrum at that time demonstrated bright bands corresponding to hydrocarbons, and the tail was cut off on one side [Chambers, 1909, p. 65]. Therefore, it can be assumed that the fires of October 8, 1871, could be associated with a detached hydrocarbon tail of the 2P/Encke.

Such a process is not unique, as confirmed by modern technology. For example, NASA's 'STEREO-A' probe recorded the tail of the Pons-Brookes comet being torn off in 2024 during an impact by solar flare plasma.

Back in 1883, astronomer J. Bonilla observed up to 500 relatively large pieces of Comet the Pons-Brooks I (alternatively, of Comet Broocks-Swift II) in the Earth's ionosphere for 3.5 hours¹⁴ during the comet's disintegration [Manterola, 2011]. Likewise, cometary matter (possibly ionized by solar plasma) played a major role during the 1859 Carrington Event.

PART 3.

COMETS AND SOLAR WHITE-LIGHT FLARES

The connection between fragments of Comet Biela and the solar white-light flares is surprising and ambiguous

14 Probably, J. Bonilla missed more than three thousand fragments due to a work break.

[German, 2024b]. The solar white-light flare was recorded on November 13, 1872 [Secchi, 1872; Hudson, 2021], and after this flare, the first activity in the Gamma Andromeda region was noted from November 14, 1872, with a subsequent maximum on November 27 [Newton, 1872]. However, the solar white-light flare was also present during the 1859 Carrington Event. If the fragments of Comet Biela were in August–September 1859, then two episodes of their appearing together with solar white-light flares in 1872 and 1859 already no longer seem like a random coincidence.

On 2 September 1859, the ICME, postulated but not confirmed by cosmogenic isotopes, could be successfully 'replaced' by Comet Biela fragments ionized by the solar white-light flare of 1 September 1859. A similar effect of ionization of magnetic fragments also explains the appearance of the meteor stream from the radiant of Gamma Andromeda on 14 November 1872, immediately after the solar white-light flare on 13 November 1872.

The intensity of the postulated solar white-light flare in 1859, according to the amplitude ~ 110 nT of the magnetic crochet at Kew and Greenwich, was estimated as the class soft SXR-rays= $X45(\pm 5)$, the minimum geomagnetic storm index as $Dst \sim (-900$ nT), and the SEPs fluence as $F > 30$ MeV [Cliver, 2013]. The recurrence of such a strong geomagnetic storm as 2 September 1859 should occur once every 60–200 years [Green, 2006; Curto, 2016; Hayakawa, 2018b]¹⁵. Even without mentioning that the geomagnetic storm on August 28, 1859, was almost as strong as the storm of September 2, and that there is no evidence of a multi-storm event [Tsurutani, 2003], already in the next solar cycle, on February 4, 1872, another storm comparable to the September 2, 1859, event was recorded [Cleaver, 2013]. Science has no satisfactory explanation for this fact from the point of view of exclusively solar genesis.

The energy of solar white-light flares is small compared to the spatial and spectrally total solar irradiation (*TSI*). Therefore, until 2003, they could not be isolated in *TSI* records. In principle, solar white-light flares are explained by the theory of magnetic reconnection and are usually detected in visible images of the Sun during larger X-ray flares [Woods, 2006]. However, the X-ray emissions are the main properties of comets [Lisse, 1996]. As already mentioned, diffuse electrical discharges occur in the shell and the nucleus of comets, emitting at various frequencies, including X-rays [Tornhill, 2006]. The 'ROSAT' space telescope discovered, e.g., the soft X-rays of comet C/1996 B2 Hyakutake in March 1996 [Ibadov, 2010]. During the white-light flare of 1 September 1859, analogous emissions could have been enhanced by the powerful solar wind, ionizing the secondary 'A/B' comets of Biela Comet. Therefore, the crochet recorded in London on 1 September 1859 could have been caused not directly by the solar white-light flare, but by X-ray (re)emission from one of these secondary comets. Moreover, in the Earth's atmosphere, the radiation of meteors in the region of both ultraviolet and soft X-rays, according to calculations [Maris, 1927], is also not excluded.

At the same time, the correlation between three of the five known 19th-century solar white-light flares and fragments of the Biela Comet raises a question that goes beyond the paradigm of modern science: can not only solar flares ionize comets and their meteor streams, but also vice versa, i.e., can comets or their fragments initiate solar white-light flares?

'It is unclear whether what R. Carrington observed was truly an unusual solar event' [Akasofu, 2005]. R. Carrington himself, as is known, did not believe that the solar white-light flare he saw could cause geomagnetic effects: *'One butterfly does not make a summer'* [Carrington, 1859]. Moreover, R. Carrington was surprised that he did not find any changes in the group of spots that he had sketched before discovering the solar white-light flare on September 1, 1859. Both in form and position, the phenomenon of the solar white-light flare seemed to him completely independent of the configuration of the large spot and its parts, whether it was the core or shadow of the sunspot. R. Carrington was left with the impression that the phenomenon occurred at an altitude significantly exceeding the total surface of the Sun and, therefore, completely above the large group of spots onto which it was projected [Stewart, 1861, p. 427]. Such a description by R. Carrington allows me to put forward the hypothesis of a solar flare in white light, initiated by an external source.

It is known that the SOHO probe recorded several cases of comets falling into the solar corona in 'accidental' connection with CMEs [Thornhill, 2006]. During the solar white-light flare on September 1, 1859, the mass of ICME is estimated to be $\sim 10^{13}$ kg [Hudson, 2021]. After the split of Comet Biela in the 1840s, its mass, equal to $\sim 4 \times 10^{-7}$ of the Earth's mass, was calculated based on the movement of its two secondary nuclei. Considering the mass of the Earth $\sim 6 \times 10^{24}$ kg, the mass of Comet Biela was $\sim 24 \times 10^{17}$ kg. According to another calculation [Jenniskens, 2007], the Comet Biela's mass was $\sim 1.4 \times 10^{13}$ kg, and the mass of debris remaining in the meteor stream was $\sim 3.3 \times 10^{10}$ kg. In this case, the remaining mass can indicate that Comet Biela continued to exist, albeit in the 'lightweight' variant¹⁶.

High-energy electrons accelerated above 40 keV were considered necessary for solar white-light flares [Watanabe, 2010]. However, such electrons from the depths of the Sun have difficulty reaching its photosphere, where the optical continuum spectrum arises. For this reason, other variants have been proposed [Namekata, 2017]. However, the origin of solar white-light flares is unsolved. Still, e.g., the spacecraft 'Vega-1' in 1986 registered fluxes of ions ≥ 40 keV at a

15 NOAA SciJinks wrote that these mega-storms happen approximately every 500 years.

16 Several attempts have been made in recent years to identify the orbits of newly discovered comets, e.g., by astronomers B. Marsden and Z. Sekanina, with the orbit of Comet Biela [Jenniskens, 2007].

distance of 10^7 km and quasi-periodic electron fluxes 160–300 keV associated with the nucleus of Comet 1P/Halley [Somogyi, 1986]. These characteristics are sufficient to initiate solar white-light flares.

During the 1859 Carrington Event, the release of energy $\sim 10^{25}$ J of a solar flare [Hudson, 2021] could be provided by a comet, with a mass of $\sim 10^{14}$ kg¹⁷, 'scratching the Sun'. Previously, a law for the change in the velocity of completely fragmented comet nuclei with initial radii of ~ 100 m was obtained in the region close to the final point of the braking trajectory in the solar atmosphere, i.e., at small distances from the surface of the Sun [Ivanov-Kholodny, 1969]. One of the mechanisms for forming high-temperature plasma, which generates a photospheric flare, was also given in this case [Ibadov, 2008]. Therefore, if the fragments of Comet Biela had a sufficiently large total mass of $\sim 10^{10}$ – 10^{17} kg, then their arrival and, accordingly, the introduction into the Sun's photosphere of a necessary ionization potential, could contribute to a white-light flare generation.

In this aspect, one can consider, for example, the following options for the 'delivery' of matter and the impact of comets, including Comet Biela, on solar flares.

1. Cometary gas-dust tails of type II and dust tails of type III (according to Bredikhin's classification), directed 'towards the Sun' and consisting of heavier particles than narrow-beam gas tails of type I, which practically do not deviate from the direction 'from the Sun'. For example, in 1986, dust from the 1P/Halley Comet was detected at 280×10^3 km from the nucleus [Somogyi, 1986].
2. According to T. Bredichin, the 1877, 1885, and 1892 Andromedids showers were due to ejections from 1846 with high speeds of 292 m/s, 342 m/s, and 279 m/s, respectively [Bredichin, 1893]. However, even if particles eject with a typical speed of 20 m/s and isotropically [Jenniskens, 2007], then at such speed, starting in 1703¹⁸ to 1859, the 'accumulated' length of the spreading is $\sim 140 \times 10^6$ km, exceeding the distance perihelion of Comet Biela, equal to $\sim 131 \times 10^6$ km. Moreover, it has been argued [Jenniskens, 2007] that Comet Biela lost its main bulk before 1703. Therefore, there was plenty of time for the lost bulk to get to the Sun.
3. The movement of small particles of fragments of Comet Biela in a spiral towards the Sun, due to the action of the Poynting–Robertson effect.
4. The cometary own magnetic fields. For the 1P/Halley Comet, e.g., a peak field strength was equal to 70–80 nT [Riedler, 1986]. At Comet 67P/Churyumov–Gerasimenko was 300 nT.¹⁹ The magnetic field of comets should be 'felt' many kilometers away, which is related to the density of the jets. In the experiment to measure the magnetic fields of Comet 1P/Halley – MISHA (The magnetic field in Interplanetary Space during the Halley comet Approach) – the magnetometer of 'Vega-1' at a distance of $1,1 \times 10^6$ km from the comet's nucleus showed a significant increase in turbulence in the frequency range of 0.05–2 Hz. The speed of propagation of magnetic field oscillations of Comet 1P/Halley, which was associated with a shock wave, had equalled ~ 200 km s⁻¹ [Nature, 1986, 321, 259]. The variations of magnetic waves as they approached the nucleus of the 1P/Halley Comet gradually increased in magnitude, differing from solar ones and indicating instability that excited long MHD waves [Wu, 1972]. They were caused by elastic, compressible plasma (pinch effect) and the 'freezing' into a magnetic field. Since such waves are dispersionless, this contributes to the emergence of a plasma MHD waveguide [Nakariakov, 2020]. From here, 'come' wide distances of millions of kilometers, at which MHD waves are perceptible. Their influence, like the X-ray radiation of comets, on solar processes has not been fully investigated.
5. Where waveguides arise, resonators are also possible. For example, in the Taylor-type instability resonance effect model, solar oscillations arise due to the periodic modulation of solar plasma by external tidal forces, for which Jupiter, together with Venus and Earth, is responsible [Stefani, 2019; Klevs, 2023]. Despite this, the variant 'Jupiter, together with comets and large meteor streams', can also not be ruled out.
6. The passage of large fragments of Comet Biela near Jupiter, with the subsequent change in Jupiter's tidal influence on the Sun [Stefani, 2019].
7. 'An electricity' of comets, when neighboring, so-called Langmuir plasma sheaths – double layers around the objects – mutually influence each other, isolating charged matter from the surrounding plasma in a magnetic field that compresses them, i.e., the pinch effect of discrete eddy current beams, leading to thin cometary filaments.

'The pinch effect produces densities in thin jets that are many orders of magnitude higher than those predicted by simple radial sublimation' [Thornhill, 2006; Peratt, 2015].

17 This mass corresponds, for example, to the mass of the nucleus of Comet 1P/Halley in 1986 [Ibadov, 2008].

18 The year 1703 is taken for comparison with the computer simulation of the Biela's orbit in another research [Jenniskens, 2007].

19 The idea of the combined effect of ICME and CIR, according to its authors [Goetz, 2019], remains at the hypothesis level.

Can be given following confirming examples.

- Comet Pons in January 1884 had a nucleus consisting of two parts of different brightness, united by a pronounced twisted connection [Chambers, 1909, p. 97].
- Comet Morehouse on 19 November 1908 had a tail consisting of separate strands that intertwined like strands of rope [Chambers, 1909, p. 32].

Already, K. Birkeland concluded that electric currents flow predominantly along filaments formed by magnetic fields induced by these currents. The filamentary structure is typical for plasma in space and is a powerful source of electromagnetic radiation [Thornhill, 2006; Peratt, 2015]. Such filamentary plasma is capable of spreading over long distances, where it can be discharged. It has been shown that the speed between galactic filaments reaches more than 1000 km/s [Peratt, 1983]. This structure was also observed on Earth: *'The auroral light is sometimes composed of threads like the silken warp of a web; these sometimes become broken, and fall to the earth'* [Providence Daily Post, Rhode Island, September 3, 1859].

Comet Swift of 1899 showed signs of twisting, which suggested the idea of rotation or wobble about a line drawn from the Sun to the comet [Chambers, 1909, p. 16]. Probably, the electrical discharges between comets and the Sun/planets go in both directions through plasma (cometary) dust. It is possible that the Sun 'feeds' on electric currents [Thornhill, 2006], including cometary ones.

Due to ionized material from Comet Biela's fragments falling onto the Sun, the compression of the magnetic field could have caused an increase in electromagnetic induction, which in turn led to an increase in the electric field on the Sun and a solar white-light flare. As a result, the 'A' comet could correlate, e.g., with the solar white-light flare of November 13, 1872 (SOL1872-11-13 [Secchi, 1872; Hudson, 2021]), and the 'B' comet ('catching up'; but brighter, according to Struve's photograph at Pulkovo in 1846) – with the one or more from following solar white-light flares: September 10, 1886 (SOL1886-09-10 [Valderrama, 1886]); June 17, 1891 (SOL1891-06-17 [Trouwelot, 1891]); July 15, 1892 (SOL1892-07-15 [Rudaux, 1892; Hudson, 2021]).

If someone finds such a correlation doubtful, then between these two components, there existed 'a bridge' of five fragments immediately after the breakup of Comet Biela in 1846. When and where they 'moved', we will probably not know. The lack of activity of the Andromedids stream in 1878 was then estimated as the spread of the trail of Comet Biela no more than 40% of the length of its orbit [Kronk, 1999]. However, later, there was a gap of 7 years between the Andromedids streams of 1892 and 1899, and about 5 years between the Andromedids streams of 1899 and 1904 [Denning, 1905, p. 853]. This indicated a more essential differentiation with a time of the remnants of the split Comet Biela along its orbit.

The astronomers E. Barnard and J. Encke were among the first to suggest the existence of a certain 'resisting' environment in the Solar system, capable of destroying and distorting the tails of comets when they collided with it [Chambers, 1909, p. 37]. The basis for this was the movements of Comets Encke and Winnicke, which were not fully explained by the theory of gravitation alone [Chambers, 1909, p. 64]. Similarly, H. Newton [Newton, 1886], in connection with the compactness of the Andromedids stream in the plane of the orbit of Comet Biela, despite disturbances from Jupiter, confirmed this hypothesis. The validity of the existence of a resisting medium was long and hotly debated at that time, but it did not receive the approval of the majority of astronomers. Nowadays, the resisting medium can be considered, for example, solar wind plasma, cosmic strings, mirror matter (according to R. Foot), and so on. Science has not yet figured out dark matter/energy. Therefore, it is premature to cross out the interconnection between comets and solar white-light flares.

Comet tails show well-defined dense dust and gas filaments extending for tens of millions of kilometres without dissipating in the vacuum of space [Thornhill, 2006]. According to some hypotheses, they could have formed under the influence of the powerful magnetic fields of recently discovered supermassive black holes [Oei, 2024].

Over the past 250 years, as is known, disturbances have led to a gradual decrease in the perihelion of Comet Biela. It should be noted that the longitude of the descending node of Comet Biela's orbit in 1859 and the longitude of the Sun in 1872 coincided exactly and were equal to $246 \cdot 1^\circ$ [Newton, 1886, pp. 423–424]. This implies the possibility of their further synchronization. In any case, some fragments of this comet, after disintegration, moving along its trajectory, could first pass near the Sun, and soon find themselves at the descending node of the intersection of Comet Biela's orbit with the Earth's orbit (Fig. 5). It was in this descending node of the 3D/Biela orbit that the Andromedids meteor showers of 1872 and 1885 appeared. And it is highly doubtful that 1859 was an exception, since the Andromedids intersect with the Earth once every 13 years. The appearance of the 'A/B' comets on August 26 and September 15 in 1852 practically coincided with similar dates of geomagnetic storms from August 26 to September 7 in 1859. In such a case, probably both the secondary comets of the disintegrated Comet Biela acted in tandem as 'accomplices' of the Carrington Event in August–September 1859, causing the strong geomagnetic storms and low-latitude aurorae.

As a result, although a white light solar flare occurred on September 1, 1859, all known facts point to a high probability of a connection between the 1859 Carrington Event and fragments/Andromedids of Biela's Comet (possibly ionized by the solar wind).

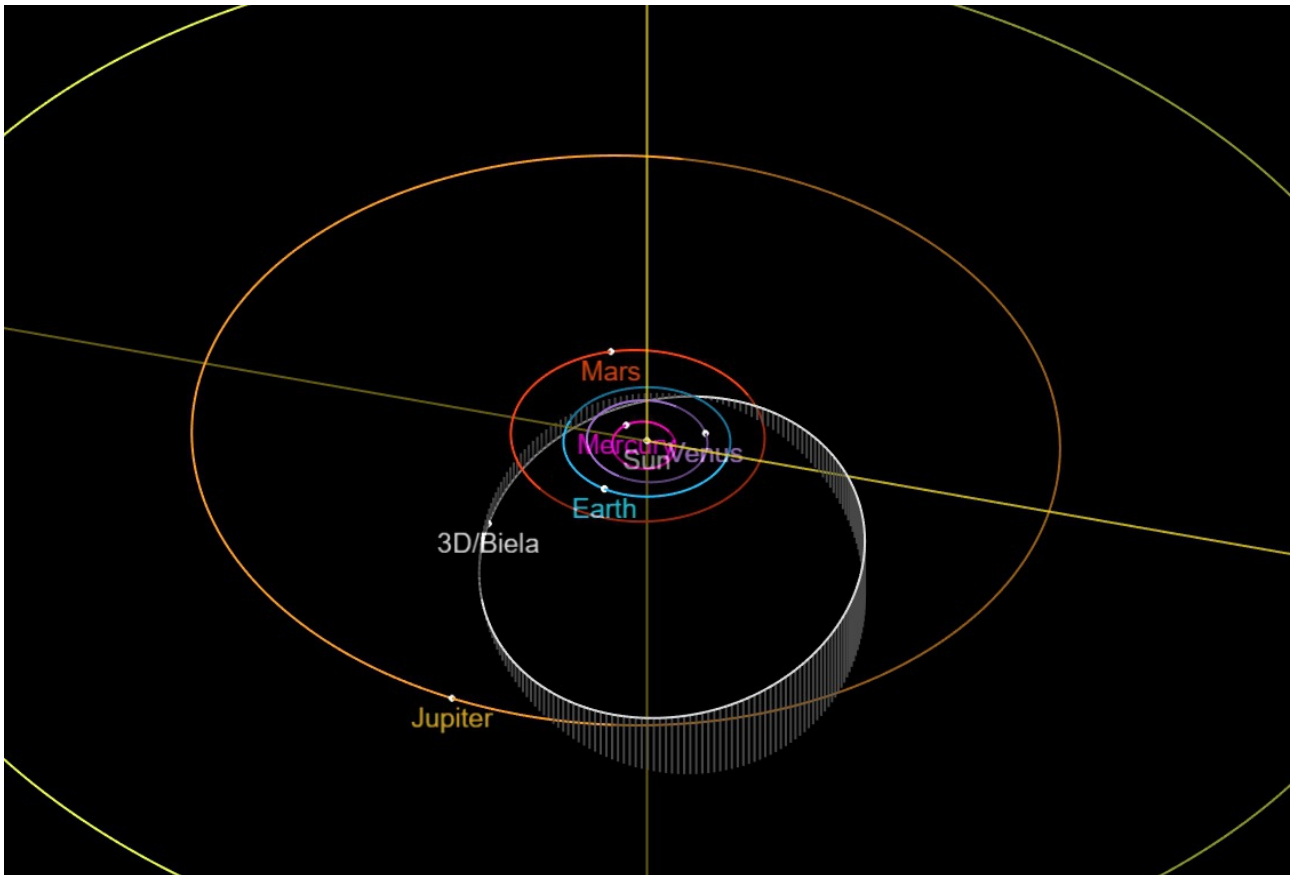


Fig. 5. The orbit of the 3D/Biela Comet [https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/?sstr=3D&view=VOPDA 'NASA/JPL-Caltech'. Producer Marsden B.].

CONCLUSION

- The paradigm, based on the observation of a solar white-light flare by R. Carrington on 1 September 1859, as well as the hypothesis impact on the Earth's magnetosphere by the ICME's magnetic clouds, including their shells, is not able to explain the characteristics of geomagnetic storms at the Observatories in Bombay and Rome. Neither the impact of postulated ICMEs nor the expected high abundance of solar energetic particles (SEPs) during the Carrington Event are supported by traces of nitrates and/or cosmogenic isotopes ^{10}Be , ^{36}Cl , and ^{14}C found in terrestrial deposits of 1859.
- Since there were no geoeffective sunspots or solar flares recorded before 1 September 1859, and the fast solar wind is not capable of initiating powerful geomagnetic storms, claims of a 'cleansing' of the interplanetary space associated with the solar activity and geomagnetic storm on 28 August 1859 as a prelude to the geomagnetic storm of 2 September 1859, are not justified.
- The features of the low-latitude auroras observed during the Carrington Event, including the isolated auroras in El Salvador, pose a serious problem for proponents of the classical solar paradigm, prompting them to assume hitherto unknown aurorae - neither diffuse nor discrete - but special *ad hoc* 'low-latitude' aurorae. In addition, the spreading of the auroral electrojet to equatorial latitudes that they use, which propagates usually in the latitudinal direction, is crossed out by disturbances in telegraph wires in the meridional 'north-south' direction.
- However, all the phenomena associated with the Carrington Event are in good agreement with the intersection of the Earth with the secondary comets and Andromedids meteors of the disintegrated Comet Biela, which

were expected by astronomers at the same time in 1859. The eyewitness accounts published by the Smithsonian Institution contain numerous observations confirming meteor explosions across different parts of the planet, including a comet over Bay Civitavecchia near Rome.

- Comets possess the necessary magnetic and electric fields to trigger powerful geomagnetic storms because they accumulate electric charge through internal ambipolar fields, and the cometary plasma has an energy density two orders of magnitude higher than that of the typical solar wind.
- The Carrington Event aurorae were observed mainly at ionospheric altitudes. The excitation of eddy currents in the magnetosphere could generate the dominant ionospheric currents with a north–south orientation, inducing meridional disturbances in telegraph lines in August and September 1859. In comets, eddy currents arise due to the pinch effect, generating filaments in cometary tails. Therefore, they might be responsible for introducing the eddy currents into Earth's magnetosphere when they pass through it.
- Wide meteor showers covering the entire Earth do not require postulating a rotation of the entire magnetosphere, since they reach any places, including low-latitude ones, causing auroras there with a predominance of, in particular, red and white colors. Eyewitnesses of the Carrington Event reported these color shades and diffuse auroras. Diffuse discharges inside comets and/or, given the diameter of the auroral beams, meteor explosions could be responsible for the initiation of diffuse auroras.

Although Comet Biela has most likely ceased to exist, the analogous class of comets possessing enormous electrical charges, a dangerous threat to our civilization.

If this new concept is correct, then the current paradigm of a solely solar origin of the Carrington Event should be reconsidered.

APPENDIX A:

AURORAE RAYS IN 1859 AND ANDROMEDIDS METEORS

The speed of the 1885 Andromedids meteoroids relative to the Earth was calculated to be 57.300 km/h [Newton, 1886, p. 425]. From here, taking into account the hourly number of meteoroids $\sim 5 \cdot 1$, the space corresponding to each visible meteor in the dense part of the group was a cube, the edge of which was equal to the cube root from $(57,300 \times \pi) / 5 \cdot 1$, that is, $\sim 32.8 \text{ km}$ [Newton, 1886].

The maximum diameter of the 1859 aurora beam was $\sim 32.2 \text{ km}$ [Loomis, 1861b, p. 322] (including, probably, a meteor track).

Since the diameter of the trace of a fireball is two orders of magnitude greater than its body [Solynuk, 1980] and the body's radius of the fireball is $\sim R=150 \text{ m}$, their combined diameter would be $D \sim 30 \text{ km}$. For example, the fireball of March 24, 1933, over New Mexico, USA, had a track reaching $\sim 4000 \text{ km}^3$, and several dozen small meteorites fell during this event [Nininger, 1934; Astapovich, 1958].

Empirically, depending on the brightness of an ordinary meteor, the length of its path was established to be $\sim 33 \text{ km}$ [Astapovich, 1958, p. 239].

However, according to modern data [Baranoski, 2003, p. 47], the standard diameter of the auroral beam due to the impact of ICME is only $\sim 1 \text{ km}$ or less.

REFERENCES

- Abbot D., Juhl R. (2016), New historical records and relationships among ^{14}C production rates, abundance and color of low latitude aurorae and sunspot abundance, *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.07.015>
- Akasofu S., Chapman S. (1960), Some features of the magnetic storms of July 1959, and tentative interpretations, *UGGI Monogr.* 7, p. 93, Int. Union of Geod. and Geophys., Toronto.
- Akasofu S., Kamide Y. (2005), Comment on 'The extreme magnetic storm of 1–2 September 1859 by B. T. Tsurutani, W. D. Gonzalez, G. S.
- American Journal of Science and Arts* (2nd series): Bethlehem (New York) Meteoric Stone of Aug. 11, 1859; Meteor of August 11, 1860, *Miscellaneous Intelligence*, 28, 300-303.
- A.P. (1861), Aurorae Polares de 1859, in the 'XI. Anales de la Universidad de Chile, Marzo de 1861, Santiago', 18, 335 (in Spain).
- Astapovich I. S. (1958), *Meteor Phenomena in the Earth Atmosphere*, Moscow, State Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 640 p. (in Russ.).
- AUC (Anales Universidad de Chile), (1861), v. 18, Santiago, Univ. de Chile (Anales Marzo de 1861, T. XVIII, Imprenta del Ferrocarril, Meteorología, Datos relativos a las Aurorae polares aparecidas en los dos hemisferios, a un tiempo, en la noche del 2 de setiembre de 1859, comunic. a la Facultad de Ciencias Físicas i Matemáticas. Aurorae poláre de 1859, 328-349.
- AUC (1864), Sobre las perturbaciones magnéticas observadas en Roma: el 2 de setiembre de 1859, Carta del R. P. Secchi a M. Leverrier, Roma, 21 de setiembre de 1859, 346-347; *Comptes rendus*, T. XLIX, Núm. 14.
- Babin A., Koval A. (2005), Morphological, evolutional and spectral peculiarities and energetics of the white-light flare of June 26, 1999, *Izvestiya of the Crimean Astrophysical Observatory*, 101, 107–119 (in Russian).
- Baranoski G. et al. (2003), Simulating the aurora, *J. Visualization and Computer Animation*, 14, 43–59. <https://doi.org/10.1002/vis.304>
- Bartels J. (1937), Solar eruptions and their ionospheric effects – a classical observation and its new interpretation, *Terr. Mag. Atmos. Elect.*, 42, 235–239.
- Beech M. (2002), The Mazapil meteorite: from paradigm to periphery, *Meteoritics & Planetary Science*, 37 (5), 649-660. doi:10.1111/j.1945-5100.2002.tb00845.x.
- Beggan C. et al. (2024), Digitized Continuous Magnetic Recordings for the August/September 1859 Storms From London, UK. *Space Weather*, 22(3). e2023SW003807, <https://doi.org/10.1029/2023SW003807>
- Belakhovsky V. et al. (2020), Growth of geomagnetically induced currents in power lines during a magnetic storm on August 25-26, 2018. *Physics of Auroral Phenomena, Apatity, Proc. 43rd Annual Seminar*, 15-19 (in Russian). Doi: 10.37614/2588-0039.2020.43
- Blake S. et al. (2020), Magnetic Field Measurements From Rome During the August–September 1859 Storms, *Journal of Geophys. Res.: Space Physics*, 125(6). <https://doi.org/10.1029/2019JA027336>
- Boteler D. (2006), The super storms of August/September 1859 and their effects on the telegraph system, *Advances in Space Research*, 38(2), 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2006.01.013>
- Bredichin T. (1893), *Astronomiche Nachrichten*, 132, 191.
- Canudas A. (1860), Resumen de las observaciones meteorológicas hechas en el Colegio-Seminario a cargo de los PP. de la Compañía de Jesús de Guatemala el año 1859, *Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Capron J. (1879), *Aurorae: Their Characters and Spectra* (London: E. & F. N. Spon).
- Capron J. (1885), Andromeda Meteors, *MNAS*, 46, 81–83. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/seri/MNRAS/0046/0000082.000.html>
- Cardenas F. et al. (2016), The grand aurorae borealis seen in Colombia in 1859, *Advances in Space Research*, 57(1), 257-267. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.08.026>
- Carrington R. (1859), Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859, *MNRAS*, 20, 13. <https://doi.org/10.1093/mnras/20.1.13>

- Chapman S., Bartels J. (1940), *Geomagnetism*, Oxford Univ. Press., NY, I, 328–337.
- Cliver E., Feynman J., Garrett H. (1990), An estimate of the maximum speed of the solar wind, 1938–1989, *J. Geophys. Res.*, 95, 103–112. doi:10.1029/JA095iA10p17103
- Cliver E., Svalgaard L. (2004), The 1859 solar–terrestrial disturbance and the current limits of extreme space weather activity, *Solar Physics*, 224, 407–422.
- Cliver E. et al. (2012), Size distributions of solar flares and solar energetic particle events, *Astrophys. J. Lett.*, 756, L29. doi: [10.1088/2041-8205/756/2/L29](https://doi.org/10.1088/2041-8205/756/2/L29)
- Cliver E., Dietrich W. (2013), The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity. *J. Space Weather Space Clim.*, 3, A31. <https://doi.org/10.1051/swsc/2013053>
- Cliver E., Pötzi W., Veronig A. (2022), Large Sunspot Groups and Great Magnetic Storms: Magnetic Suppression of CMEs, *Astrophysical Journal*, 938(2), 136. DOI [10.3847/1538-4357/ac847d](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac847d)
- Chamberlain J., 1961, *Physics of the Aurora and Airglow*, Academic Press, New York, 124.
- Churymov K., Kruchinenko V. (1994), On Collision of Secondary Nuclei of Comet P/Shoemaker-Levi 9 (1993E) with Jupiter. *Odessa Astronomical Publications*, 7, 10. <http://oap.onu.edu.ua/article/view/105729/101085>
- Comptes Rendus (1860), Magnetic Effects of the Aurora, XLIX, 473 (Report. in *Americ. J. Arts Sci.*, XXIX, Art. XXXV).
- Coroniti F. et al. (1986), Plasma Wave Turbulence in the Strong Coupling Region at Comet Giacobini–Zinner. *Geophysical Res. Letters*, 13, 869–872. <https://doi.org/10.1029/SP027p0094>.
- Curto J., Castell J., Moral F. (2016), Sfe: waiting for the big one, *J. Space Weather Space Climate*, 6(A23), DOI: 10.1051/swsc/2016018
- Dehel T., Lorge F. (2022), Can Comets become „Ignited“, 44th COSPAR Scientific Assembly. Held 16-24 July, 2022. Online at <https://www.cosparathens2022.org/>. Abstract B1.1-0071-22.
- Denning W. (1905), Meteors from Биэла’s Comet, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 65, 851–853. <https://doi.org/10.1093/mnras/65.8.851>
- Denning W. (1885), The great shower of Andromedes, November 26, 27, 28, and 30, 1885. *MNAS*, 46, 68–76. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1885MNRAS..46...68D/0000069.000.html>
- Denza F. (1872), The late Meteoric Shower, *Nature*, 7, 122.
- Duennebier F. (1976), Meteoroid Storms Detected on the Moon, 192(4243), 1000-1002. doi: [10.1126/science.192.4243.1000](https://doi.org/10.1126/science.192.4243.1000)
- Epifani E. et al. (2010), The cometary activity very far from the Sun: the case of C/2007 D1 (LINEAR) and other stories of comets, *EPSC Abstracts V. 5*, EPSC2010-188, 2010 European Planetary Science Congress 2010.
- Espley J. et al. (2015), A comet engulfs Mars: MAVEN observations of comet Siding Spring’s influence on the Martian magnetosphere, *J. Geophys. Res. Letters*. <https://doi.org/10.1002/2015GL066300>
- Findlay T. (2013), *A Beginner’s View of Our Electric Universe*, Book. www.newtoeu.com
- Flammarion C. (1894), *Popular Astronomy: A General Description of the Heavens* (Engl. transl. from French), London, 686 p.
- Fulle M., Cremonese G., Böhm C. (1998), The pre perihelion dust environment of C/1985 O1 Hale-Bopp from 13 to 4 AU, *AJ*, 116, 1470-1477.
- German B. (2024a), The Carrington event paradoxes and 3D/Biela comet (in Russian). doi: [10.13140/RG.2.2.36326.02888](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36326.02888)
- German B. (2024b), The 1859 Carrington event, 3D/Biela comet and solar white-light flares. DOI: [10.13140/RG.2.2.12654.42561](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12654.42561)
- Goetz C. et al. (2019), Unusually high magnetic fields in the coma of 67P/Churyumov-Gerasimenko during its high-activity phase. *Astronomy&Astrophysics*, 630, A38. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833544>
- Goodspeed M. (2011), The Electric Comet: The Elephant in NASA’s Living Room? <https://www.scribd.com/document/59205160/The-Electric-Comet-The-Elephant-in-NASA-s-Living-Room>
- Green J. et al. (2006), Eyewitness reports of the great auroral storm of 1859. *Advances in Space Research* 38, 145–154. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273117706000160>
- Hall T. (1872), *MetMa*, v. 7, p. 1.

- Hayakawa H. et al. (2018a), The Great Space Weather Event during 1872 February Recorded in East Asia, *The Astrophysical Journal*, 862, 15. <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/aaca40>
- Hayakawa H. et al. (2018b), Low-latitude Aurorae during the Extreme Space Weather Events in 1859, *The Astrophysical Journal*, 869, 57. [doi:10.3847/1538-4357/aae47c](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aae47c)
- Hayakawa H. et al. (2019), *Space Weather*, 17, 1553. Temporal and Spatial Evolutions of a Large Sunspot Group and Great Auroral Storms Around the Carrington Event in 1859. <https://doi.org/10.1029/2019SW002269>
- Hayakawa H. et al. (2020), South American auroral reports during the Carrington storm, *Earth, Planets and Space*, 72, 122. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01249-4>
- Hayakawa H. et al. (2022), Temporal Variations of the Three Geomagnetic Field Components at Colaba Observatory around the Carrington Storm in 1859, *The Astrophysical Journal*, 928, 32. [doi:10.3847/1538-4357/ac2601](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac2601)
- Hayakawa H. et al. (2023), The Extreme Space Weather Event of 1872 February: Sunspots, Magnetic Disturbance, and Auroral Displays, *Astrophysical Journal*, 959(1). [doi:10.3847/1538-4357/acc6cc](https://doi.org/10.3847/1538-4357/acc6cc)
- Hidden W. (1887), On the Mazapil meteoric-iron, which fell November 27th, 1885. *Am. J. Sci.*, 33, 221–226.
- Hudson H. (2021), Carrington Events, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 59, 445–477. <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-112420-023324>
- Humble J. (2006), The solar events of August/September 1859, Surviving Australian observations, *Advances in Space Res.*, 38(2), 155-158. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.08.053>
- Ibadov S. (1991), Metallic atoms and ions in comets: Comet Halley 1986 III, *Asteroids, Comets, Meteors*, LPI, November 1992, 241–244.
- Ibadov S. et al. (2008), Explosion of sungrazing comets in the solar atmosphere and solar flares, *Universal Heliophysical Processes*, Proc. IAU, Symposium, Eds. N. Gopalswamy & D. Webb, 4(257), 341-343. [doi:10.1017/S1743921309029524](https://doi.org/10.1017/S1743921309029524)
- Ibadov S. (2010), Plasma astrophysics implication in discovery and interpretation of X-ray radiation from comets, *Proc. IAU, Italy, August 2010*, 6(S274):76 – 79. [doi: 10.1017/S1743921311006600](https://doi.org/10.1017/S1743921311006600)
- Ivanov-Kholodny G., Nikol'skii G. (1969), *The Sun and the Ionosphere*, Moscow, Nauka Press, p. 455. (in Russian)
- Jacobs J. et al. (1964), Classification of geomagnetic micropulsations, *Journal Geophysical Research*, 69, 180.
- Jenniskens P., Vaubillon J. (2007), 3D/Biela and the Andromedids, *The Astronomical Journal*, 134, 1034–1045. [doi:10.1086/519074](https://doi.org/10.1086/519074).
- Jones H. (1955), *Royal Greenwich Observ. Sunspot and Geomagnetic Storm Data*, London, Majesty's Stationery Office.
- Kamide Y. et al. (1998), Two-step development of geomagnetic storms, *J. Geophys. Res.*, 103, 6917.
- Kaufmann P. et al. (1989), Effects of the Large June 1975 Meteoroid Storm, *Science*, 246, 787.
- Keika K. et al. (2015), What caused the rapid recovery of the Carrington storm? *Earth Planets and Space*, 67(1). [doi:10.1186/s40623-015-0234-y](https://doi.org/10.1186/s40623-015-0234-y)
- Kennel C. et al. (1985), A quarter century of collisionless shock research. In *Collisionless shocks in the heliosphere: A tutorial review*. Geophys. Monograph Series (v.34). AGU Press. <https://doi.org/10.1029/GM034p0001>
- Kimball D. (1960), A study of the aurora of 1859, *Sci. Rep.* 6, UAG-R109, Univ. of Alaska, Fairbanks, Alaska.
- Kleus M. et al. (2023), A Synchronized Two-Dimensional Model of the Solar Dynamo. *Solar Phys.* 298, 90. <https://doi.org/10.1007/s11207-023-02173-y>
- Kronk G. (1999), *3D/Biela, Cometography: A Catalog of Comets*, V. 1, Cambridge Univ. Press, Cambridge. <http://cometography.com/pcomet/003d.html>
- Kumar S. et al. (2015), *JGRA*, 120, 7307.
- Lakhina G. et al. (2012), Supermagnetic storms: hazard to society. In: Sharma AS, Bunde A, Dimri VP, Baker DN (eds) *Extreme Events and Natural Hazards: The Complexity Perspective*, Geophys. Mon. Ser. v. 196, AGU, Washington, p. 267. [doi:10.1029/2011GM001073](https://doi.org/10.1029/2011GM001073)
- Larson S., Sekanina S. (1984), *Z., Ast. Jour.*, 89, 571–578.
- Lasar M. (2012), 1859's „Great Auroral Storm – the week the Sun touched the Earth, *ARS Technica*. <https://arstechnica.com/science/2012/05/1859s-great-auroral-storm-the-week-the-sun-touched-the-earth>

- Lewis Z. et al. (2024), Constraining ion transport in the diamagnetic cavity of comet 67P, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 530(1), 66–81. <https://doi.org/10.1093/mnras/stae856>
- Li X. et al. (2006), Modeling the 1–2 September 1859 super magnetic storm, *Adv. Space Res.*
- Lisse C. (1996), Discovery of X-ray and Extreme Ultraviolet Emission from Comet C/Hyakutake 1996 B2, *Science*, 274(5285), 205–209. doi: [10.1126/science.274.5285.205](https://doi.org/10.1126/science.274.5285.205).
- Lockwood M. et al. (2024), The May 2024 Event in the Context of Auroral Activity over the past 375 years, *MNRAS*, submitted, 1–25. https://www.personal.reading.ac.uk/~ym901336/pdfs/435_Lockwood_etal_2024b.pdf
- Loomis E. (1860a), The Great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, and the geograph. distrib of aurorae and thunder storms, Selected from the Smiths. Papers, *57H Article*, 79–100. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-30.88.79>
- Loomis E. (1860b), The Great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, Selected from the Smithsonian Papers, 6th Article, XXXI, 339–361. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-30.90.339>
- Loomis E. (1861a), On the great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, 7th, Article *American Journal of Science* s2-32(94), 71–83. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-32.94.71>
- Loomis E. (1861b), On the great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, and on Aurorae generally, 8th, Article *American Journal of Science* s2-32(96), 318–335. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-32.96.318>
- Love J., Thomas J. (2013), Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 40(6), 1165–1170. <https://doi.org/10.1002/grl.50211>
- Love J., Mursula K. (2024a), Challenging Ring-Current Models of the Carrington Storm, *JGR: Space Physics*, 129(9). doi: [10.1029/2024JA032541](https://doi.org/10.1029/2024JA032541)
- Love J. et al. (2024b), On the uncertain intensity estimate of the 1859 Carrington storm, *J. Space weather and space climate*, 14(46). doi: [10.1051/swsc/2024015](https://doi.org/10.1051/swsc/2024015)
- Love J. et al. (2025), What is the lowest latitude of discrete aurorae during superstorms? *Space Weather*, 23, e2024SW004286. <https://doi.org/10.1029/2024SW004286>
- Manterola H., Lara M. (2011), Interpretation of the observations made in 1883 in Zacatecas (Mexico): A fragmented Comet that nearly hits the Earth. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1110.2798>
- Maris H. (1927), A Theory of the Upper Atmosphere and Meteors, *Nature*, 120, 839–954. <https://doi.org/10.1038/120839a0>
- Maris H., Hulburt E. (1929), Comets and Terrestrial Magnetic Storms, *Physical Review*, 33(6), 1046–1060. DOI: [10.1103/PhysRev.33.1046](https://doi.org/10.1103/PhysRev.33.1046)
- Maris H. (1932), The ultra-violet light theory of comet activity, *Popular Astronomy*, 40, 268–271.
- Miyake F. et al. (2023), No signature of extreme solar energetic particle events in high-precision ^{14}C data from the Alaskan tree for 1844–1876 CE, *J. Space Weather Space Clim.*, 13. <https://doi.org/10.1051/swsc/2023030>
- Moro C. (2024), Le télégraphe électrique et l'événement de Carrington (1-3-3-1) (in France). www.i-resilience.fr
- Mukai T. et al. (1986), Plasma observations by Suisei of solar-wind interaction with comet Halley, *Nature*, p. 306.
- Marsden B., Sekanina Z. (1971), *Astronomical Journal*, 76, 1135.
- Nakariakov V. (2020), *Magnetohydrodynamic Waves*, Oxford Uni Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190871994.013.7>.
- Namekata K. et al. (2017), Statistical Studies of Solar White-light Flares and Comparisons with Superflares on Solar-type Stars, *The Astrophysical Journal*, N. 2, Citation, 851, 91. doi [10.3847/1538-4357/aa9b34](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa9b34)
- Nature (1986), Encounters with comet Halley, the first results, 321 (Special issue), 259–366.
- Neidig D., Cliver E. (1983), A catalog of solar white-light flares, including their statistical properties and associated emissions, 1859–1982 (Tech. Rep. TR-83-0257, Air Force Geophysics Laboratory. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1983STIN...8424521N/abstract>
- Neubauer F. et al. (1986), First results from the Giotto magnetometer experiment at comet Halley, *Nature*, 321, 352–355. <https://www.nature.com/articles/321352a0>.
- Nevanlinna H. (2008), *Advances in Space Res.*, 42, 171.
- Newton H. (1872), The late Meteoric Shower, *Nature*, 7, 122. <https://doi.org/10.1038/007122b0>

- Newton H. (1875), Brit. Assoc. Report, p. 224.
- Newton H. (1886), Бизла meteors of Nov. 27th, 1885. American Journal of Science, Third Series, XXXI, 186, 409–426. <http://www.meteoritehistory.info/AJS/S3VIEWS/V31P409.HTM>
- Newton H. (1943), MNRAS, 103, 244–257.
- Newton H. (1955), Vistas Astron, 1, 666–674.
- Neumeyer G. (1864), Meteorological and nautical taken in the colony of Victoria (Melbourne Ferres), p. 242.
- Nininger H. (1934), The great meteor of March 24, 1933, Popular Astronomy, 42, 291–306. <https://adsabs.harvard.edu/full/1934PA.....42..291N>
- Oberst J., Nakamura Y. (1987), Lunar seismic impact clusters-evidence, LPSC XVIII, 736-738. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1987LPL....18..736O>
- Oei, M. et al. (2024), Black hole jets on the scale of the cosmic web, Nature, 633, 537–541. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07879-y>
- Opik E. (1966), Comet nuclei as the principal source of meteorites, in: Natures and Origin des Cometes, Liege Univ., Belgium, 575-580.
- Ohtani S. (2022), New Insights from the 2003 Halloween storm into the Colaba 1600 nT magnetic depression during the 1859 Carrington storm, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 127(9), e2022JA030596. <https://doi.org/10.1029/2022JA030596>
- Peratt A., Green J. (1983), On the evolution of interacting magnetized galactic plasmas, Astrophys. Space Sci. 91, 19. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00650210>
- Peratt A. (2015), Dynamics of Field-Aligned Currents in the Laboratory, Aurorae, and Galactic Space. In Physics of the Plasma Universe, pp. 341-360. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-7819-5_12
- Popel S., Golub' A. & Zelenyi L. (2024), On Dusty Plasma Processes in the Physics of Comets. JETF Lett. 120, 307–314. <https://doi.org/10.1134/S0021364024602653>
- Ribeiro P. et al. (2011), Geomagnetic records of Carrington's storm from Guatemala, Journal of Atmospheric and Solar-Terrrestrial Physics, 73(2-3), 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.12.017>.
- Riedler W. et al. (1986), Magnetic field observations in comet Halley's coma, Nature, 321, 288. doi: [10.1038/321288a0](https://doi.org/10.1038/321288a0)
- Riley P. (2012), Space Weather On the probability of occurrence of extreme space weather events. <https://doi.org/10.1029/2011SW000734>
- Rudaux L. (1892), L'Astronomie, 11, 342–44.
- Rudski M. (1910), Magnetische Störung in der Nacht vom 19. bis 20. Mai, Meteorologische Zeitschrift (Kleinere Mittelungen), 27, 262 (in Deutsch). [Meteorologische Zeitschrift v. 27 \(1910\). - Limited View | HathiTrust Digital Library.](https://www.jstor.org/stable/2340000)
- Sakharov A. et al. (1965), Magnetic cumulation, Reports of the USSR Academy of Sciences, 165(1), 65–68 (in Russ.).
- Secchi A. (1859a), Sur les perturbations magnétiques observées a rome le 2 Septembre 1859, (letter du r.p. Secchi à m. le verrier), comptes rendus, physique du globe, T. XLIX, 458.
- Secchi A. (1859b), Memorie dell'osservatorio del Collegio Romano, Nuovo Serie, N. 1–31.
- Secchi A. (1872), Sulla Distribuzione delle Protuberanze intorno al Disco Solare, Roma, Tipografia delle Scienze Matematiche e Fisiche (in Italian).
- Silverman S. (2008), Low-latitude aurorae: the great aurora of 4 February 1872, J. Atm. Sol.-Terr. Phys., 70, 1301–1308.
- Siscoe G. et al. (2006), Dst of the Carrington storm of 1859, Advances in Space Research, 38(2), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.02.102>
- Shea M., Smart D., (2006), Compendium of the eight articles on the “Carrington Event” attributed to or written by Elias Loomis in the American Journal of Science, 1859–1861, Advances in Space Research (a COSPAR publication), 38, 313–385. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273117706004480?via%3Dihub>
- Smart D., Shea M., McCracken K. (2006), The Carrington event: Possible solar proton intensity-time profile, Advances in Space Research, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.04.116>
- Solyanik V. (1980), Interaction of Meteorite Matter with the Earth, Novosibirsk, Nauka Publishing House, 243 p. (in Russ.).
- Somogyi A. et al. (1986), First observations of particles near comet Halley, Nature, 321, 285–288. <https://doi.org/10.1038/321285a0>
- Stefani, F., Giesecke, A. & Weier, T. (2019), A Model of a Tidally Synchronized Solar Dynamo, Solar Phys. 294, 60. <https://doi.org/10.1007/s11207-019-01500-0>

[019-1447-1](#)

Stephenson P. et al. (2021), Multi-instrument analysis of far-ultraviolet aurora in the southern hemisphere of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, *Astronomy&Astrophysics*, 647, A119. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039155>

Stewart B. (1861), On the Great Magnetic Disturbance which extended from August 28 to September 7, 1859, as recorded by Photography at the Kew Observatory, *Monthly notices of the Royal Astr. Society, Oxford., Phil. Trans.*, 151, 423-430. <https://doi.org/10.1098/rstl.1861.0023>

Svyatsky D. (1922), Leonids in 1832, *Mirovedenie*, 11, No. 2, 134 (in Russ.).

Thornhill W., Talbott D. (2006), The Electric Comet, 33rd International Conference on Plasma Science (ICOPS), Traverse City, Michigan, USA. <https://www.thunderbolts.info/pdf/ElectricComet.pdf>

Trouvelot E. (1891), *L'Astronomie*, 10, 287–898.

Tsurutani B. et al. (2003), The extreme magnetic storm of 1–2 September 1859, *J. Geophys. Res.*, 108(A7), 1268. doi:10.1029/2002JA009504

Tsurutani B. et al. (2018), Comment on 'Modeling Extreme 'Carrington-Type' Space Weather Events Using Three-Dimensional Global MHD Simulations' by C. M. Ngwira, A. Pulkkinen, M. M. Kuznetsova, and A. Gloecker, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123(2), 1388–1392 (2018). <https://doi.org/10.1002/2017JA024779>.

Tsurutani B. et al. (2023), Comments on 'New Insights From the 2003 Halloween Storm Into the Colaba 1600 nT Magnetic Depression During the 1859 Carrington Storm' by S. Ohtani (2022), *JGR Space Physics*, 128, 6. <https://doi.org/10.1029/2022JA031034>

Tupman G. (1885), Observations and Orbit of the Meteor Shower of 1885, November 27. *MNAS*, 46, 79–81. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1885MNRAS..46...79T/0000081.000.html>

Fesenkov V. (1978), *Selected Works. Meteorites and Meteoric Matter*, Moscow, Nauka Publishing House, 252 p. (in Russ.).

Usoskin G., Kovaltsov A. (2012), Occurrence of extreme solar particle events: assessment from historical proxy data, *ApJ*, 757, 92. <http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/757/1/92>

Uusitalo J. et al. (2024), Transient Offset in ¹⁴C After the Carrington Event Recorded by Polar Tree Rings, *Geophys. Res. Lett.*, 51(5). <https://doi.org/10.1029/2023GL106632>

Valderrama J. (1886), *L'Astronomie*, 5, 388–89.

Watanabe K. et al., (2010), G-band and hard X-ray emissions of the 2006 December 14 flare observed by Hinode/SOT and Rhesi, *Astrophys. J.*, 715, 651–655. doi:10.1088/0004-637X/715/1/651

Weiß E. (1888), *Beitrage zur Kenntniss der Sternschnuppen, Bilderatlas der Sternenwelt I*, 11 (in Deutsch).

Whitman W. (1859-1860), *Year of Meteors, in 'Leaves of Grass', The Walt Whitman Archive, A Bibliography of Copies*, Gen. Ed. Matt Cohen, Ed. Folsom & Kenneth M. Price. <http://www.whitmanarchive.org>

Wolff E. et al. (2012), The Carrington event not observed in most ice core nitrate records, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L08503. <https://doi.org/10.1029/2012GL051603>

Wood R. (2004), Did Biela's Comet Cause the Chicago and Midwest fires? 2004 Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids 23–26 February 2004, Orange County, California.

Woods T., Kopp G., Chamberlin P. (2006), *J. of Geophys. Res.*, Contributions of the solar ultraviolet irradiance to the total solar irradiance during large flares. <https://doi.org/10.1029/2005JA011507>

Wrangel F. (1827), *Phys. Beobachtungen*, St. Petersburg; *Ann. d. Phys. und d. Chem.* 85(9), 157.

Wrangel F. (1841), *Travel in Siberia*. St. Petersburg; *Puteshestvie po Sibiri* (in Russ.),

Wright L. et al., 2025, <https://doi.org/10.3847/PSJ/adcab3>

Wu C., Davidson R. (1972), *J. Geophys. Res.*, 77, 5399.

IN RUSSIAN: СОБЫТИЕ КЭРРИНГТОНА БЫЛО ВЫЗВАНО ВТОРИЧНЫМИ КОМЕТАМИ И МЕТЕОРАМИ КОМЕТЫ БИЕЛЫ

Борис Р. Герман^(1, 2),

(1) Независимый исследователь, Фрайбург, Германия (borisgerman@hotmail.com), (2) Физико-технический Институт Академии Наук Украины, Донецк (german@mail.fti.ac.donetsk.ua)

Boris R. German^(1, 2),

(1) Independent Researcher, Freiburg, Germany (borisgerman@hotmail.com), (2) Phys.-Tech. Institute Ukrainian Academy of Sciences, Donetsk (german@mail.fti.ac.donetsk.ua)

Ключевые слова: событие Кэррингтона 1859 года, 3D/Биэла комета, Андромедиды, Мазапиль метеорит, белые солнечные вспышки, корональные выбросы массы ICMEs, солнечные частицы SEPs, геомагнитные бури, низкоширотные авроры, космогенные изотопы, МГД волны, нестабильность Тейлор-типа, пинч-эффект.

Keywords: the 1859 Carrington event, 3D/Biela comet, Andromedids, the Mazapil meteorite, white-light solar flares, ICMEs, SEPs, geomagnetic storms, low-latitudes auroras, cosmogenic isotopes, MHD waves, the Taylor-type instability, the pinch effect.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что историческое событие Кэррингтона произошло с 26 августа по 7 сентября 1859 года, когда наблюдались сильнейшие геомагнитные возмущения, низкоширотные полярные сияния и возгорания в длинных телеграфных линиях Евразии, Америки и Австралии. Особенно сильные геомагнитные бури были зафиксированы дважды: 28/29 августа и 1/2 сентября 1859 года.

Сегодня исследователи предполагают, что событие Кэррингтона было вызвано попаданием Земли под удары двух корональных плазменных масс (ICMEs), выброшенных Солнцем во время вспышек. Вспышка, наблюдавшаяся Р. Кэррингтоном в обсерватории Лондона 1 сентября и отмеченная следом кроше (характерным «крючком») на магнитограмме, была идентифицирована как солнечная вспышка белого света, то есть, с излучением в непрерывном оптическом спектре.

Однако, в том же 1859 году, астрономы ожидали увидеть две вторичные кометы вместе с потоком метеоров Андромедид, возникших после распада кометы 3D/Биэла; но как считается сегодня, из-за плохой погоды не наблюдали их. Вместе с тем, опубликованные свидетельства, позволяющие утверждать, что событие Кэррингтона было связано с фрагментами этой кометы, будут рассмотрены в данной работе.

Комета 3D/Биэла с коротким периодом обращения вокруг Солнца ~ 6,7 лет принадлежала к семейству комет Юпитера и была открыта независимо астрономами Жаком Монтенем и Шарлем Мосье 8 марта 1772 года. Затем она была обнаружена Жаном-Луи Понсом 10 ноября 1805 года и переоткрыта 27 февраля 1826 года Вильгельмом фон Биелой. На орбите кометы 3D/Биэла также был замечен метеорный поток. Астроном Э. Херрик пришел к выводу, что радиант этих метеоров 1838 года должен располагаться вблизи созвездия Кассиопея или, что более вероятно, в окрестностях скопления в мече Персея [Newton, 1886]. Затем, в результате прохождения вблизи Юпитера, радиант мог сместиться к звезде гамма(Аламак)-Андромеды, где он и остается до нашего времени как источник метеорного потока Андромедид.



Фиг. 1. Две вторичные, кометы «А» и «В» в феврале 1846 года, образовавшиеся в результате распада кометы 3D/Биэла [Weiß, 1888; Flammarion, 1894, p. 499, Fig. 213, Harvard College Library. <http://books.google.com/>]. Вверху – север, слева – запад (спиральная структура может указывать на биркеландовские электрические токи кометы).

19 декабря 1845 года было замечено, что ядро 3D/Биэла распадается, и к 31 декабря деление завершилось. Астроном М. Мори в середине января 1846 года отметил, что распад ядра кометы 3D/Биэла привел к отчетливо наблюдаемым двум частям. Каждая из них стала отдельной кометой, со своим ядром, комой и хвостом (Фиг. 1). Так как между двумя основными частями отчетливо прослеживался соединительный мост в виде дуги, то вероятно, 3D/Биэла разделилась на большее число фрагментов¹ (в какой-то момент их наблюдалось около пяти [Jenniskens, 2007]). К концу марта расстояние между двумя основными компонентами составляло ~ 2,6 млн. км. Поскольку комета 3D/Биэла всегда находилась на значительном перигелийном расстоянии от Солнца (около 0,86 радиуса земной орбиты) [Фесенков, 1978, с. 198], то предположение о ее распаде за счет внутренней энергии является обоснованным (см. далее).

В 1852 году астроном А. Секки в Риме вновь зарегистрировал две вторичные кометы «А» и «В» [Secchi, 1872]. Комету «А» наблюдали с 26 августа по 23 сентября, а комету «В» — с 15 по 29 сентября. Расстояние между ними составляло уже ~ 2,8 млн. км [Flammarion, 1894, p. 499].

Поскольку железный метеорит Мазапиль упал и был сразу найден в Мексике в день максимума потока Андромедид в 1885 году, комета 3D/Биэла могла иметь металлические магнитные (в основном, железно-никелевые) фрагменты. Поэтому, движение намагниченных частиц метеоров 3D/Биэла вдоль силовых линий геомагнитного поля могло вызывать эффекты, неотличимые от создаваемых частицами солнечного ветра, включая проникновение в магнитосферу/атмосферу со стороны как Северного, так и Южного, магнитных полюсов, а также индуцирование аврор и теллурических токов.

Еще астроном Э. Вайс указывал, что близкое перемещение вблизи Юпитера привело к постепенному уменьшению долготы восходящего узла орбиты 3D/Биэла [Weiß, 1888]. Более того, сейчас радиант Андромедид находится на 20° южнее относительно радианта этого потока в XIX веке. Основным источником метеоров являются многочисленные волокна, образующиеся в результате существенных изменений орбиты кометы. Если 27 ноября, как в 1872 году, так и в 1885 году, наблюдалось несколько тысяч метеоров в час, то в настоящее время Андромедиды представляют собой лишь слабый поток с сентября по декабрь с максимальной активностью менее 3-х метеоров в час [Kronk, 1999].

Правильная интерпретация события Кэррингтона года важна в свете сегодняшних дебатов об угрозах земной цивилизации. Однако, доминирующая гипотеза исключительно солнечного происхождения события Кэррингтона 1859 года сталкивается с серьезными трудностями, что и будет рассмотрено подробно.

¹ На протяжении всего представленного текста в термин «фрагменты» кометы 3D/Биэла включаются как крупные вторичные кометы «А» и «В», возникшие в результате ее распада в 1840-х годах, так и метеорный поток Андромедид.

ЧАСТЬ 1.

ФРАГМЕНТЫ КОМЕТЫ 3D/БИЭЛА ПРОТИВ ICMEs

1.1. СОБЫТИЕ КЭРРИНГТОНА 1859 ГОДА

Сравнение данных метеорных потоков 1798, 1838 и 1872 годов, когда Земля оказывалась вблизи орбиты кометы 3D/Биэла или пересекала ее, показало, что Андромедиды были распределены на орбите кометы, «*предшествуя ей на участке в 300 миллионов миль и следуя за ней на участке в 200 миллионов миль*» [Newton, 1875, p. 224, Fig. 104]. Следовательно, хотя, по расчетам, комету 3D/Биэла ожидали в конце мая 1859 года, неудивительно, что вторичные кометы «А/В» вместе с потоком метеоров Андромедид появились в конце августа.

На основании научных данных первое магнитное возмущение, приписываемое историческому событию Кэррингтона, было зафиксировано одновременно обсерваториями во Франции (в Париже), и в Гватемале, когда геомагнитное склонение изменилось 26 августа 1859 года между 9:30 утра и полуднем [Comptes Rendus, 1860, p. 473; Smart, 2006]. Затем внезапные возмущения аномально сильной амплитуды во время магнитных бурь наблюдались дважды: 28/29 августа и утром 2 сентября. Сами нарушения носили колебательный характер, что отражалось в смене полярности телеграфных токов. Возмущения по всей планете продолжались до 7 сентября включительно, когда магнитное поле успокоилось [Stewart, 1861, p. 424].

В публикации научного еженедельника «Вестник» за сентябрь 1859 года говорилось, что в США все телеграфные линии были затронуты на севере так, что во время присутствия «метеора» связь прерывалась [AUC, p. 335]. Это упоминание «метеора» далеко не единственное. Было много других примеров и, вдобавок, связанных с гамма-Андромедой.

Астроном Б. Стюарт сообщал, что во многих местах огни имели великолепный вид, в то время как в других, где этот «метеор» также был замечен, явление огней было редким. Как указывал Б. Стюарт, описания этого «метеора», данные наблюдателями, находившимися далеко друг от друга, были собраны профессором Э. Лумисом и опубликованы [Stewart, 1861, p. 423]. Сам Э. Лумис получил письмо от секретаря Смитсоновского института Д. Генри о том, что имеется большая коллекция материалов относительно этого интересного «метеора» [Loomis, 1860b, p. 339; Shea, 2006]. Согласно этой коллекции, было сообщение профессора К. Ханстина из Христиании (ныне, Осло) о том, что 29 августа в 12 час. 18 мин. авроральный луч «выстрелил» точно в гамму-Андромеды, расположенную в тот момент на востоке [Shea, 2006, p. 338]. В 1885 году радиант Андромедидов также находился к востоку от большинства наблюдателей [Newton, 1886, p. 419]. Интересно, что в 17-м веке художник Гевелий оставил изображение, воспроизводившее светящийся луч, выстреливший из ядра кометы Галлея в ее хвост [Chambers, 1909, p. 104].

Сегодня общепризнано, что возмущения во время события Кэррингтона распространялись с севера. Поэтому симптоматично, что именно из северных стран, а именно, из Норвегии и Англии, поступили сообщения о направлении лучей и купола точно на гамму-Андромеды.

Важное по значимости и сообщение Э. Лоу, в котором отражается последовательное развертывание наблюдений вечером 28 августа и утром 29 августа 1859 года в Ноттингеме (Англия), завершающееся фразой: «*В 3 часа 15 мин. купол образовался вблизи гамма-Андромеды*» [Shea, 2006, p. 339].

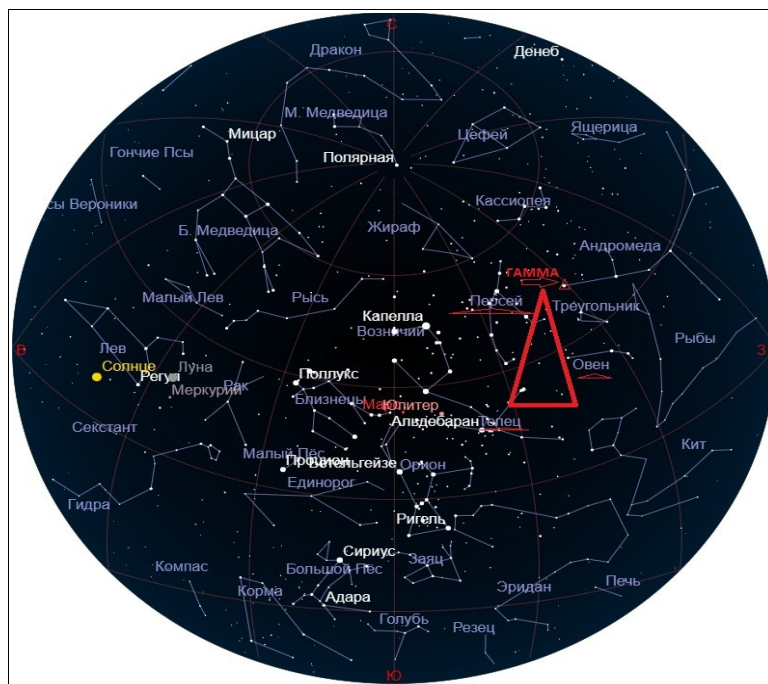
В Кливленде (штат Огайо, США) 28 августа в 21 час. 30 мин., по утверждению капитана Б. Станарда, остался только устойчивый очень яркий белый свет на севере, образовывавший огромную кривую, проходившую через Цефей и Персей [Shea, 2006, p. 349]. Между этими созвездиями, ближе к Персею, как известно, находится и гамма-Андромеды.

Профессор А. Твиннинг в Вест-Пойнте (Нью-Йорк, США) указывал, что 28 августа стримеры высоко на севере двигались через созвездие Кассиопеи. Напомню, что астроном Э. Херрик приходил в своё время к выводу, что радиант метеоров кометы 3D/Биэла в 1838 году должен был располагаться вблизи созвездия Кассиопеи [Newton, 1886], которое расположено на небе недалеко от гамма-Андромеды.

В «*Нью-Йорк Таймс*» [Green, 2006] сообщалось, что разноцветные полосы полярного сияния пересекали друг друга огромными колоннами между созвездиями Овна, Тельца и Головы Медузы² – примерно в 15° к югу от

2 Голова Медузы (Горгоны) ранее выделялась как отдельное созвездие. Сейчас включена в созвездие Персея как звезда Алголь.

зенита. Легко определить, что над упомянутым треугольником этих созвездий находится звезда гамма-Андромеды (Фиг. 2).



Фиг. 2. Вид неба Нью-Йорка 2 сентября.

Гамма-Андромеды находится выше треугольника созвездий Тельца, Овна и Персея (Адаптировано из <http://meteoweb.ru/astro/skaymaps1.php>).

В Афинах также полярное сияние было ограничено на востоке звездой альфа-Персея [Loomis, 1860a, p. 83]. Астроном В. Деннинг, много лет занимавшийся метеорами, утверждал [Denning, 1885, p. 69], что поток Андромедид в 1885 году был широким, до 7° , и он видел несколько метеоров из точки к югу от гамма-Андромеды. Аналогично, в 1859 году было заявлено [AUC, p. 331], что светящаяся арка находилась под темным сегментом в созвездии Эридана и сначала оставалась над основным полярным сиянием, простирающимся за зенит (то есть, длина полярного сияния была $\geq 90^\circ$). Впоследствии она «исчезла» на севере в Эридане. Это не исключает направления «Эридан – гамма-Андромеды».

Известный поэт Уолт Уитмен вспоминал в своей поэме «Год метеоров», что «с севера прилетела комета, сверкнула в небе, и высоко над головой пронеслась вереница метеоров... Это был год комет и метеоров!» [Уитмен, 1859–1860]³.

И в самом деле, из сообщения, например, профессора К. Лаймана из Йельского колледжа о наблюдениях в Нью-Хейвене (Коннектикут, США) следует, что около рассвета 2 сентября 1859 года внимание профессора Ф. Шепарда было привлечено быстрыми вспышками и пульсациями над головой, которые, как ему показалось, указывали на очень низкую высоту явления над поверхностью [Shea, 2006, p. 320]. Ранее, вечером 28 августа в 21 час. 53 мин. (по среднему времени Нью-Хейвена), там же появилась быстро двигавшаяся падающая звезда (т.е., метеор) [Shea, 2006, p. 320, Table 1.3].

Согласно присланному 2 сентября сообщению, опубликованному в «*Порт Гибсон Ревейл*» от 9 сентября, наблюдатель Сенекс Старший из округа Джефферсон (Миссисипи, США) 1 сентября в 23 часа заметил движение метеора, а затем 2 сентября в 1 час ночи насчитал еще 7 метеоров [Shea, 2006, p. 325].

Команда корабля «*Южный Крест*» из Альта Калифорнии в ночь на 2 сентября в Южном полушарии, восточнее Аргентины (50° ю. ш., 80° з. д.), между шквалами, в ясных местах в небе, наблюдала огни, вспыхивающие с

3 Хотя комета C/1860 M1 и метеорный поток наблюдались в Нью-Йорке в июле 1860 года, поэма У. Уитмена датируется 1859–1860 годами. Поэтому она также могла относиться к описанию события Кэррингтона 1859 года.

метеорным блеском [Shea, 2006, p. 344].

В 80 километрах к северо-западу от Рима во время авроры 29 августа над заливом Чивитавеккья моряки связывали увиденный ими огненный столб непосредственно с **кометой** [Secchi, 1859b; Blake, 2020, Appendix B.1].

Наконец, газета «*Мельбурн Аргус*» из Юж. Австралии сообщала, что вечером 28 августа в районе города Маунт Гамби (Mount Gambier) «*яркий метеор, пролетевший с юго-запада на северо-восток, взорвался при приближении к горизонту, как ракета, и сразу же на северо-востоке возникли лучи авроры*» [Green, 2006]. Этот взрыв метеора и последовавшая за ним аврора были также видны в Аделаиде, в 390 км от города Маунт Гамби. Следовательно, авроры события Кэррингтона 1859 года могли быть результатом взрывов метеоров.

Считается, что в конце августа, как и в начале сентября 1859 года, погодные условия для наблюдений были плохими. Например, как 28 августа, так и 2 сентября, над всеми четырьмя магнитными станциями в России (в Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Барнауле и Нерчинске) было пасмурно и облачно [Loomis, 1861a, p. 77]. Кроме того, согласно компьютерному моделированию, метеорный поток Андромедид в 1859 году должен был быть слабым, иначе трудно объяснить отсутствие регистраций [Jenniskens, 2007]. Несмотря на эти утверждения, астроном А. Секки сообщал, что в Риме 29 августа даже сквозь облака можно было увидеть красивые ракеты и столбы интенсивного белого и бледно-желтого света [Secchi, 1859], а в Кливленде (штат Огайо, США), расположенном на 41° с. ш., было замечено, что огненные стрелы летели с севера, как страшная бомбардировка [Cardenas, 2016].

Относительно часто упоминаемых очевидцами ракет известно, что «*вещество метеора переходит из головы в хвост, достигающий нескольких километров длины. Части хвоста как бы развеваются, составляющие его струйки переплетаются, удлиняясь и сменяя друг друга, напоминая хвосты ракет*» [Астапович, 1958, с. 338]. Этот эффект переплетения можно отнести к механизму сжатия «нитей» комет (пинч-эффекту дискретных вихревых токовых пучков, приводящему к тонким филаментам) [Thornhill, 2006; Peratt, 2015], о чем пойдет речь далее.

1.2. ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

1.2.1. НЕУДАЧИ СТАНДАРТНОЙ ПАРАДИГМЫ

Начало события Кэррингтона 1859 года, как уже говорилось, связывают с магнитными возмущениями в Гватемале 26 августа. В это же время в соседнем Сальвадоре произошли сильные землетрясения [Canudas, 1860; Ribeiro, 2011]. Хотя вопрос спорный, возникновение одновременно интенсивной геомагнитной бури солнечного генезиса и близкого крупного землетрясения не признается в рамках сегодняшней научной парадигмы [Love, 2013]. Что же касается связи таких землетрясений с метеорными потоками, то здесь проблем нет. Известно, что наиболее яркие метеоры, (-15) звездной величины, и с силой света $I > 10^{11}$ кандел, регистрируются сейсмографами [Астапович, 1958, с. 296, Фиг. 142]. Например, метеорный поток 20 января 1977 года, состоящий из массивных медленно движущихся плотных камней, вызвал серьезную сейсмику как на Луне, так и на Земле [Oberst, 1987, p. 737]. Если в 1977 году речь шла только о каменных фрагментах, то в случае с железокосными фрагментами кометы 3D/Биэла могли возникнуть ударные волны при прохождении крупных фрагментов вблизи магнитосферы, или высокоскоростных метеоров Андромедид в атмосфере при превышении скорости звука, а также индукционные теллурические токи из-за ионизированных фрагментов метеорного потока, что и вызвало землетрясение в Сальвадоре в конце августа 1859 года.

Предполагается, что после магнитных возмущений 26 августа 1859 года первая из двух сильных магнитных бурь события Кэррингтона началась 28 августа в 22:30 UT, так как полярное сияние в Гаване возникло примерно тогда же. В Южном полушарии вечером 28 августа все три элемента магнитометра Мельбурнской обсерватории зафиксировали крупные возмущения, которые восстановились 29 августа [Hamble, 2006; Nakawaka, 2018b]. В обсерватории Колаба в Бомбее (Индия) постепенное изменение горизонтальной составляющей геомагнитного поля продолжалось почти до полуночи 31 августа. Это говорит о неравномерном воздействии фактора, вызвавшего геомагнитные нарушения, на различные регионы Земли.

Главными аргументами в пользу солнечной природы события Кэррингтона считаются: наличие двух крупных пятен на Солнце, и наблюдение астрономом Р. Кэррингтоном в Гринвичской обсерватории солнечной белой вспышки 1 сентября 1859 года в 11:18 UT [Carrington, 1859]. Согласно Р. Кэррингтону, солнечная вспышка в белом свете полностью исчезла в 11:23 UT. В Обсерватории Парижа геомагнитное возмущение 1 сентября зафиксировали в 11:30 UT [Comptes Rendus, 1860, p. 473; Smart, 2006, p. 340]. Независимо от Р. Кэррингтона астроном Р. Ходжсон в обсерватории Кью в Лондоне зарегистрировал геомагнитное возмущение всех трех

элементов в 11:15 UT.

Кроше (крючкообразное) отклонение в геомагнитном следе из-за вспышки белого света в широкой визуальной полосе пропускания 1 сентября 1859 года появилось на магнитограмме горизонтальной H -компоненты геомагнитного поля в Кью в 11:22 UT. Кроше-вспышка, ультрафиолетовая или рентгеновская, взрывного типа на Солнце быстро, через ~ 8 минут, может вызывать на Земле эффект Мёгеля–Деллингера (SID) – повышение проводимости в ионосферном динамо-регионе, проявляющемся только на освещенной стороне. Однако во время события Кэррингтона 1859 года никто не отслеживал уровень рентгеновских и/или ультрафиолетовых лучей [Curto, 2016]. Например, в Римской обсерватории время около 11:22 UT считалось не рабочим, т. е., записи просто не велись [Blake, 2020, Fig. 3.].

Следует подчеркнуть, что тщательная расшифровка магнитограмм в упомянутых обсерваториях Лондона выявила множество проблем [Beggan, 2024]. Они касались пробелов в калибровке, масштабирования миллиметров в углы и нанотесла, неопределенности в зависимости от толщины следа, искажения записей и так далее. Утверждения, что записи совпадали на магнитограммах в Гринвиче и, в 20 км от него, в Кью, также не являются надежными из-за отсутствия доказательств синхронизации времени между этими обсерваториями [Beggan, 2024].

2 сентября 1859 года измерения магнитных характеристик в Риме начались через несколько часов после того, как внезапное начало было зафиксировано в Кью. При этом отклонение $H \sim 3000$ нТл произошло в Риме, когда магнитограмма в Кью вышла за пределы шкалы, а амплитуда данных в Колабе быстро уменьшалась [Blake, 2020]. Однако, в Риме вариации трех магнитных приборов, деклинометра, вертикального магнитометра и бифилярного⁴, измеряющих, соответственно, величины D , Z и H , не были одновременными, поскольку максимальные колебания каждого из них произошли в разное время [Secchi, 1859a].

Влияние взрыва метеора на ионосферу также оставляет крючковатый след, типа кроше, на магнитограммах [Астапович, 1958, с. 274]. Следовательно, даже утверждение о том, что след на магнитограммах в Лондоне 1 сентября в 11:22 UT был напрямую связан с солнечной вспышкой, а не, скажем, с возмущением магнитосферы ударной волной крупного фрагмента кометы Биэла, или взрывом метеора, остается сильной гипотезой, но не фактом. Но поскольку солнечные белые вспышки часто сопровождаются выбросами корональной плазменной массы, сильная геомагнитная буря на следующий день, 2 сентября 1859 года, через 17,6 часов, была приписана исследователями к ICME [Cliver, 1990]. Никаких доказательств этому нет: ICME просто постулировали.

Сильные геомагнитные бури генерируются быстрыми корональными выбросами, поэтому важно знать распределение их скоростей. В то же время, перевод того, что Р. Кэррингтон качественно описал в 1859 году, в стабильную пиковую скорость потока⁵, «вероятно, неразрешимая задача» [Riley, 2012]. Отсюда и существенные проблемы в начальных оценках скорости ICME для события Кэррингтона. Например, получив начальную скорость ICME ~ 5000 км/с, но приняв во внимание максимальную скорость ~ 3500 км/с, известную на сегодня в базе данных SOHO/LASCO, исследователи [Riley, 2012] были вынуждены придумать своего рода «колено» для сшивания этих результатов во имя их правдоподобности.

Установлено, что почти половина сильных геомагнитных бурь с минимальным индексом $Dst \leq (-300)$ нТл ассоциировалась с группами пятен площадью ≤ 1000 м.д.п. [Cliver, 2022]. Оценка полной излученной энергии солнечной вспышки во время события Кэррингтона 1859 года, $\sim 4 \times 10^{25}$ Дж, основанная на эскизе и описании [Hudson, 2021], не превышает энергии более поздних вспышек. Относительно недавняя вспышка в августе 1972 года была столь же, или более высокоэнергетичной, чем во время события Кэррингтона, а скорость межпланетного выброса выше [Tsurutani, 2003]. Тем самым, ни площадь пятен, ни их активность не имеют решающего значения: такие пятна часто присутствуют на солнечном диске и не являются решающим аргументом. Более того, установлена небольшая, но значимая антикорреляция между областью группы солнечных пятен, из которой происходит выброс CME, с авроральными и геомагнитными реакциями [Lockwood, 2024]. Вдобавок, в больших кластерах солнечных пятен эруптивные вспышки подавляются [Cliver, 2022].

Геоэффективность подразумевает множество эффектов, которые вспышки и/или ICMEs могут иметь на Земле. Сила магнитной бури зависит как от гелиографических координат солнечного события, так и от ориентации магнитного поля в выбросе ICME относительно геомагнитного поля. Это не только геомагнитная буря, но и другие сложные процессы, включая радиационную бурю солнечных энергетических частиц (SEPs). До сих пор считается, что «все эти условия во время события Кэррингтона 1859 года совпали случайно» [Hudson, 2021]. Для научной концепции такой вывод является слабым.

4 В бифилярном магнитометре стрелка подвешена на двух нитях так, что ее движение ограничено. Он измеряет (абсолютную) горизонтальную интенсивность и вариации поля [Smart, 2006, стр. 345].

5 В рентгеновских лучах (см. далее о вспышке класса $\sim X45$).

Утверждается, что *SEPs* имеют сильную тенденцию ассоциироваться со вспышками солнечного белого света [Cliver, 2013]. Эта связь предполагает рентгеновское излучение электронов или излучение гамма-линий протонов (солнечные протонные события, *SPEs*, вероятно, представляют собой подмножество *SEPs*). Интенсивность *SPEs* определяется уровнями нитратных радикалов и радиоактивных элементов ^{14}C , ^{36}Cl и ^{10}Be , «образующихся в атмосфере Земли и проявляющихся в кольцах деревьев, кораллах и ледяных кернах» [Cliver, 2013].

Естественно, геомагнитная буря Кэррингтона должна была вызвать известные атмосферные эффекты во время солнечных вспышек (*SFEs*), относящихся к крупнейшим из когда-либо зарегистрированных в средних широтах [Bartels, 1937; Newton, 1943; Cliver, 2004]. Однако, событие такого масштаба не оставило заметного отпечатка нитратов в полярном льду, а также следа космогенных нуклидов бериллия ^{10}Be [Cliver, 2012; Wolff, 2012; Usoskin, 2012], хлора ^{36}Cl [Miyake, 2023] или углерода ^{14}C [Usoskin, 2012; Usitalo, 2024]. В этой связи явно спекулятивно выглядит утверждение [Cliver, 2013], что «хотя нет прямых доказательств событий *SEPs* из-за низкой концентрации в ледяных кернах нитратных радикалов или космогенных изотопов (например, ^{10}Be), которые могли бы быть связаны с воздействием ICME на атмосферу Земли в августе–сентябре 1859 г., такое воздействие почти наверняка имело место». Извините, если нет доказательств связи, то почему воздействие ICME обязательно имело место? В то же время, связь азотных радикалов и космогенных изотопов со всем набором *SFE/SEP/SPE* в 1859 году отвергается в принципе [Wolff, 2012; Usoskin, 2012].

Один единственный ICME вряд ли вызовет последовательные магнитные бури с интервалом в 3–4 дня. Поэтому предположили, что шторм Кэррингтона мог быть одним из многих штормов в связи с несколькими ICME, исходящих из общего активного кластера солнечных пятен [Cliver, 2013; Hayakawa, 2018b]. Было заявлено [Smart, 2006], что отсутствие статистически значимого увеличения наблюдаемой концентрации космогенных нуклидов для 1859 года свидетельствует о множественных протонных выбросах и мягком спектре с преобладанием ударных волн.

Рассмотрим вариант множественных выбросов. Если несколько ICMEs «запускаются» из общей активной области на Солнце, то первый может быть замедлен в межпланетном пространстве из-за «сопротивления трассы». Так как первый очищает эту трассу («эффект снегоуборочной машины»), то последний ICME, покидая Солнце через несколько дней, может продвигаться почти без замедления и привести к экстремальному геомагнитному шторму [Hayakawa, 2019]. Однако, наличие лишь небольшой группы солнечных пятен на восточной стороне диска Солнца 25 августа 1859 года, не способно отвечать за магнитный шторм 28/29 августа, так она не была геоэффективной [Hayakawa, 2019]. Вместе с тем, один ICME способен отвечать за двухступенчатую бурю, если южный компонент ММП встроен как в оболочку, так и в магнитное облако в ICME [Tsurutani, 2003; Hayakawa, 2018b]. Поэтому пытались сравнивать событие Кэррингтона со сложной геомагнитной бурей 1989 года, длившейся приблизительно 24 часа. Но профиль *Dst* для шторма 1859 года показал, что событие Кэррингтона было вызвано простой инъекцией плазмы, и «нет никаких доказательств сложного шторма» [Tsurutani, 2003]. При этом, геомагнитная буря 28/29 августа 1859 года практически не уступала ($-Dst=673$ нТл)⁶ [Love, 2025] параметрам знаменитой бури 2 сентября ($-Dst=866$ нТл) [Love, 2024]. Вдобавок, о полярных сияниях в Северном полушарии сообщали чаще 28/29 августа, чем 2 сентября [Hayakawa, 2019]. За поверхностью Солнца перед событием Кэррингтона наблюдали известные астрономы – Секки, Каррингтон, Шваб – и другие. Ни источников геомагнитных бурь, ни следов кроше на магнитограммах до вспышки в белом свете 1 сентября 1859 года, выявлено не было [Neidig, 1983; Hayakawa, 2019]. Тем самым, можно усомниться в очередном постулировании, связанном с солнечной активностью: «чистке» межпланетного пространства предполагаемым ICME 27/28 августа 1859 года, что приписывают к прелюдии, приведшей к быстрой «доставке» следующего ICME и геомагнитному шторму 2 сентября 1859 года.

В обсерватории Колабы 2 сентября 1859 года геомагнитная *H*-компонента показала абсолютную скорость изменения ≥ 2436 нТл/ч [Love, 2024]. Максимальный профиль среднечасовой плотности был почти в 14 раз выше, чем аналогичные значения, наблюдавшиеся с тех пор [Hayakawa, 2019]. Однако, взятие почасовых вместо точечных средних значений на магнитограмме в Колабе дает серьезный разброс для *Dst*, с максимальным *H*-отклонением, равным (-850 нТл) вместо (-1600 нТл) [Siscoe, 2006]. Следовательно, максимум ($-Dst$) шторма события Кэррингтона неопределенный. К тому же, он выводился из наблюдений, сделанных в одной обсерватории⁷, что допускает сомнительность оценок [Akasofu, 2005; Love, 2006; Hayakawa, 2022].

Магнитные шторма на Земле коррелируют как с солнечными эжекциями – магнитными облаками, так и с кольцевыми токами (CIR – corotating interaction region), текущими в магнитосфере, тороидально вокруг Земли с центром в экваториальной плоскости на высотах ~ 10 – 60 тыс. км. Его изменения ослабляют геомагнитное поле

6 Максимальное отрицательное значение индекса *Dst* является общепринятой мерой интенсивности магнитной бури. Указанные данные приведены после удаления вариации *Sq* из измерений в спокойные дни.

7 Значение геомагнитного индекса *Dst*, который является косвенным показателем энергии в кольцевом токе во время шторма, рассчитывается как среднечасовое значение четырех магнитных обсерваторий средних широт.

и приводят к геомагнитным бурям. Кольцевой ток движется по часовой стрелке (если смотреть с Северного полюса), и переносится дрейфующими в противоположных направлениях электронами и ионами с энергией $\sim 1\text{--}200$ кэВ.

Долгое время наиболее вероятной считалась гипотеза магнитного облака ICME с южным компонентом поля $B_z \sim (-90$ нТл) внутри межпланетного магнитного облака, обеспечивающим пик (-1760 нТл) во время геомагнитной бури [Lakhina, 2012; Tsurutani, 2003; 2023]. Согласно этому подходу, поле ~ 90 нТл магнитного облака привело к максимальному межпланетному электрическому полю ~ 160 мВ/м. Отсюда, с учетом аврор на низких широтах и, соответственно, плазмапаузы на уровне $L=1.3$, было получено магнитосферное конвекционное электрическое поле ~ 20 мВ/м. При этом чрезвычайно быстрое восстановление магнитной бури постулируется как следствие нелинейных потерь кольцевого тока [Tsurutani, 2018].

Однако, если геомагнитная депрессия была вызвана кольцевым током [Tsurutani, 2003], то «для межпланетного электрического поля требуется $\geq 200\text{--}451$ мВ/м, что считается неправдоподобным» [Love, 2024]. Более того: «величина одновременного возмущения была намного больше на авроральных широтах; следовательно, изменение возникло в высоких широтах и не является полем кольцевого тока» [Akasofu, 1960, Fig. 3].

Поскольку депрессия в Бомбее также имела место на дневной стороне и длилась ~ 2 часов после начала шторма, и одновременно, вероятно, усилился западный авроральный электроджет (AEJ), предположили [Ohtani, 2022], что причиной бури мог быть отдаленный эффект в ответ на сильное южное магнитное поле внутри оболочки ICME системы выровненного по полю дневного клиновидного тока R-I (FAC), а не кольцевого тока. Но такой подход не согласуется с магнитогидродинамической (МГД) теорией [Kennel, 1985; Tsurutani, 2023]. Эта теория предсказывает сжатие магнитного поля оболочки быстрым ударом в 4 раза, что дает напряженность поля оболочки ~ 20 нТл (максимум ~ 40 нТл), явно недостаточной для бури 2 сентября 1859 года, а последующее 10-кратное усиление поля [Siscoe, 2006; Ohtani, 2022] не подтверждено в околоземных оболочках ICME («никакого значительного усиления не было отмечено вообще» [Tsurutani, 2023]). Короткое время между внезапным импульсом (SI+) и началом главной фазы бури подразумевает укороченную оболочку ICME [Tsurutani, 2023]. Поэтому «магнитные поля оболочки ICME исключаются как источник межпланетного электрического поля для магнитной бури Кэррингтона» [Tsurutani, 2003; 2023].

Предлагались дополнительные потенциальные причины: усиление кольцевого тока авроральной электроструей и т.д. Но против и кольцевого тока, и/или аврорального электроджета были выдвинуты дополнительные аргументы [Ohtani, 2022]:

«(а) последовательность *H*-депрессии отличалась от последовательности AEJ в том же секторе, что исключает инициирование депрессии локальным ионосферным током из-за электрического поля, проникающего из авроральной зоны в более низкие широты.

(b) депрессия длилась всего несколько часов, за которой последовала необъяснимая более продолжительная геомагнитная и авроральная активность 2–3 сентября 1859 года,

(c) на пике *H*-депрессии Колаба находилась на дневной стороне при $LT=11$ (UT+4,9); но AEJ обычно располагается ближе к полюсу в полуденном секторе и не интенсивен по сравнению с другими секторами; наблюдаемая зависимость $|MLat|$ предполагает, что кольцевой ток не был первичным источником наблюдаемой депрессии».

В результате, «идея того, что *H*-депрессия в Колабе была вызвана кольцевым током/AEJ и, следовательно, полем магнитного облака, исключается» [Ohtani, 2022].

Консенсус до сих пор не достигнут, и ничего более существенного предложено не было: «либо данные Колаба были затронуты системами магнитосферно-ионосферных токов в дополнение к кольцевому току, либо с данными Колаба может быть что-то не так» [Love, 2024].

2 сентября 1859 года горизонтальная *H*-компонента магнитного поля в обсерватории Бомбей показала слишком быстрое восстановление. Это удивило исследователей, так как эффект не отражал интенсивность кольцевого тока. Они были вынуждены допустить необычный процесс потерь из-за уникальности его природы [Hayakawa, 2018b], а то и просто отбросив наиболее экстремальное значение [Siscoe, 2006].

Для некоторых объяснений быстрой фазы восстановления магнитной бури в Колабе ключевым фактором является плотность солнечного ветра, которая обычно превалирует в оболочке ICME. Но аномальное увеличение плотности («плазменная пробка») [Li, 2006] подразумевает подавление *H*-компонента еще до прибытия самой оболочки [Tsurutani, 2018]. Еще одно объяснение [Keika, 2015] также предполагает резкое снижение плотности солнечного ветра на границе между оболочкой ICME и последующим магнитным облаком [Ohtani, 2022]. Противоречия налицо⁸.

8 Привлекалась также аналогия со сверхскоростным солнечным ветром 2012 года. Она явно неуместна, поскольку ничего похожего на характеристики события Кэррингтона не наблюдалось в 2012 году.

Вместе с тем, в потоке Андромедид, например, в 1885 году, наблюдалось стремительное уменьшение числа метеоров к концу их регистрации [Newton, 1886, p. 410]. В подобном случае магнитосфера способна быстро вернуться в исходное состояние. С другой стороны, кольцевой ток, хотя и исключается в качестве инициатора геомагнитной бури в Колабе, мог принимать участие в ее резком восстановлении. Непрерывный приток ионов с более высокой энергией требовал, соответственно, более длительного времени для распада кольцевого тока. Источником таких ионов могли быть, например, суббуревые инъекции, но в глубокой внутренней магнитосфере, где $L < 1.5$, они не известны [Hayakawa, 2018b]. [Hayakawa, 2022].

Однако, известно, что ионы комет тяжелее ионов солнечного ветра во много раз и, поэтому, плотность энергии кометарной плазмы на два порядка превосходит таковую в типичном солнечном ветре [Espley, 2015]. Следовательно, с данными Колаба «может быть всё так»; а широкие кометарные потоки способны охватывать всю Землю, включая, обсерваторию в Бомбее 2 сентября 1859 года, сначала с ночной стороны, а затем и с дневной.

1.2.2. КОМЕТЫ ПОДАВЛЯЮТ ПЛАНЕТАРНЫЕ МАГНИТОСФЕРЫ

Как уже указывалось, согласно последним оценкам [Tsurutani, 2023], требуемый источник межпланетного электрического поля, ответственный за магнитную бурю 2 сентября 1859 года, мог бы обладать магнитным полем ~ 90 нТл. В связи с предполагаемым участием потока фрагментов кометы 3D/Биэла в событии Кэррингтона есть смысл провести аналогии с известными данными для других комет. Например, известно, что у кометы 1P/Галлея зарегистрировали магнитное поле ионов ~ 80 нТл [Riedler, 1986], что почти достигает требуемого. Совсем недавно, 3 июля 2015 года, беспрецедентное увеличение магнитного поля до **300 нТл** было измерено космическим аппаратом «Розетта» у кометы 67P/Чурюмова–Герасименко (далее — 67P) [Goetz, 2019]. Накопленная магнитная энергия в 6 раз превосходила обычную внутри комы кометы 67P⁹. С учетом вероятного железо-никелевого ядра кометы 3D/Биэла, ее магнитное поле могло быть еще больше. Но и отмеченных полей достаточно, чтобы объяснить изменения 2 сентября 1859 года горизонтальной H -составляющей и в Бомбее, и на геомагнитной широте Рима.

Поведение геомагнитного поля 1–2 сентября 1859 года было похоже на изменения 28–29 августа [Stewart, 1861, p. 425]. Во время первой сильной геомагнитной бури 28/29 августа, как и во время следующей 2 сентября, на магнитограммах в Лондоне было отмечено три периода колебаний [Stewart, 1861, p. 425]:

(1) от полуминуты до ~ 4 –5 минут; (2) ~ 40 –50 минут; (3) ~ 6 часов.

- (1) Первоначальные внезапные возмущения длились ~ 3 минут, а затем более плавно менялись еще ~ 7 минут. После этого, т.е., через 10 минут, их направление изменилось на противоположное. Такие низкочастотные колебания обычно относят к Pc5 пульсациям с периодом до 10 минут в связи с геомагнитными бурями [Jacobs, 1964]. Но и типичные периоды доминирующих волн кометы 1P/Галлея в 1986 году составляли ~ 2 –6 минут, а 3-минутный период пульсаций был вызван тепловыми ионами из-за изменения их заряда и фотоионизации. Эти колебания были инициированы кислородно-водородными радикалами, которые закручивались по спирали вокруг линий магнитного поля и уходили далеко от ядра [Mukai, 1986].
- (2) Период, равный 40–50 минутам, во время события Кэррингтона подтверждается описанием полярного сияния в ночь на 29 августа 1859 года, когда инспектор телеграфной службы Северной железной дороги в Нуаэль-сюр-Мер сообщил, что заметил довольно яркий белый свет в небе, который затем увеличивался по интенсивности к горизонту. Этот беловатый свет, ознаменовавший начало полярного сияния, продолжался около трех четвертей часа, т.е., около 45 минут [AUC, 1864, p. 352]. Запаздывание ~ 45 -мин могло быть связано и с задержкой возрастания ионосферных токов из-за разворота межпланетного магнитного поля к югу при переброске магнитных силовых линий с дневной стороны в хвост земной магнитосферы. Такой 45-минутный эффект был установлен, например, во время экспериментов со спутниками «Кластеры» в 2001 году. Но, как уже упоминалось о прохождении метеоров: «как будто начинало светать»; и нижняя часть «кругом по горизонту была подпоясана бледным беловатым облаком» [Святский, 1922].
- (3) «Однако главной особенностью возмущений во время геомагнитных бурь 28/29 августа и 2 сентября

9 На уровне гипотезы авторы предположили триггером эффекта коротирующую область CIR, что привело к сжатию кометной плазмы. Но более вероятно, на мой взгляд, накопление энергии за счет амбиполярного поля внутри кометы [Stephenson, 2021].

1859 года был период в 6 часов, что наиболее отчетливо видно на кривых горизонтальной и вертикальной составляющих. В течение первых 3 часов эти два элемента в Кью уменьшались, а в течение следующих 3 часов они увеличивались, пока примерно через 6 часов они снова не достигли своих нормальных значений» [Stewart, 1861, p. 429].

Такое поведение точно согласуется с прохождением потока Андромедид, зарегистрированного 27 ноября 1885 года, когда «в течение первых 3 часов наблюдалось увеличение числа метеоров, а после пика их число уменьшалось в течение следующих 3 часов, так что в течение 6 часов прошла основная часть потока» [Newton, 1886, p. 425].

Тем самым, зависимость геомагнитных компонент от Андромедид, в случае их присутствия во время события Кэррингтона 1859 года, должна была иметь аналогичный инверсионный характер дважды, 28/29 августа и 2 сентября 1859 года, что коррелирует или с двумя вторичными кометами «А» и «В» 3D/Биэла, или с разорванным потоком Андромедид. Другими словами, в течение первых 3 часов увеличение потока кометарных фрагментов/метеоров должно было уменьшить вертикальную и горизонтальную структуры геомагнитного поля, а в течение следующих 3 часов, когда поток уменьшился, обе геомагнитные компоненты возвращались к нормальным значениям.

Можно предполагать механизмы влияния в широком диапазоне: например, сжатие магнитосферы Земли ударными волнами/джетами кометарных фрагментов и т. д. Однако, если такой 3-часовой график был характерен для Андромедид 27 ноября 1885 года, то для ICMEs, в разных вспышках от неодинаковых пятен, дважды, 28/29 августа и 2 сентября 1859 года, он мог произойти, опять же, только случайно.

Метеорные потоки возникают из-за комет, а точнее, из-за их фрагментации, которая, в том числе, проявляется в джетах. В 1986 году вокруг кометы 1P/Галлея наблюдались три долгоживущих джета. Интересно, что 6-час. период на магнитограммах 1859 года позволяет сравнить его с наблюдением в 1986 году в ходе эксперимента «TUNDE-M» квазипериодических 4-час. потоков электронов, связанных с ядром 1P/Галлея [Somogyi, 1986]. Понятно, что периоды джетов для ядер разных комет, 3D/Биэла и 1P/Галлея, не обязаны совпадать. Однако сам факт такой периодичности в разных условиях весьма красноречив. Поэтому, в 1859 году записи на магнитограммах могли быть связаны с возмущениями земной магнитосферы/атмосферы как двумя вторичными кометами «А» и «В», каждая из которых имела несколько джетов, так и метеорами Андромедид. Высказывалось предположение, что комета «А» могла инициировать поток Андромедид в 1885 году [Jenniskens, 2007]. Вероятно, комета «А» могла быть ответственной и за геомагнитную бурю 2 сентября 1859 года, т.е., она не «спала» во время события Кэррингтона, как предполагал П. Дженнискенс, а «участвовала», самостоятельно, или совместно с кометой «В» в геомагнитных бурях события Кэррингтона.

Биполярные колебания *D*-компонента склонения (т.е., отклонения от истинного севера) в Риме, С. Петербурге и Нерчинске в 1859 году также оказались особенно сильными и не объяснимы в рамках стандартной парадигмы солнечного генезиса события Кэррингтона [Hayakawa, 2019]. Но в этом отношении показательно, что в 1986 году космический зонд зарегистрировал симметричные колебания магнитного поля кометы 1P/Галлея, которые были связаны с ударными волнами. Аналогично, в 1859 году биполярные флуктуации склонения могли представлять колебательный процесс «входа-выхода» определенных геомагнитных линий¹⁰ из ударных волн, созданных или в магнитосфере вторичными кометами «А/В» 3D/Биэла, или Андромедами уже в атмосфере. В плазменной среде кометы предполагается область фиксированной структуры высокой плотности [Espley, 2015], которая могла бы перемещаться вперед и назад в магнитосфере Земли при ее пересечении.

Центр полярного сияния 2 сентября 1859 года не всегда совпадал с астрономическим меридианом. Например, в Риме он находился к северо-западу от меридиана [Secchi, 1859a, b], а в Афинах — на северо-северо-западе [Loomis, 1860a, p. 82]. Согласно публикации Х. Ньютона, во время метеорного потока Андромедид, который он наблюдал утром 25 ноября 1872 года, радиант относительно предыдущего дня стал ниже гаммы-Андромеды также на северо-западе [Newton, 1872]. Хотя три четверти метеоров пришли, по его оценкам, из окрестностей гаммы-Андромеды, остальная часть потока была смещена. Кроме того, в 1885 году наблюдатели утверждали, что часть метеоров происходила из сравнительно большого пространства на северо-западе гамма-Андромеды, хотя охватывала эту звезду в ее пределах [Newton, 1886, p. 420]. В 1859 году отклонение деклинометра в Риме было сильнее на 11' на запад, чем на восток. Полярное сияние также было ярче на западе по сравнению с востоком [Secchi, 1859a]. В обсерватории Кью западное склонение увеличилось на 13,2' [Stewart, 1861]. Аналогично, во время потока Андромедид в ноябре 1885 года наблюдаемый общий центр метеоров в атмосфере не был стационарным, а медленно дрейфовал на запад [Denning, 1885, p. 72].

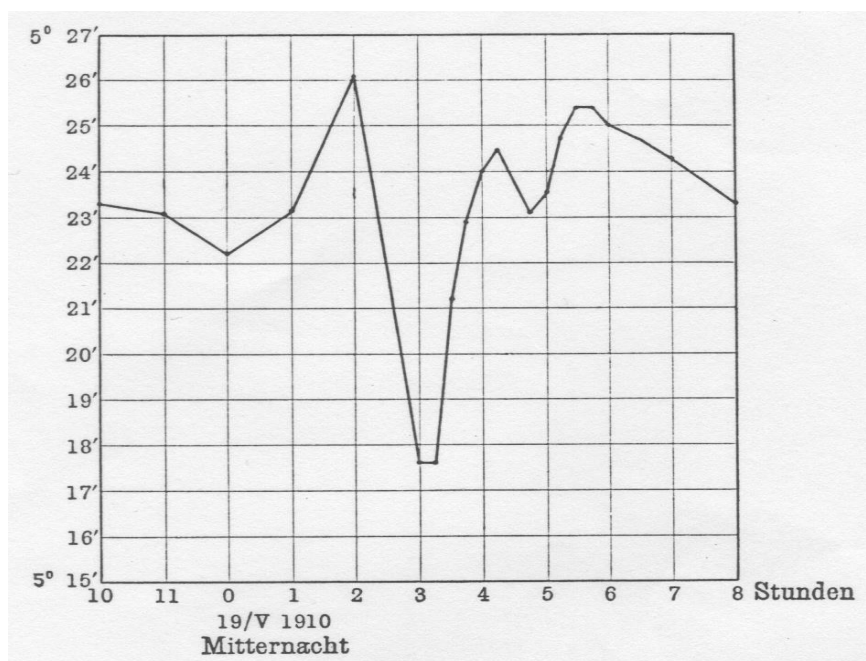
Одним из вариантов объяснения превалирования западного склонения можно предположить нахождение вторичной «В»-кометы к северо-западу от доминирующей вторичной «А»-кометы после распада кометы

10 То есть, «привязанных» к магнитометру обсерватории места измерения.

3D/Биэла в 1840-х годах. Если считать данные вторичные кометы источниками Андромедид, то их взаимное расположение могло приводить к смещению части общего метеорного потока к северо-западу во время события Кэррингтона. Астроном А. Секки сообщал, что в Риме 29 августа 1859 года геомагнитные характеристики усилились в 01:30 утра, когда его помощник наблюдал два огромных огня по обе стороны, справа (на востоке) и слева (на западе) от магнитного севера [Secchi, 1859b; Blake, 2020, Appendix B.1]. Широкий радиант потока метеоров Андромедид с небольшим уклоном к западу, т.е., попеременное воздействие с разных сторон на геомагнитные силовые линии рекуррентного прохождения «восточных» и «западных» метеоров, согласуется с этими наблюдениями.

Согласно электрической теории комет [Thornhill, 2006], высокоэнергетические и сфокусированные струи вырываются из комет и представляют собой электрические дуговые разряды в ядре. Электрическая энергия накапливается внутри [Steffenson, 2021], и комета может взорваться, как перенапряженный конденсатор в случае разрядов. Наблюдение кометы над заливом Чивитавеккья и огней по обе стороны от магнитного севера в Риме коррелирует с фактом максимального отклонения горизонтальной компоненты $H \approx 3000$ нТл во время события Кэррингтона на магнитограмме, зафиксированной именно в обсерватории Рима. Если максимальный метеорный поток, включая взрыв кометы, произошел над Римом, то «отголоски» этого могут объяснить и геомагнитные характеристики в Бомбее.

Согласно статье Э. Лумиса [Loomis, 1861b, p. 334], в Риме наибольшее отклонение магнитной стрелки зафиксировали 1 сентября в 7:20 утра по гёттингенскому времени, т.е., задолго до регистрации кроше в Англии в тот же день. Хотя считается, что это опечатка, и речь шла о 2 сентября [Shea, 2006, p. 385], данные, например, в С. Петербурге также свидетельствуют о диапазоне изменения характеристик униполярного магнитометра (измерявшего склонение) 1 сентября ($263'39''$) почти в 2,5 раза выше¹¹ относительно такового 2 сентября ($107'44''$) [Loomis, 1860a, p. 81].



Фиг. 3. Изменение магнитной деклинации во время прохождения хвоста кометы 19/Галлея вблизи Земли в мае 1910 года [Rudski, 1910, Meteorol. Z., 262].

Связь между геомагнитными возмущениями и активностью комет была замечена давно [Maris, 1929]. Можно вспомнить, что с 10 октября 1835 года по апрель 1836 года беспрецедентная активность кометы Галлея была также связана с геомагнитными возмущениями в течение всего периода наблюдения. Данный факт сложно отнести к солнечной активности. Скорее, он согласуется с теорией электрических комет [Thornhill, 2006]. В свою очередь, 28 ноября 1845 года комета 3D/Биэла наблюдалась как слабая туманность. Она появилась во время необычно спокойной магнитной погоды, но 3 декабря произошла сильная геомагнитная буря, единственное возмущение между предыдущим мартом и следующим августом [Maris, 1932]. 3 декабря 1845 года 3D/Биэла находилась в 1,5 астрономических единицах от Солнца и составляла угол в 30 градусов с Землей.

¹¹ На других российских магнитных станциях ситуация выглядела аналогично [Loomis, 1860a, pp. 80–82].

Когда в 1910 году вблизи Земли проходил только хвост кометы 1P/Галлея, на кривой геомагнитногоклонения были зафиксированы изменения, по форме сопоставимые с солнечными возмущениями во время геомагнитных бурь (Фиг. 3).

При столкновении кометы C/2013 A1 «Сайдинг Спринг» (Siding Spring) с Марсом в октябре 2014 года космический зонд MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) зарегистрировал на расстоянии около 140×10^3 км хаос в магнитосфере Марса, когда магнитное поле кометы подавило ее. «*Столкновение было сходно сильной солнечной буре, поскольку ионы кометы массивнее ионов солнечного ветра в 18 раз, что дает плотность энергии для плазмы кометы на два порядка больше обычной плотности энергии солнечного ветра*» [Espley, 2015]. При этом возле Марса комета «Сайдинг Спринг» была относительно неактивной, сравнимой с кометой Григга-Скьеллерупа (Grigg-Skjellerup). Возмущения регистрировались вблизи индуцированной границы магнитосферы, вызванной взаимодействием плазмы внешней комы кометы с Марсом. Одним из механизмов является неустойчивость Кельвина–Гельмгольца, возникающая из-за разницы скоростей плазмы кометы и планеты¹².

Известно, что плазма комы комет, не говоря уже о хвосте, может простираться более, чем на миллион километров. Например, в июле 1992 года вблизи кометы 26P/Григга-Скьеллерупа на расстоянии $\sim 440 \times 10^3$ км от ядра были обнаружены магнитные волны длиной ~ 1000 км [<https://sci.esa.int/s/ApjK4GW>].

Даже спустя несколько часов после ухода кометы «Сайдинг Спринг» от Марса нарушения его магнитосферы продолжали измеряться. Аналогично, возмущения во время события Кэррингтона 1859 года и после исторического шторма 2 сентября наблюдались до 7 сентября включительно, когда магнитное поле успокоилось [Stewart, 1861, p. 424].

Несинхронное вращение атмосферы Титана и его поверхности не объясняется ни солнечными тепловыми приливами, ни гравитационными приливами Сатурна [Wright, 2025]. Следовательно, оно может быть следствием столкновения с кометой/астероидом в прошлом. Аналогично, несинхронное вращение атмосферы и твердой поверхности наблюдается на Венере. Вероятно, во Вселенной летающих камней столкновения — скорее закономерность, чем наоборот.

В итоге, ожидаемая встреча с фрагментами кометы 3D/Биэла с большей вероятностью могла вызвать длинную серию геомагнитных возмущений с 26 августа по 7 сентября 1859 года, чем магнитные облака корональных выбросов массы, как предполагает современная парадигма, базирующаяся на наборе случайных совпадений.

1.3. ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ СОБЫТИЯ КЭРРИНГТОНА

1.3.1. ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ

Кроме геомагнитных возмущений, еще одним из ключевых аспектов события Кэррингтона являются аномальные аворы. С точки зрения солнечного генезиса существуют нижеследующие противоречивые мнения и нерешенные вопросы.

1. Низкоширотность и цвет авор. Было отмечено, что появление лучей с беловатым, красным, фиолетовым и другими цветами (на всех длинах волн) могло быть результатом листовидной (sheet-like) структуры авор; но ее образование в низких широтах с преобладанием красного цвета является проблемой [Nayaakawa, 2018b–2023].

Кометарная гипотеза справляется с ней: красный и белый, как и остальные цвета, характерны для пылевых хвостов и метеоров (см. далее).

2. Аномальная яркость соответствовала Международному коэффициенту IV класса (IBC) [Chamberlain, 1961], при котором общая освещенность Земли равна освещенности полной Луны [Loomis, 1860b, p. 346]. «*Столь яркие аворы с тех пор не регистрировались современными научными приборами в низких широтах*» [Nayaakawa, 2018b]; хотя, добавлю, ICME довольно часто «посещают» Землю.

Если лучи вызывались локализованным усилением выпадения электронов с низкой энергией, что необычно для низких широт, то проблемными явились бы процессы во внутренней ($L < 1,5$) магнитосфере. «*Если аворы, в том числе и белесые, были вызваны выпадениями электронов с энергией выше ~ 1 кэВ, то их происхождение просто непонятно*» [Nayaakawa, 2018b].

12 Нестабильности силовых линий геополя также характерны и для магнитопаузы на Земле. На неустойчивостях Кельвина–Гельмгольца запасается энергия и происходит разогрев плазмы, которая при пересоединении выделяется на ночной стороне.

В противовес непонятному при использовании классических подходов происхождению аврор события Кэррингтона, миссия «Deep Impact» к комете Темпель после удара по ней обнаружила сильное увеличение яркости из-за рассеянного солнечного света на выброшенной пыли [Thornhill, 2006]. Аналогично, за аномально высокую яркость аврор в 1859 году способно отвечать рассеяние на кометарной пыли, оказавшейся в атмосфере Земли.

3. Установлено, что в то время как кольцевой ток вызывается захваченными ионами в магнитосфере, то авроральные электроджеты — выпадениями частиц и ионосферной проводимостью.

Отрицательный сдвиг H -компоненты во время события Кэррингтона мог быть вызван текущим на запад током Холла, связанным с токовой системой DP2, то есть, ионосферной конвекцией, но причина выпадения электронов во время события Кэррингтона остается открытым вопросом для парадигмы его солнечного происхождения [Hayakawa, 2018b]: *«Ожидается, что возник чрезвычайно плотный слой ионной плазмы (или кольцевой ток) и/или чрезвычайно плотная плазмосферная электронная популяция. Эта проблема еще не решена»* [Hayakawa, 2018b; 2022].

В данном аспекте следует отметить, что у комет регистрировали частицы с энергией более 1 кэВ [Ibadov, 2010], а плотную ионно-электронную популяцию можно с успехом относить к кометной [Espley, 2015].

Модель в координатах «широта-долгота» показала, что с развитием в магнитосфере вихревых токов ионосферные течения преобладают в направлении «север-юг» [Белаховский, 2020]. Напомню о вихревых токах в кометах, которые из-за пинч-эффекта приводят к кометным нитям в хвостах [Thornhill, 2006; Ператт, 2015]. Величина магнитосферных течений во время геомагнитного шторма в Колабе 2 сентября 1859 года не объясняется ни магнитными облаками, ни оболочками ICME (пункт 1.2.1); однако, тяжелые кометные ионы и джеты преодолевают эту проблему.

4. Известно, что система полярных токов расширяется к экватору во время сильных геомагнитных событий, что повлекло за собой следующие утверждения.

4.1. *«Экваториальное расширение аврорального овала согласуется со временем магнитных возмущений»* [Hayakawa, 2018b; 2022].

4.2. *«Сообщения о полярных сияниях, совпавшие с авроральным овалом над головой, свидетельствуют, что телеграфные системы подвергались воздействию интерферирующих геоэлектрических полей»* [Love, 2024a].

Опровержения.

- *«Над холмами возвышалась огромная светящаяся арка; при этом игла склонения оставалась неподвижной»* [AUC2, p. 331].
- Например, в Париже 2 сентября с 4 до 8 часов утра стрелки магнитного телеграфа находились в постоянном движении, как будто по проводам проходил постоянный ток, но никаких полярных сияний в тот день не наблюдалось [Comptes Rendus, 1860, с. 365; Shea, 2006, с. 341]. Поэтому сомнительно, что телеграфные системы подвергались воздействию геоэлектрических полей в связи с авроральным овалом над головой.
- Авроральный овал имеет широтное распространение и согласуется с электрическими токами в ионосфере. Поэтому самым сильным возражением против инициирования аврор в связи с экваториальным распространением аврорального овала являются эффекты в длинных телеграфных линиях, имеющих меридиональное направление, северное или южное, а не широтное, восточное или западное. Например, в Европе возмущения были наиболее сильными и длились дольше на линиях из Цюриха в Берн, Фрибург и Лозанну, из Штуттгарта в Тюбинген и Карлсруе, из Парижа в Бордо, Марсель и севернее [Comptes Rendus, 1860, p. 473; Smart, 2006, pp. 340–343]. Канадский геофизик Д. Ботелер первым удивился возгоранию телеграфных линий от Бостона до Портленда на мысе Элизабет в США не только в широтном, но и в меридиональном направлении [Moro, 2024], поскольку они происходили ортогонально авроральному электроджету. Д. Ботелер решил отнести это явление к береговому эффекту между Бостоном и Портлендом. Но отмеченные в Европе линии не были связаны морскими побережьями и, соответственно, береговыми эффектами.
- 5. Расширение овала аврор до зенита в Риме может объяснять сильное магнитное возмущение и быстрые изменения его интенсивности, но отклонение горизонтальной напряженности $H \sim 3000$ нТл на геомагнитной широте Рима не имеет аналогов в современности, так как наблюдается только на более

высоких магнитных широтах [Hayakawa, 2019].

Действительно, M_{lat} (магнитная широта) в Риме, равная $38,6^\circ$ в 1859 году, являлась чрезвычайно низкой для наблюдения АЕJ даже при стандартах экстремальных штормов [Blake, 2020, Фиг. 5]. Полярные сияния обычно происходят в авроральном овале с центром на $67^\circ(\pm 6^\circ)$ широты в обоих полушариях.

Вдобавок: «Маловероятно, что овал полярных сияний опустился до низких широт» [Akasofu, 2005].

Данные замечания я могу усилить тем, что в результате крупных солнечных протонных событий концентрация озона в полярной атмосфере Земли значительно снижается (в связи с ионизацией ее протонами и, соответственно, созданием вторичных электронов, диссоциирующих молекулы атмосферы). Конкретные задокументированные события относятся, например, к 1972, 1989, 1995 и 2000 годам [Smart, 2006]. Однако: «*В Версале проводились регулярные наблюдения за количеством озона в атмосфере, и во время аврор 29 августа и 2 сентября количество озона было значительно выше обычного. В таблице 4.3 показаны суммы озона*» [Shea, 2006, p. 341].

Если бы случилось столь серьезное расширение аврорального овала к низким широтам, то энергичные частицы вдоль силовых магнитных линий бомбардировали бы атмосферу также, как в высоких широтах и, следовательно, авроральное свечение вызывало бы уменьшение озона во время события Кэррингтона. Факты упрямая вещь: зарегистрированное повышение озона говорит против солнечных протонных следов на Земле, но подтверждает проникновение и разряды метеоров/частиц кометарного пылевого/ионного хвоста вплоть до низких широт.

6. Изолированность аврор 2–3 сентября в Ла-Юньон и Сан-Сальвадоре (Сальвадор) от других полярных сияний на низких широтах попытались связать с поворотом всей (то есть, в целом) магнитосферы Земли на 20 градусов [Hayakawa, 2018b].

На мой взгляд, такой поворот является не реалистичным. Сторонники солнечной парадигмы события Кэррингтона оказались в тупике при объяснении изолированных низкоширотных аврор и были вынуждены постулировать, вдобавок к двум ICME, еще и новый тип полярных сияний: не диффузный, и не дискретный, а так называемый, «низкоширотный» [Hayakawa, 2020], т.е., ad hoc.

Однако, существуют фрагментированные рои метеорных облаков, разнесенные на размеры всей Земли, и она проходит их с зазорами из-за их неоднородности. В разреженных потоках расстояние между метеорами достигает миллиона километров, но их общность доказана. Это касается и метеоритов. Например, 30 января 1868 года установили одинаковый состав метеоритов упавших в Польше (возле Пултуска), Мадагаскаре (в Носи-Бе) и Италии (в Леричи) [Астапович, 1958, с. 359].

Известно, что толщина шлейфа Андромедид в 1885 году составляла 643737 км [Kronk, 1999]), его плотная часть имела ширину до ~ 100 тыс. миль (160934 км), а весь поток был равен ~ 200 тыс. миль [Newton, 1886, p. 414]. Радиант Андромедид в 1885 году занимал широкую область, а отклонение от зенита составляло до 10° . Аналогично, и в 1859 году метеоры могли достичь любую точку Земли, включая низкоширотные. Как тогда утверждалось: «*в случае ясного неба, отдельные треки авроры были бы видны вплоть до экватора*» [Loomis, 1861b, p. 320]. Вот их, вероятно, и видели 2–3 сентября в Ла-Юньон и Сан-Сальвадоре (Сальвадор). При этом, авроры были **диффузными**, что соответствует наблюдениям очевидцев события Кэррингтона [Green, 2006, p. 10].

Исключение АЕJ ограничивает известные причины аномальных полярных сияний, в том числе в низких широтах, несмотря на одновременные возмущения в телеграфных проводах. Между тем, полярные сияния наблюдались на ионосферных высотах (50–1000 км [Loomis, 1861b]¹³), что, на мой взгляд, предполагает, что их происхождение связано либо с магнитосферными процессами, вызванными вторичными фрагментами кометы Биелы, либо со взрывами метеоров.

Авроры в связи с метеорными потоками известны давно [Астапович, 1958, с. 428, 430]. На такой эффект свечения неба указывал, например, А. Гумбольд в ноябре 1799 года. В XIX веке адмирал Ф. Врангель также утверждал, что неоднократно наблюдал как метеоры инициируют столбы полярного сияния [Wrangel, 1827; Врангель, 1841]. О прохождении метеоров в ноябре 1832 года в Курской губернии сообщалось, что как будто со всех сторон начинало светать; и нижняя часть кругом по горизонту была подпоясана бледным беловатым облаком с отдельными ярко-багряными местами [Святский, 1922]. Аналогичное явление наблюдалось затем в Англии как в 1933 году, так и в 1938 году [Астапович, 1958, с. 430]. Поэтому неудивительно, что в 1859 году в

13 Согласно современным оценкам [Hayakawa, 2018b], верхняя граница аврор во время события Кэррингтона располагалась на высоте ~ 400 км. В случае проникновения метеоров на низкие высоты, около 50 км, их могли увидеть с земной поверхности только в ограниченном секторе из-за параллакса.

округе Генри, штат Индиана (40° с. ш., 85°15' з. д.), краснота исчезла, оставив облако с яркой белой бахромой у северного горизонта [Shea, p. 357].

Существует множество сообщений о белом цвете полярных сияний во время события Кэррингтона, включенные в статью Э. Лумиса [Loomis, 1860b]:

- «28 августа лучи чистого белого света поднялись со всех концов горизонта и встретились в общем фокусе...; • из центра сияния начал излучаться яркий белый свет...; • веерообразный вид многочисленных лучей был белым...; • 1 сентября была аврора с красными и белыми лентами, покрывающими северную половину неба...; • 3 сентября была еще одна аврора, состоящая в основном из белых стримеров».

Только в одной этой статье белый цвет аврор упоминался в общей сложности 53 раза!

Симптоматичны описания начальной и завершающей стадий аврор. Их связывали с белым цветом, который, как и красный, во время события Кэррингтона был одним из основных.

- (a) В Ст. Валери, Франция, согласно публикации Х. Лартига [Comptes Rendus, 1860, p. 367], 29 августа в 2 часа ночи красный свет становился слабее и полностью исчез, а белый свет, отмечавший начало явления, продолжался на 45 мин. дольше. Аналогичное сообщение, как уже говорилось, поступило и из Нуаэль-сюр-Мер, где беловатый свет, ознаменовавший начало полярного сияния, продолжался около 45 мин. [AUC, 1864, p. 352].
- (b) В штате Флорида 28 августа в 1 час ночи малиновый цвет полностью исчез, и ничего не осталось, кроме веерообразного вида многочисленных расходящихся лучей белого света [Loomis, 1860b, p. 358].
- (c) Согласно сообщению капитана Б. Станарда, в Кливленде, штат Огайо, в 21:30 всё исчезло, за исключением постоянного очень яркого белого света на севере [Shea, p. 249].
- (d) В Сент-Луисе, штат Миссури, 28 августа в 21 ч. северное небо было заполнено белым светом; но ближе к северному горизонту оно было голубым [Loomis, 1860b, p. 346; Shea, 2006, p. 357]. Следовательно, белый цвет не возник благодаря суммированию цветов аврор в атмосфере на разных длинах волн, но был привнесен в готовом виде извне (т. е., относился, как и красный, к кометному).

Согласно «*Вашигтон Дейли Нэшил Интеллидженсер*» от 31 августа 1859 года, наблюдались необычные полярные сияния чистой молочной белизны [Green, 2006; Cardenas, 2016]. У кометы Понса, например, в январе 1884 года самая яркая внутренняя зона также была примечательной благодаря своему молочному виду [Chambers, 1909, p. 97].

Однако белые полярные сияния многочисленны (вероятность 98%) в периоды высокого уровня радиоактивного изотопа углерода ^{14}C , образовавшегося в атмосфере [Abbot, 2016], с его последующим осаждением и накоплением. Считается, что уровень ^{14}C является также индикатором поступления солнечных энергетических частиц (*SEP*) на Землю. Поэтому парадоксальность в контексте события Кэррингтона заключается в том, что в отложениях 1859 года не было обнаружено высокого уровня этого изотопа [Uoskin, 2012; Miyake, 2023; Uusitalo, 2024]. Данный факт зачеркивает постулированное воздействие (флюенс) более 30 МэВ (F30) [Cliver, 2013] солнечных энергетических частиц в связи с предполагаемой мультиактивной вспышкой, сопровождаемой ударной волной. Тогда, почему были многочисленные проявления (лучи, полосы и т. д.) полярных сияний с преобладанием белого цвета? Поскольку *SEP* не были подтверждены не только уровнем ^{14}C , но и другими космогенными изотопами, могли ли вторичные кометы 3D/Биэла и/или метеоры Андромедид быть ответственны за цвета, включая белый, полярных сияний во время события Кэррингтона?

Сегодня известно, что газовые хвосты комет, содержащие ионы воды, моно/диоксид углерода и циана, за счет флуоресценции (при переизлучении поглощенного солнечного света) имеют голубоватый цвет, а рассеивающие солнечный свет пылевые — разного цвета, но как правило, бело-желтые¹⁴. «Уже давно отмечалось, что такие оттенки, как «желтоватый», или «румяный», не являются беспрецедентными как в отношении ядер, так и хвостов комет. Однако, у большинства комет преобладает белый или серебристо-серый оттенок» [Chambers, 1909, p. 8]. Примерами в прошлом являлись кометы 1769, 1811 и 1843 годов, комета Донати 1858 года, комета Коджиа, комета 1874 года и комета Фабри 1886 года. Совсем недавно комета Хейла-Боппа (Hale-Bopp) демонстрировала пылевой хвост белого цвета, но обладала еще и желтым (натриевым) хвостом. В свою очередь, на фоне холодных синих звезд комета «Сайдинг Спринг», излучавшая в инфракрасном диапазоне, выглядела красной, включая ее пылевой хвост [[Comets Cool Cosmos](#)].

14 Согласно, например, <https://www.britannica.com/science/comet-astronomy/The-modern-era>

Поскольку метеоры отделяются в основном от кометных хвостов, то их цвет с большой вероятностью, соответствует цветам хвостов родительских комет. Так, Андромедиды красные при магнитуде их яркости, равной (+3), и белые при магнитуде яркости, равной (–3). Кроме того, свечение термически возбужденных атомов приводит к тому, что различные исходные цвета метеоров становятся белыми в течение нескольких секунд [Астапович, 1958, с. 455]. Указывая цвета метеоров потока Андромедид в ноябре 1885 года, отдельные наблюдатели отмечали их белыми или красными [Turman, 1885, p. 80], а другие – что большие метеоры Андромедид в ноябре 1885 года были белые с длинными красно-желтыми или желтыми треками [Carpon, 1885; Denning, 1905, p. 853; Kronk, 1999], размерами и яркостью, превосходя в 3–4 раза видимый на небосводе Юпитер; метеоры средних размеров также были белыми, но более мелкие часто проявлялись как голубые и желтые, или желто-красные [Carpon, 1885, p. 82].

Если в 1859 году метеоры обладали ферромагнитным проводящим составом, то за счет перпендикулярной составляющей при пересечении геомагнитных силовых линий в них возникали индукционно-вихревые токи Фуко. Это приводило к нагреву внешних оболочек больше, чем внутренностей, т.е., к скин-эффекту, последовательному отрыву этих оболочек и, соответственно, к аврорам. Сценарий, вероятно, был аналогичен столкновению фрагментов кометы Шумейкеров–Леви с Юпитером в 1994 году [Churymov, 1994]: высокоскоростное вхождение в магнитосферу/атмосферу → нагрев/взрывы → превращение вещества в плазму → излучение ионизированных атомов → авроры.

Для столкновения 1994 года интенсивность ударно-волнового излучения одного фрагмента кометы Шумейкеров–Леви составляла $\sim 10^{24}$ эрг/сек ($\sim 10^{17}$ Дж/сек) [Churymov, 1994, p. 12]. В свою очередь, в земной атмосфере мощность метеоров оценивалась $\sim 18 \times 10^{17}$ эрг/сек [Астапович, 1958, с. 425]. Данные величины достаточны для объяснения яркости аврор в 1859 году, равной $\sim 0,2$ люкс, то есть, освещенности поверхности в полнолуние. Такая освещенность соответствует светимости большого метеора $\sim 40 \times 10^9$ кандел на расстоянии 450 км [Астапович, 1958, с. 274]. Во время события Кэррингтона, как уже было сказано, взрыв метеора в Австралии видели и в Маунт Гамби, и в Аделаиде, разделенными дистанцией в 390 км. Хорошо известно, что большие метеоры часто наблюдались как равные Луне по яркости, так и превосходящие ее. Например, относительно видимой яркости большого метеора 1718 года Э. Галлей сообщал, что полная Луна стала невидимой, и все звёзды на небе исчезли, как если бы это было дневное время.

Внутренние размеры метеоров связаны с термической ионизацией как воздуха, так и вещества самого метеора, и последующей рекомбинацией ионов, что приводит к свечению и аврорам. Так, было подсчитано [Астапович, 1958, с. 435], что при скорости ~ 40 км/сек метеорное тело в 1 г за 0,5 сек способно в атмосфере ионизировать коротковолновым излучением 20-км цилиндр диаметром 0,5 км.

Наконец, мы добрались до одного из решающих моментов. Максимальный диаметр луча («пучка») авроры во время события Кэррингтона в 1859 году равнялся ~ 20 миль ($\sim 32,2$ км) [Loomis, 1861b, p. 322]¹⁵. В 1885 году каждый метеороид Андромедид в самой плотной части потока, где и когда Земля его охватывала, занимал область, соответствующую кубу с ребром, также равным ~ 20 миль ($\sim 32,8$ км) [Newton, 1886, p. 425]. Позднее, в зависимости от яркости обычного метеора, эмпирически была установлена длина его пути, равная ~ 33 км [Астапович, 1958, § 151, с. 239]. Однако, согласно современным данным [Baranoski, 2003, p. 47], стандартный диаметр луча («пучка») аврор при попадании ICME по Земле может достигать максимально лишь ~ 1 км.

Эти аргументы являются достаточным основанием для отнесения аврор во время события Кэррингтона к Андромеидам.

1.3.2. ДИФFUЗНЫЕ АВРОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОМЕТ

Когда в 1861 году Земля проходила через вещество/хвост кометы Теббутта, вечером 30 июня наблюдалось необычное фосфоресцирующее сияние, очень похожее на диффузную аврору [Chambers, 1909, p. 145].

28–29 августа и 2–3 сентября 1859 года многими очевидцами наблюдались диффузные, практически без структуры, авроры [Green, 2006, p. 10].

Диффузные авроры в обобщающей данные профессора Е. Люмиса статье [Shea, 2006], касающиеся только США, упоминаются 24 раза.

Можно привести несколько примеров.

- Из отчета самого Е. Люмиса следует, что 28 августа на юге тёмный сегмент был полным, а диффузное освещение над ним очень сильным; в 20:10 свет стал очень бледным и диффузным, особенно на севере.

¹⁵ Вероятно, включая его трек; см. Приложение А.

В 20:14 почти всё небо приобрело тусклый сланцевый цвет, который обычно характеризует тёмный сегмент у горизонта; но в 20:19 всё небо снова осветилось диффузными мазками соломенного цвета, склоняясь к магнитному зениту [Shea, 2006, p. 316].

- Профессор К. Лайман из Йельского колледжа сообщал, что 28 августа в Нью-Хейвене, США (41°18' с. ш.) вся северная четверть неба была покрыта диффузным, туманным светом [Shea, 2006, p. 319].
- Согласно наблюдениям в лагере Симеаму, Вашингтон (49° с. ш.), 28 августа в 20:00 диффузный свет без определенной формы покрывал также примерно четверть неба. 29 августа слабый диффузный свет был замечен на севере в 21:00 и сохранялся до полуночи. 30 августа подобный свет впервые был замечен в 20:00 [Shea, 2006, p. 346].

Согласно электрической теории комет [Thornhill, 2006], в них происходят диффузные электрические разряды.

В свою очередь, зонд «Розетта» выявил авроральную природу выбросов из комы кометы 67P. Полярное сияние, наблюдаемое в ее южном полушарии, было похоже на диффузное полярное сияние на Марсе на открытых драпированных силовых линиях поля. Однако на комете 67P электроны солнечного ветра ускорялись амбиполярным полем внутри кометы, тогда как на Марсе они ускоряются на Солнце. Следовательно, эти полярные сияния сохраняются на комете, тогда как на Марсе диффузное полярное сияние наблюдается только во время сильных солнечных событий [Stephenson, 2021].

Недавно моделирование электрического поля кометы 67P для одного из дней показало до 4 мВ/м, но расчеты велись и для 10 мВ/м на поверхности кометы [Lewis, 2024]. При этом не учитывалось изменение электронной температуры с кометоцентрическим расстоянием и магнитное поле (результаты справедливы только внутри диамагнитной полости). Отмеченные расчетные характеристики были близки к оценкам возможных электрополей, ответственных за авроры события Кэррингтона.

В принципе, особо яркий луч полярного сияния также способен вызвать быстрое изменение геомагнитного поля [Астапович, 1958, p. 463]. В свою очередь, в отношении метеора отдельные авторы допускали его максимальный электрический заряд $\sim 10^6$ кулон. Однако, мои расчеты показали, что такой величины недостаточно для объяснения нарушений геомагнитного поля во время события Кэррингтона.

Можно попытаться привлечь механизм усиления магнитного поля при сжатии магнитного потока во время природных взрывов [Сахаров, 1965]. Теоретические расчеты и лабораторные опыты показали достижение магнитных полей, равных 5×10^6 эрстед в объеме 100 см³, за счет этой, так называемой, магнитной кумуляции, до 40×10^3 нТл. Но для взрывов метеоров эта теория пока не получила дальнейшего развития. Однако, не только Андромедиды, но и вторичные кометы, после распада кометы 3D/Биэла оставались компактной группой на ее орбите и, как было уже показано, могли создать наблюдаемые во время события Кэррингтона аномально высокие магнитные поля.

Известно, что через четыре года после того, как комета Хейла-Боппа покинула внутреннюю часть Солнечной системы, она все еще была активна и демонстрировала кому, веерообразный пылевой хвост и ионный хвост — хотя была дальше от Солнца, чем Юпитер или Сатурн [Thornhill, 2006]. Электрическое поле, достаточное для того, чтобы вызвать электрический разряд на комете за орбитой Сатурна, должно иметь потенциал для отклонения горизонтальной составляющей геополя $H \sim 1500$ нТл в Бомбее и $H \sim 3000$ нТл на широте Рима.

Спектроскоп часто показывал, что свет комет не состоит в значительной степени из просто отраженного солнечного света [Chambers, 1909, p. 12]. Например, для кометы Морхауза была сделана двадцать одна спектрограмма между 28 октября и 2 декабря 1908 года, и ни на одной из них не было следов непрерывного спектра. Отраженный солнечный свет был мал по сравнению с собственным светом [Chambers, 1909, p. 188]. Собственный свет был характерен и комете Понса 1812 года, которая оказалась более яркой в 1883–1884 годах, чем можно было ожидать согласно теории. Аналогично, кометы Холмса 1892 года и Морхауза 1908 года претерпели колебания яркости, необъяснимые в рамках классических представлений о кометах [Chambers, 1909, p. 11].

Стандартная теория комет, подвергающихся только сублимации в результате солнечного нагрева, явно не достаточная: *«Не видно, чтобы средняя яркость кометы Энке при обычных обстоятельствах менялась с момента ее открытия; она возвращалась к Солнцу около 30 раз за столетие, но нет свидетельств к ее исчезновению»* [Chambers, 1909, p. 65].

Знаменитая сегодня комета Холмса неоднократно отличалась внезапными вспышками блеска. Они наблюдались уже в ноябре 1892 года во время ее открытия, а в октябре 2007 года 17P Холмса неожиданно стала ярче в миллион раз. Менее чем за сутки она выросла из небольшой кометы 17-й звездной величины до величины 2,5. К середине ноября 2007 года диаметр комы увеличился с 28 тыс. км до 7 млн. км, и она стала значительно больше

Солнца. При этом, ядро кометы Холмса имеет диаметр 3,4 км. Во время аномальной вспышки в 2007 году комета Холмса удалялась от Солнца и, следовательно, охлаждалась. Вероятно, происходили внезапные разряды плазмы — переход из режима темного тока к нормальному свечению, что позволило плазменной коме стать видимой [Goodspeed, 2011]. Различие между режимами — комбинация электрического напряжения и плотности тока внутри плазмы [Findlay, 2013].

Во время наблюдений комет неоднократно утверждалось об их мерцании сродни полярным сияниям. Следы некоторых больших комет вибрировали. Это относилось к хвостам комет 1618, 1769 и 1874 годов. Заметные признаки пульсаций были и у кометы Морхауза 1908 года. Вибрации начинались в голове и, казалось, проходили за несколько секунд по всей длине кометы [Chambers, 1909, p. 25; 125]. Х. Ньютон отмечал, что в 1872 году яркие светящиеся следы Андромедидов мерцали в течение нескольких секунд после исчезновения самих метеоров [Newton, 1872]. В этом отношении характерно, например, сообщение М. Мэтьюса из Рочестера (штат Нью-Йорк), что во время события Кэррингтона 3 сентября 1859 года белые стримеры полярного сияния также постоянно мерцали и танцевали [Shea, 2006]. Интересно, что в октябре 1835 года астрономы сравнивали внешний вид ядра кометы Галлея с потоком огня, и временами это пламя сцинтиллировало аналогично мерцаниям полярного сияния [Chambers, 1909, p. 115]. Отмеченные мерцания и вспышки можно отнести к плазменным разрядам, которые ведут себя нелинейно.

Напомню, что изменения магнитных характеристик во время события Кэррингтона не были одновременными [Secchi, 1859a]. Известно, что метеорные потоки могут быть неоднородно распределены в пространстве. Так, в разных обсерваториях пики спорадического метеорного потока в 1975 году не совпадали и приходились на 20–26 июня и 22–29 июня [Kaufmann, 1989]. Одним из решений этой неоднородности стала долговременная синхронизация орбит метеорного потока и Юпитера [Oberst, 1987]. Аналогично, геомагнитные бури, связанные с событием Кэррингтона 1859 года, могли быть вызваны потоком фрагментов кометы 3D/Биэла, распределенных из-за пролета вблизи Юпитера. В результате, геомагнитные бури события Кэррингтона длились ~ 13 дней, с 26 августа по 7 сентября 1859 года. Например, в компьютерных моделях [Jenniskens, 2007, p. 1043] ровно 13 дней также отводится на время «встречи» основного потока Андромедид с Землей. Почти столько же, т.е., ~ 14 дней, с 15 по 29 сентября 1852 года наблюдали вторичную комету «В» 3D/Биэла. В 1852 году вторичную комету «А» наблюдали в течение ~ 28 дней, но, что симптоматично, точно с 26 августа, с даты, совпадающей с началом геомагнитных бурь 26 августа 1859 года во время события Кэррингтона.

Расстояния между двумя частями расколотой кометы, как и их шлейфы, могли варьировать из-за возмущения при прохождении вблизи Юпитера и т.д. Однако, хорошо известно, что метеорные потоки практически не меняют интервал своего максимума за сравнительно короткий срок (в данном случае ~ 7 лет). Поэтому стабильный интервал в 13–14 дней, начиная с 26 августа, как наблюдения магнитных бурь в 1859 году, так и фрагментов 3D/Биэла в 1852 году, косвенно подтверждает участие этой кометы в событии Кэррингтона.

1.3.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ АРГУМЕНТЫ

1.3.3.1. ТЕМНАЯ ПОЛОСА ХВОСТОВ У КОМЕТ

Известно, что отдельные хвосты комет разделены посередине темной полосой. Такая заметная темная полоса была, например, у кометы Морхауза 18 ноября 1908 года [Chambers, 1909, pp. 25, 32].

Во время события Кэррингтона также неоднократно упоминалось о темной полосе.

- В Саг-Харборе, штат Нью-Йорк, на горизонте на юге появилась темная полоса, хорошо выраженная, но изредка разрываемая небольшими столбами света [Loomis, 1860b, p. 343].
- 1 сентября в штате Мичиган, США, под белым небом появилась темная полоса. Впоследствии темный пояс все еще оставался на южном горизонте, а свет продолжал распространяться по всему небу [Loomis, 1860b, p. 352; Shea, 2006, p. 358].
- В Нью-Йорке, согласно сообщению профессора О. Морриса, с вечера 1-го до рассвета 2-го сентября во время авроры наблюдалась темная полоса к югу, затем – еще одна темная полоса, увенчанная белой полосой, из которой лучи яркого света шли вдоль верхнего края [Loomis, 1860b, p. 353].
- В штате Иллинойс, США, на юге наблюдалась яркая полоса с востока на запад, с темной полосой, похожей на облако под ней [Loomis E., 1860b, p. 342].
- Из Южного полушария поступали аналогичные сообщения: «*Над холмами тянулась широкая темная*

полоса, над которой возвышалась огромная светящаяся арка» [AUC2, p. 331].

1.3.3.2. ПЫЛЕВЫЕ КОМЕТАРНЫЕ ОБЛАКА

Интересно, что газета «Хобарт Таун Меркурий» в Тасмании сообщала, что геомагнитная буря во время события Кэррингтона 1859 года произвела эффект потоков туманного вещества, похожего на звездную пыль, падающую из апекса [Lasar, 2012]. Однако пыль плохо ассоциируется с корональными выбросами плазмы, но хорошо соответствует как кометным фрагментам, так и известным в метеоритике, так называемым, туманным метеорам [Астапович, 1958, с. 357].

Например, прохождение метеорного потока 22–26 июня 1975 года совпало с пиками проводимости *E*-слоя ионосферы в Бразилии, чего не наблюдалось в течение 21 года [Duennebie, 1976]. Их амплитуда была сопоставима с амплитудой α -Лаймана водородной линии солнечной дневной ионизации. Масса всего потока составила $\sim 10^{11}$ кг, а его отдельные фрагменты достигали $\sim 2 \times 10^3$ кг и хорошо моделировались пылевыми шарами. За 10 дней выпало $\sim 2,4 \times 10^4$ кг метеороидного вещества, что повлияло на ионизацию, сопоставимую с солнечной вспышкой.

Можно перечислить сообщения о наблюдении темных облаков во время события Кэррингтона.

- В Берлингтоне (Нью-Джерси, США) видели значительное количество черных облаков, движущихся на юг [Shea, 2006, p. 334].
- В Генри, штат Индиана, сообщали о появлении на северном горизонте темного облака, украшенного огромными полосами белого, ослепительного света [Loomis E., 1860b, p. 345].
- Согласно наблюдениям в Ла-Юньон в Сальвадоре, опубликованным в «Газета дель Эстадо», в ночь на 2 сентября плотное черное облако поднялось на востоке и начало распространяться [Shea, 2006, p. 337].
- В Джексонвилле, Флорида, 28 августа около 21 час. темное облако наблюдалось с северо-запада на северо-восток; и аврора была прекрасна вдоль края этого облака [Loomis E., 1860b, p. 348].
- В Нью-Йорке на юге и юго-западе лежало темное облако, поднимающееся над горизонтом [Loomis, 1860b, p. 354].
- В Юнион-Хилл ($30^\circ 11'$ с. ш., $96^\circ 31'$ з. д.), в ночь с 1 на 2 сентября в 1:00 над горизонтом было темное облако, выше которого находилась беловатого цвета аврора [Loomis E., 1860b, p. 359].

Связывать ли эти темные облака непосредственно с кометарной пылью, проникшей в атмосферу, или с подъемом пыли с поверхности в результате импактов кометных фрагментов? В последнем случае, имеет смысл поискать кратеры в упомянутых районах, прежде всего, на дне залива Чивитавеккья, а также исследовать ледяные керны 1859 года в Гренландии и Антарктиде на соответствие вещества космических частиц составу метеорита Мазапиль.

Однако, есть следующие интересные сообщения во время события Кэррингтона.

- Аврора имела светло-розовый свет, который набирал высоту и менялся до кроваво-красного; через этот свет можно было увидеть все звезды [AUC2, p. 340].
- В Огденсбуре, штат Нью-Йорк, 2 сентября образовалась большая арка, один конец которой находился на востоке, а другой на северо-западе. Ее основание было темным, но звезды сияли по всей ее длине [Loomis E., 1860b, p. 350].
- 28 августа в Гамильтоне, США, небо было затянуто темным мрачным облакообразным веществом, которое не являлось обычным облаком, поскольку сквозь него можно было видеть звезды [Shea, p. 348].

Поскольку астроном Дж. Гершель однажды наблюдал, как комета 3D/Биэла прошла перед скоплением звезд, совершенно **не вызвав затмевающего эффекта** [Chambers, 1909, p. 14], резонно отнести вышеприведенные сообщения о темных облаках в пользу пылевой фракции фрагментов/метеоров 3D/Биэла.

ЧАСТЬ 2.

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА XIX ВЕКА

2.1. 1872 ГОД

2.1.1. ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ 4 ФЕВРАЛЯ

4 февраля 1872 года ознаменовалось сильнейшей геомагнитной бурей, сопоставимой с бурей события Кэррингтона 1859 года. Интенсивность полярных сияний в широком диапазоне долгот и широт, от Англии до Китая и Реюньона, отразилась в вариациях магнитограмм от Гаваны до Гринвича и Бомбея [Hayakawa, 2018a; 2023]. Т. Холл, член Королевского геологического общества, сообщал о полярном сиянии в Барнстейпле с белыми лучами на юге, исходящими из Плеяд в созвездии Тельца (это направление ведет к гамма-Андромеде). Из его статьи следует, что из центральной точки произошел внезапный всплеск лучей, покрывший все небо со всех сторон. «Затем небо оставалось совершенно безоблачным почти до 20:16 UT, когда были видны только остатки нескольких белых полос» [Hall, 1872]. В свою очередь, полярные сияния на Маврикии также имели беловатые структуры.

Проявления 4 февраля приписываются активности извержения из области солнечных пятен вблизи центра диска утром 3 февраля 1872 года, наблюдавшегося А. Секки в Риме [Secchi, 1872]. Однако эта область имела площадь, равную всего ~ 460 миллионов долей солнечной полусферы (далее – м.д.п.). Для сравнения: согласно предположениям, геомагнитная буря события Кэррингтона 1859 года ассоциировалась с солнечными пятнами площадью ~ 2971 м.д.п. [Hayakawa, 2018b; 2023], а в 18-м солнечном цикле появилась группа пятен размером ~ 5000 м.д.п. [Newton, 1955; Cliver, 2004]. Для бури Кэррингтона 2 сентября 1859 года $Dst \sim (-850 \text{ нТл}) / (-1760 \text{ нТл})$ [Hayakawa, 2022] сопоставимо со значением горизонтальной компоненты в Колабе в 1872 году, масштабированной как (-1600 нТл) [Tsurutani, 2003; Nevanlinna, 2008; Kumar, 2015].

Следует подчеркнуть, что предыдущий перигелий кометы 3D/Биэла, согласно расчетам [Denning, 1905, p. 852], пришелся на 2 февраля 1866 года, а следующий — на 17 февраля 1886 года. Следовательно, 4 февраля 1872 года из-за движения по орбите кометы 3D/Биэла, несмотря на различные отклонения, одни из сохранившихся фрагментов после раскола кометы также могли находиться вблизи перигелия, а другие — вблизи Земли. Такие фрагменты, ионизированные солнечным ветром, могли вызвать геомагнитную бурю 4 февраля 1872 года.

Экваториальные границы овала полярных сияний во время супербури Кэррингтона 1859 года ($\sim 25,1^\circ \pm 0,5^\circ$ ILAT) и февраля 1872 года ($\sim 24,2^\circ$ ILAT) совпадают с существующими сравнениями, основанными на интенсивности почасовых оценок Dst [Silverman, 2008; Cliver, 2013; Hayakawa, 2019]. Например, 4 февраля 1872 года полярное сияние наблюдалось в Бомбее и Афинах. В обоих случаях причиной могли быть вторичные кометы 3D/Biela или Андромедиды, пересекавшие орбиту Земли.

2.1.2. ПОТОК АНДРОМЕДИД В НОЯБРЕ

Комету 3D/Биэла, согласно вычислениям, ожидали в августе–сентябре 1872 года [Chambers, 1909, p. 197]. Эти надежды не оправдались, но 13 ноября 1872 года была зарегистрирована белая вспышка на Солнце [Secchi, 1872; Hudson, 2021], а с 14 ноября наблюдались первые метеоры из области гамма-Андромеды [Newton, 1872]. Конечно, возникает вопрос о причинно-следственной связи между белой вспышкой на Солнце и активизацией метеорного потока Андромедид на следующий день после нее (этот вопрос будет подробно рассмотрен далее). В это же время А. Твиннинг и Х. Ньютон сообщили о радианте метеоров по линии «Плеяды — гамма-Андромеды», и о протяженности потока не менее 8° . Наконец, на пике потока, 27 ноября, в атмосфере Земли было насчитано ~ 38400 метеоров [Denza, 1872].

В свою очередь, французский астроном К. Фламарион писал, что 27 ноября 1872 года огненные линии скользили почти вертикально роями и ливнями, вспыхивая ослепительными шарами света (Фиг. 4). Все они исходили из одной точки на небе, около звезды гамма-Андромеды. Если комета 3D/Биэла, точнее её остатки, должна была пересечь орбиту Земли во второй половине августа [Flammarion, 1894, pp. 499–501], то появление

27 ноября 1872 года, 12 недель спустя, метеорного потока, соответствующего положению радианта кометы Биэла, подтвердило, что метеоры движутся очень близко к её орбите. Известно, что Андромедиды в 1798, 1830 и 1838 годах также наблюдались на траектории кометы Биэла на разных расстояниях [Chambers, 1909, p. 198].



Фиг. 4. Падающие метеоры 18 ноября 1872 года (адаптировано из [Flammarion, p. 534, Fig. 231. Harvard College Library. <http://books.google.com/>]).

Отмечу, что метеоры Андромедид наблюдали и в ноябре 1859 года. Аналогично 1872 году, на 12 недель раньше относительно этих ноябрьских метеоров 1859 года, во второй половине августа, а именно, 26 августа, началось событие Кэррингтона. Таким образом, есть еще один косвенный признак «встречи» Земли в августовском событии 1859 года с самой кометой 3D/Биэла или с тем, что от нее осталось.

Подводя итоги за 1872 год, можно отметить следующее.

- Лучи во время сияния 4 февраля исходили из окрестностей Плеяд созвездия Тельца, т. е., со стороны звезды гамма-Андромеды. В ноябре А. Твиннинг и Х. Ньютон также сообщали о радианте метеорного потока по линии «Плеяды — гамма-Андромеды». В этом сходство между событиями в феврале и в ноябре 1872 года.
- Внезапный всплеск лучей из центральной точки, а также беловатые структуры и низкоширотные полярные сияния 4 февраля 1872 года были аналогичными характеристикам полярных сияний во время события Кэррингтона 1859 года.

В 1798, 1838 и 1847 годах долгота Солнца была близка к долготе узла орбиты кометы 3D/Биэла в 1772 году. Однако радианты метеоров этой кометы в 1867, 1872 и 1885 годах соответствовали орбите 1852 года, которая была изменена влиянием Юпитера в 1841–1842 годах [Newton, 1886, p. 424]. Фактически старая орбита кометы 3D/Биэла разделилась на две новые. Но это неудивительно. Например, комета Галлея произвела около 12 метеорных потоков, а метеорные потоки Таурид в свое время также делились на Бета-Тауриды (с 5 июня по 18 июля; пик 29 июня), Южные Тауриды (с 10 сентября по 20 ноября; пик 10 октября) и Северные Тауриды (с 20 октября по 10 декабря; пик 12 ноября). Из этого следует, что дальнейшее расхождение двух вторичных ядер и, соответственно, двух метеорных потоков кометы 3D/Биэла, скажем, на две части: ноябрь–февраль, ассоциированной с одной из вторичных комет, и июнь–сентябрь – с другой вторичной кометой, выглядело бы естественным. Их ожидали в 1859 году, но условия наблюдения были плохими.

Подобно геомагнитной буре события Кэррингтона 1859 года, причиной геомагнитной бури 1872 года могли быть фрагменты кометы 3D/Биэла и/или Андромедиды. Конвенциональная гипотеза солнечного происхождения не способна объяснить столь малый временной интервал между этими двумя супербурами.

2.2. КОМЕТА 1882 ГОДА

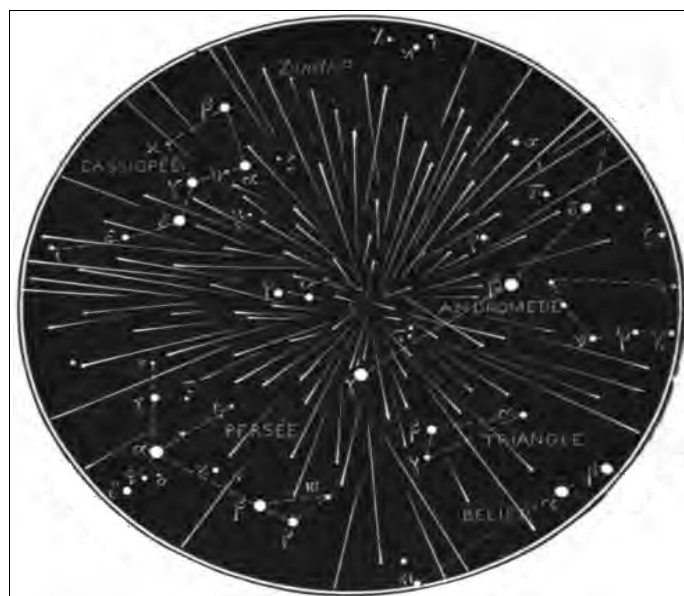
Утверждалось, что большая комета 1882 года была разделена на четыре части, каждая из которых стала самостоятельной кометой, вращающейся вокруг Солнца [Chambers, 1909]. Большая комета в 1882 году подходила близко к Солнцу: перигелийная дистанция равнялась 0.008 а.е. Во время этого сближения 17 ноября 1882 года была зарегистрирована одна из самых сильных магнитных бурь на Земле. Отклонение горизонтальной составляющей геомагнитного поля в обсерватории Колаба в Бомбее показало $H \sim 450$ нТл, а в Гринвиче зарегистрировали $H > 1090$ нТл (при зашкаливающем приборе) [Tsurutani, 2003].

Поскольку ноябрь является месяцем активности Андромедид, был ли один из фрагментов кометы 3D/Биэла, в результате ионизации или других механизмов, ответственным и за эту геомагнитную бурю 17 ноября 1882 года?

2.3. МОЩНЫЙ ПОТОК АНДРОМЕДИД 1885 ГОДА

С 25 по 30 ноября 1885 года из созвездия Андромеды снова появились метеоры. По всей Европе 27 ноября великолепный звездный дождь (Фиг. 5.) наблюдался как раз в тот момент, когда Земля пересекала орбиту кометы 3D/Биэла¹⁶. Через три часа после пика Андромедид количество метеоров уменьшилось на порядок, поэтому шесть часов вместили основную часть их потока [Newton, 1886, p. 425].

27 ноября, в ночь максимума Андромедид, был сразу найден в Мексике упавший железный метеорит Мазапиль, весом 4,656 кг [Hidden, 1887]. Хорошо известно, что в спектрах комет регистрируются эмиссионные линии металлов [Ibadov, 1991]. Еще в 1966 году Э. Опик утверждал, что тела, образующие метеориты, могли возникать одновременно с кометами. Следовательно, металлы должны быть в ядрах комет [Opik, 1966; Beech, 2002]. Кроме того, за годы блуждания в Солнечной системе у кометы 3D/Биэла могло образоваться железное ядро в результате «собираения» и последующего оседания к центру магнитных пылевых частиц из внешнего космоса. Возможны и другие варианты образования металлических ядер комет: ударное плавление при столкновениях в космосе, захват из пояса астероидов и т. д.



Фиг. 5. Центр и точки излучения метеоров Андромедид 27 ноября 1872 и 1885 годов (адаптировано из [Flammarion, 1994, pp. 532-533, Fig. 230. Harvard College Library. <http://books.google.com/>]).

16 Подробности см. в «Astronomical Review» 1886 года [d'Astronomie, 1886, Revue, pp. 19-35; Flammarion, 1894]).

Естественно, возникает вопрос, почему после 4 февраля 1872 года не было зарегистрировано сильных геомагнитных бурь во время потока Андромедид в ноябре 1872 года, и в ноябре 1885 года? Для ответа необходимо учесть следующее.

- Воздействие на магнитосферу Земли метеорного потока или фрагментов кометы включает многие факторы. Ударная волна комет или метеорных потоков создается вместе с солнечным ветром вспышек, когда заряженные частицы закручиваются вокруг силовых линий магнитного поля и образуют тор скоростей в пространстве. Вдобавок, согласно теории Чепмена–Ферраро (1931), геомагнитная буря способна возникнуть из-за взаимодействия ионизированных частиц метеорного потока с магнитным полем Земли. Но возникновение магнитных бурь обусловлено, в том числе, состоянием геомагнитного поля и ориентацией магнитного поля метеорного потока, поскольку свойства МГД-волн зависят от направления волнового вектора относительно магнитного поля. Эффект Свалгаарда–Мансурова показал, что при южном направлении внешнего магнитного поля пересоединение силовых линий благоприятно, и доступ для космической плазмы любого происхождения в земную магнитосферу открыт.
- В 1885 году железный метеорит Мазапиль мог относиться уже к остаткам некогда большой фракции магнитных фрагментов после распада кометы 3D/Биэла в 1840-х годах. То есть, со временем, после сильных геомагнитных бурь августа–сентября 1859 года и 4 февраля 1872 года, магнитная фракция уже была практически исчерпана для серьезного возмущения магнитосферы Земли. Так, в 1892 году максимум Андромедид составил несколько сотен метеоров в час, что почти на порядок уступало числу метеоров 27 ноября 1885 года. Сейчас счет метеоров Андромедид составляет единицы в час.

Известно, что фрагментация 80% комет происходила далеко от Солнца [Thornhill, 2006]. Распад кометы 3D/Биэла в афелии [Jenniskens, 2007], вдали от нагрева Солнцем, исключает процесс сублимации и предполагает, что он был вызван внутренними источниками, такими как плазменно-пылевые разряды внутри или вблизи кометы [Thornhill, 2006; Popel, 2024], поверхностные индукционные токи Фуко при пересечении кометой секторов межпланетного магнитного поля, или других потенциальных механизмов [Dehel, 2022]. Так, *«комета Виртанена 1957 года распалась внутри орбиты Сатурна. Б. Марсден, астроном Смитсоновской обсерватории, предполагал, что каждая из комет – 1882 II и 1965 VIII – разделилась за пределами орбиты Нептуна и, вдобавок, намного выше плоскости эклиптики; солнечный нагрев причиной быть не мог»* [Thornhill, 2006]. Не столь давно аналогичное поведение высокой активности на солидных расстояниях от Солнца, на дистанции $r=9.7-13$ AU, проявляли, например, кометы C/1995 O1 (Hale-Bopp) [Fulle, 1998] и C/2007 D1 (LINEAR) [Epifani, 2010]. Причем, комета LINEAR никогда не приближалась к Солнцу ближе $r=8.8$ AU, т.е., своего перигелия. Поэтому наличие внутри ее ядра гиперлетучих газов, способных на сублимацию [Epifani, 2010], сомнительно. Вдобавок, известно, что кометы вопреки ожиданиям продемонстрировали дефицит воды и доминирование пылевой фракции (как, например, комета 9P/Tempel-1 в результате эксперимента «Deep Impact» при ударной бомбардировке).

У метеоритов в атмосфере Земли нагревается только поверхностный слой. Однако большие теллурические индукционные токи, вызванные фрагментами, содержащими магнитные металлы, могли привести к воспламенению длинных линий телеграфных проводов и деревянных частей построек. В таком случае пересечение орбиты Земли с фрагментами распавшейся кометы 3D/Биэла 8 октября 1871 года действительно могло вызвать знаменитые пожары в Чикаго, Пештиго и Порт-Гуроне [Wood, 2004].

Однако на роль инициатора знаменитых пожаров в 1871 году претендует, скорее, комета 2P/Энке. Ее спектр демонстрировал яркие полосы, отвечающие углеводородам, а хвост оказался с одной из сторон обрублен [Chambers, 1909, p. 65]. Следовательно, пожары 8 октября 1871 года могли быть связаны с оторвавшимся углеводородным хвостом 2P/Энке. Такой процесс не уникальный, что подтверждает современная техника. Например, зонд НАСА 'STEREO-A' заснял отрыв хвоста кометы Понса–Брукса в 2024 году во время удара по ней солнечной вспышечной плазмы. Еще в 1883 году астроном Х. Бонилья в течение 3,5 часов наблюдал во время дезинтеграции кометы Понса–Брукса (альтернативно, кометы Брукса–Свифта [Manterola, 2011]) до 500 относительно крупных ее частей в земной ионосфере¹⁷. Аналогично, кометарное вещество (возможно, ионизированное солнечной плазмой) сыграло главную роль и во время события Кэррингтона.

17 Вероятно, Х. Бонилья пропустил еще более трех тысяч фрагментов в связи с рабочим перерывом.

ЧАСТЬ 3.

КОМЕТЫ И БЕЛЫЕ ВСПЫШКИ НА СОЛНЦЕ

Связь между фрагментами кометы 3D/Биэла и солнечными белыми вспышками удивительна и неоднозначна. Солнечная белая вспышка была зафиксирована 13 ноября 1872 года [Secchi, 1872; Hudson, 2021], и сразу после нее первая активность в области гамма-Андромеды отмечена с 14 ноября 1872 года, с последующим максимумом 27 ноября [Newton, 1872]. Солнечная белая вспышка также присутствовала во время события Кэррингтона 1859 года. Если связывать его с фрагментами кометы 3D/Биэла в августе–сентябре 1859 года, то два эпизода появления Андромедид вместе с солнечными вспышками белого света, как в 1872 году, так и 1859 году, уже не кажутся случайным совпадением.

Во время события Кэррингтона 2 сентября 1859 года ICME, постулированное, но не подтвержденное космогенными изотопами, можно успешно «заменить» фрагментами кометы 3D/Биэла, ионизированными солнечной белой вспышкой 1 сентября 1859 года. Подобный эффект ионизированных магнитных фрагментов объясняет и появление метеорного потока из радианта гамма-Андромеды 14 ноября 1872 года, сразу после солнечной белой вспышки 13 ноября 1872 года.

Интенсивность солнечной белой вспышки 1859 года, согласно амплитуде магнитного кроше в Кью и Гринвиче, оценивается классом $\sim \text{SXR}=\text{X45}(\pm 5)$ мягкого рентгеновского излучения. Подобные вспышки возможны на звездах солнечного типа. Но повторение столь сильной геомагнитной бури, как 2 сентября 1859 года, вызванной вспышкой класса X45(± 5), должно происходить раз в 60–200 лет [Green, 2006; Curto, 2016; Hayakawa, 2018b]¹⁸. Однако, даже не говоря о том, что четырьмя днями раньше геомагнитная буря 28 августа 1859 года практически не уступала по силе исторической буре 2 сентября, и при этом не было никаких свидетельств сложной бури [Tsurutani, 2003], всего через один солнечный цикл после бури Кэррингтона 1859 года, была зафиксирована еще одна сопоставимая с ней геомагнитная буря 4 февраля 1872 года. Наука не имеет достойного объяснения этому факту с точки зрения исключительно солнечного генезиса.

Солнечные вспышки в континуальном оптическом диапазоне, как показала современная техника, вовсе не редкие; многие вспышки рентгеновского X-класса излучают в оптическом континууме. Так, «в 1989 году небольшой телескоп во время максимума солнечной активности зарегистрировал за год 15 случаев свечения вспышек в оптическом континууме» [Бабин, 2005]. Вместе с тем, геомагнитных возмущений, аналогичных зафиксированным во время события Кэррингтона, во время белых вспышек больше не наблюдалось. На мой взгляд, это связано с отсутствием как самих ICME, так и попадания по Земле, в случае реализации оных на Солнце. Вероятно, не было таковых ударов ICME и в 1859 году. Регистрация следа кроше на магнитограммах говорит лишь о волновых составляющих электромагнитного диапазона. Идея удара по магнитосфере Земли (даже по ее краю, по касательной) не поддерживается в связи с отсутствием, как уже указывалось, космогенных изотопов и/или нитратов в депозитах 1859 года, а также уровнем SEP.

Энергия солнечных белых вспышек мала по сравнению с пространственным и спектрально полным солнечным излучением. Поэтому до 2003 года их не удавалось выделить в записях. В принципе, солнечные белые вспышки объясняются теорией магнитного пересоединения и обычно обнаруживаются на видимых изображениях Солнца во время более крупных рентгеновских вспышек [Woods, 2006]. Однако, рентгеновское и ультрафиолетовое излучения являются основными свойствами комет даже при обычном солнечном ветре [Lisse, 1996]¹⁹. Как уже упоминалось, диффузные электрические разряды происходят в оболочке и в ядре комет, излучая на различных частотах, включая рентгеновские лучи [Thornhill, 2006]. Например, космический телескоп «ROSAT» обнаружил мягкое рентгеновское излучение от кометы C/1996 B2 «Хякутакэ» в марте 1996 года [Ibadov, 2010]. Вероятно, аналогичные эмиссии могли увеличиться при более мощном солнечном ветре белой вспышки 1 сентября 1859 года, ионизировав вторичные кометы «А/В» 3D/Биэла. Следовательно, кроше, записанное в Лондоне 1 сентября 1859 года, способно относиться не непосредственно к солнечной белой вспышке, а к рентгеновскому (пере)излучению одной из этих вторичных комет. Более того, в земной атмосфере излучение метеоров в области как ультрафиолетовых, так и мягких рентгеновских лучей, согласно расчетам [Maris, 1927], также не исключено.

Вместе с тем, корреляция между тремя из пяти известных солнечных вспышек в белом свете в XIX веке с фрагментами кометы 3D/Биэла поднимает вопрос, выходящий за рамки парадигмы современной науки: могут

18 В NOAA SciJinks (National Oceanic and Atmospheric Administration) пошли дальше, утверждая, что мегашторм, сродни кэррингтоновскому, должен происходить примерно каждые 500 лет.

19 Еще для кометы Морхауза 1908 года отмечался ультрафиолетовый характер света [Chambers, 1909, p. 189].

ли не только вспышки ионизировать кометные метеорные потоки, но и наоборот, то есть, могут ли кометы или их фрагменты инициировать солнечные вспышки в белом свете?

«Неясно, было ли то, что наблюдал Р. Кэррингтон, действительно необычным солнечным событием» [Akasofu, 2005]. Сам Р. Кэррингтон, как известно, не считал, что увиденная им солнечная белая вспышка могла вызвать геомагнитные эффекты: «Одна бабочка лета не делает» [Carrington, 1859]. Более того, Р. Кэррингтон был удивлен, что не обнаружил никаких изменений в группе пятен, которые зарисовал до открытия солнечной белой вспышки 1 сентября 1859 года. И по форме, и по положению явление белой вспышки представлялось ему совершенно независимым от конфигурации большого пятна и его частей, будь то ядро или тень. У него осталось впечатление, что явление происходило на высоте, значительно превышающей общую поверхность Солнца, и, следовательно, полностью над большой группой пятен, на которые оно проецировалось [Stewart, 1861, p. 427]. Такое описание Р. Кэррингтоном позволяет выдвинуть гипотезу о солнечной вспышке в белом свете, инициированной внешним источником [German, 2024].

Например, исследование орбиты кометы 1819 года астрономом Ольберсом показало, что 26 июня между 5 и 9 часами утра комета была спроецирована на диск Солнца [Chambers, 1909, p. 13]. Известно, что «зонд SOHO, по сути, зафиксировал несколько случаев падения комет в солнечную корону в «случайной» связи с СМЕ» [Thornhill, 2006].

Масса коронального выброса во время события Кэррингтона в сентябре 1859 года оценивается $\sim 10^{13}$ кг [Hudson, 2021]. После раскола кометы 3D/Биэла в 1840-х годах по движению двух ядер ее вторичных комет была рассчитана масса кометы, равная $\sim 4 \times 10^{-7}$ массы Земли. Учитывая массу Земли $\sim 6 \times 10^{24}$ кг, масса кометы 3D/Биэла составила $\sim 24 \times 10^{17}$ кг. По другим расчетам [Jenniskens, 2007], масса кометы была равна $\sim 1,4 \times 10^{13}$ кг, а масса обломков, оставшихся в метеорном потоке, оказалась $\sim 3,3 \times 10^{10}$ кг. В таком случае разница может свидетельствовать о том, что комета 3D/Биэла продолжала существовать, хотя и в несколько «облегченном» варианте²⁰.

Высокоэнергетические электроны, ускоренные >40 кэВ, считались необходимыми для солнечных вспышек белого света [Watanabe, 2010]. Но такие электроны из глубин Солнца с трудом достигают его фотосферы, где возникает оптический непрерывный спектр. По этой причине были предложены различные другие варианты [Namekata, 2017]. Однако происхождение солнечных вспышек белого света до сих пор остается нерешенным. Вместе с тем, космический аппарат «Вега-1» в 1986 году зарегистрировал потоки ионов с энергией ≥ 40 кэВ на расстоянии 10^7 км и квазипериодические потоки электронов 160–300 кэВ, связанные с ядром кометы 1P/Галлея [Somogyi, 1986]. Такие характеристики достаточны для инициации белых солнечных вспышек.

Выделение энергии солнечной вспышки во время события Кэррингтона 1859 года $\sim 10^{25}$ Дж, основанное на эскизе и описании [Hudson, 2021], обеспечивается «царапающей» Солнце кометой, массой $\sim 10^{14}$ кг²¹. Ранее был получен закон изменения скорости полностью раздробленных кометных ядер, с начальными радиусами ~ 100 м, в области, близкой к конечной точке траектории торможения в солнечной атмосфере, т.е., на малых расстояниях от поверхности Солнца [Иванов-Холодный, 1969]. В этом случае также был приведен один из механизмов образования высокотемпературной плазмы, генерирующей фотосферную вспышку [Ibadov, 2008]. Поэтому, если фрагменты кометы 3D/Биэла имели достаточно большую суммарную массу, $\sim 10^{10}$ – 10^{17} кг, то их прилет и, соответственно, повышение потенциала ионизации, мог способствовать генерации вспышки в белом свете.

В этом аспекте можно рассмотреть, например, следующие варианты «доставки» вещества и воздействия комет, в том числе, и кометы 3D/Биэла, на солнечные вспышки.

1. Кометные газопылевые хвосты II типа и пылевые хвосты III типа (по классификации Бредихина), направленные «к Солнцу», состоящие из более тяжелых частиц, чем узконаправленные газовые хвосты I типа, которые практически не отклоняются от направления «от Солнца». Например, в 1986 году пыль кометы 1P/Галлея была обнаружена на расстоянии 280×10^3 км от ядра [Somogyi, 1986].
2. По мнению Т. Бредихина, потоки Андромедид 1877, 1885 и 1892 годов были вызваны выбросами 1846 года с высокими скоростями 292 м/с, 342 м/с и 279 м/с, соответственно [Bredichin, 1893]. Однако, даже если частицы выбрасываются с типичной скоростью 20 м/с и изотропно [Jenniskens, 2007], то при такой скорости, начиная с 1703²² по 1859 год, длина разлета составит $\sim 140 \times 10^6$ км, что превышает расстояние перигелия кометы 3D/Биэла, равное $\sim 131 \times 10^6$ км. Более того, утверждается [Jenniskens, 2007], что

20 В последние годы было предпринято несколько попыток, например, астрономами Б. Марсденом и З. Секаниной [Jenniskens, 2007], отождествить орбиты недавно открытых комет с орбитой 3D/Биэла кометы.

21 Эта масса соответствует, например, массе ядра кометы 1P/Галлея в 1986 году [Ibadov, 2008].

22 Год 1703 взят для сравнения, поскольку рассматривался при компьютерном моделировании орбиты кометы 3D/Биэла в работе П. Дженнискенса [Jenniskens, 2007].

комета 3D/Биэла потеряла свою основную массу до 1703 года. Стало быть, времени добраться к Солнцу у потерянной массы было предостаточно.

3. Движение мелких частиц фрагментов кометы 3D/Биэла по спирали к Солнцу из-за действия эффекта Пойнтинга–Робертсона.
4. Собственные магнитные поля комет. Например, для кометы 1P/Галлея пиковая напряженность поля составила 70–80 нТл [Riedler, 1986], а для кометы 67P/Чурюмова–Герасименко – 300 нТл. Магнитное поле комет должно «ощущаться» на расстоянии многих километров, что связано с плотностью джетов. В эксперименте по измерению магнитных полей кометы 1P/Галлея – MISHA (The magnetic field in Interplanetary Space during the Halley comet Approach) – магнитометр «Веги-1» на расстоянии $1,1 \times 10^6$ км от ядра кометы показал значительное увеличение турбулентности в диапазоне частот 0,05–2 Гц. При этом скорость распространения колебаний магнитного поля кометы 1P/Галлея, связанная с ударной волной, составила ~ 200 км/с [Nature, 1986, 321, 259]. Вариации магнитных волн по мере приближения к ядру кометы 1P/Галлея постепенно увеличивались по величине, отличаясь от солнечных и указывая на неустойчивость, возбуждающую длинные МГД-волны [Wu, 1972]. Они были вызваны упругой, сжимаемой плазмой и эффектом «вмороженности» в магнитное поле. Поскольку такие волны не имеют дисперсии, это способствует возникновению плазменного МГД-волновода [Nakariakov, 2020]. Отсюда следуют большие расстояния в миллионы километров, на которых МГД-волны «ощутимы». Их влияние, как и рентгеновского излучения комет, на солнечные процессы до конца не изучено.
5. Там, где возникают волноводы, возможны и резонаторы. Например, в модели эффекта резонанса неустойчивости типа Тейлора солнечные колебания возникают из-за периодической модуляции солнечной плазмы внешними приливными силами, за которые ответственны Юпитер совместно с Венерой и Землей [Stefani, 2019; Klevs, 2023]. Но нельзя исключать и вариант воздействия Юпитера совместно с кометами и крупными метеорными потоками.
6. Прохождение крупных фрагментов кометы 3D/Биэла вблизи Юпитера с последующим изменением приливных сил Юпитера на Солнце [Stefani, 2019].
7. Электричество комет, когда соседние, так называемые, лэнгмюровские плазменные ячейки (двойные слои) взаимно влияют друг на друга, изолируя заряженное вещество от окружающей плазмы в сжимающем их магнитном поле (т. е., пинч-эффект дискретных вихревых токовых пучков, приводящий к тонким филаментам). «Эффект пинча обеспечивает плотности в тонких струях на много порядков выше, чем предсказываемые простой радиальной сублимацией» [Thornhill, 2006; Peratt, 2015].

Можно привести подтверждающие примеры:

- У кометы Понса в январе 1884 года ядро состояло из двух частей разной яркости, объединенных выраженной скрученной связью [Chambers, 1909, p. 97].
- 19 ноября у кометы Морхауза 1908 года хвост состоял из отдельных прядей, которые переплетались, как пряди веревки [Chambers, 1909, p. 32].

Еще К. Биркеланд установил, что электрические токи текут преимущественно вдоль «нитей», образованных магнитными полями, индуцированными этими токами. Такая нитевидная плазма способна распространяться на длинные дистанции, где и разряжаться.

Нитевидная структура типична для плазмы в космосе. Наблюдалась она и на Земле: «Иногда полярное сияние состоит из нитей, подобных шёлковой основе паутины; иногда они рвутся и падают на землю» [Providence Daily Post, Rhode Island, September 3, 1859]. Нитевидная структура является мощным источником электромагнитного излучения. Было показано, что скорость между галактическими волокнами достигает более 1000 км/с [Peratt, 1983].

Комета Свифта 1899 года показала признаки скручивания, которые предполагали идею вращения или колебания вокруг линии, проведенной от Солнца к комете [Chambers, 1909, p. 16]. Вероятно, электрические разряды между кометами и Солнцем/планетами идут через плазменную пыль, причем, в обоих направлениях. Не исключено, что Солнце «питается» электрическими токами [Thornhill, 2006], в том числе, кометными.

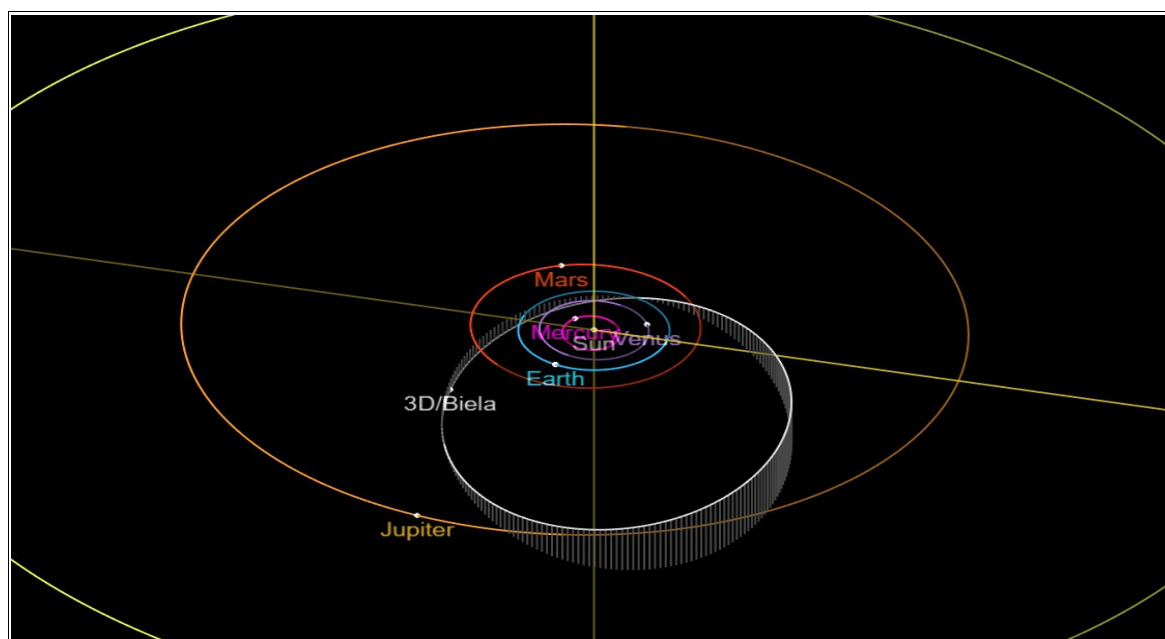
Вследствие ионизированных фрагментов материала кометы 3D/Биэла, прибывших на Солнце, сжатие магнитного поля должно было увеличить электромагнитную индукцию. Это могло вызвать увеличение электрического поля на Солнце и привести к вспышке в белом свете. В результате, вторичная комета «А» 3D/Биэла могла коррелировать с солнечной белой вспышкой 13 ноября 1872 года (SOL1872-11-13 [Secchi, 1872;

Hudson, 2021]), а комета «В» 3D/Биэла («догоняющая»; но более яркая, согласно фотографии, сделанной в Пулково в 1846 году) — с одной, или с несколькими, следующими солнечными белыми вспышками: 10 сентября 1886 года (SOL1886-09-10 [Valderrama, 1886]); 17 июня 1891 года (SOL1891-06-17 [Trouvelot, 1891]); 15 июля 1892 года (SOL1892-07-15 [Rudaux, 1892; Hudson, 2021]).

Если кому-то такая корреляция кажется сомнительной, то между этими двумя вторичными кометами, «А» и «В», сразу после распада кометы 3D/Биэла в 1846 году также был «мост» из меньших фрагментов. Когда и куда они переместились, вероятно, мы не узнаем. Однако, если отсутствие активности потока Андромедид в 1878 году оценивалось как распространение следа кометы 3D/Биэла не более чем на 40% длины ее орбиты [Kronk, 1999], то позже между потоками Андромедид 1892 и 1899 годов был разрыв в 7 лет, а между потоками Андромедид 1899 и 1904 годов — около 5 лет [Denning, 1905, p. 853]. Это указывало на более существенную дифференциацию со временем остатков расколотой кометы 3D/Биэла по ее орбите.

«Астрономы Барнард и Энке были одними из первых предположивших существование некой сопротивляющейся среды в космосе, способной разрушать и искажать хвосты комет при столкновении с ней» [Chambers, 1909, p. 37]. Основанием послужили движения комет Энке и Виннике, не объяснимые полностью только теорией гравитации [Chambers, 1909, p. 64]. Аналогично, Х. Ньютон [Newton, 1886], в связи с компактностью потока Андромедид в плоскости орбиты кометы 3D/Биэла, несмотря на возмущения со стороны Юпитера, подтверждал эту гипотезу. Обоснованность существования сопротивляющейся среды долго и горячо обсуждалась тогда, но не получила одобрения большинства астрономов. Сегодня известны варианты космических струн, зеркальной материи (по-Фуцу), и т. д. С темной материей/энергией наука пока не разобралась. Поэтому преждевременно перечеркивать взаимосвязь комет и солнечных вспышек в белом свете.

Хвосты комет показывают четко определенные, плотные пылегазовые нити, простирающиеся до десятков миллионов километров, не рассеиваясь в вакууме космоса [Thornhill, 2006]. Согласно некоторым гипотезам, они могли образоваться под воздействием мощных магнитных полей сверхмассивных черных дыр, открытых недавно [Oei, 2024].



Фиг. 6. Орбита кометы 3D/Биэла [https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/?sstr=3D&view=VOPDA «NASA/JPL-Caltech». Продюсер Марсен Б.

За последние 250 лет, как известно, возмущения привели к постепенному уменьшению перигелия кометы 3D/Биэла. Следует отметить, что долгота нисходящего узла орбиты кометы 3D/Биэла в 1859 году и долгота Солнца в 1872 году совпадали точно и были равны $246 \cdot 1^\circ$ [Newton, 1886, pp. 423–424]. Отсюда следует вероятность их дальнейшей синхронизации. В любом случае, некоторые фрагменты этой кометы после распада, двигаясь по ее траектории, могли сначала пройти вблизи Солнца, а вскоре оказаться в нисходящем узле пересечения орбиты кометы 3D/Биэла с орбитой Земли (Фиг. 6). Именно в этом нисходящем узле орбиты 3D/Биэла проявлялись метеорные потоки Андромедид 1872 и 1885 годов. И весьма сомнительно, что 1859 год был исключением, поскольку Андромедиды пересекаются с Землей раз в 13 лет. Появление вторичных комет

«А/В» 3D/Биэла в 1852 году, 26 августа и 15 сентября, практически совпало с аналогичными датами геомагнитных бурь с 26 августа по 7 сентября 1859 года. В этом случае не исключено, что потоки обеих вторичных комет выступили в тандеме как «соучастники» события Кэррингтона в августе–сентябре 1859 года, вызвав сильные геомагнитные бури и низкоширотные авроры. В результате, хотя 1 сентября 1859 года была солнечная белая вспышка, все известные факты с большой вероятностью указывают на связь события Кэррингтона 1859 года с фрагментами/Андромеидами кометы 3D/Биэла (возможно, ионизированными солнечным ветром).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принципиальные выводы.

- Парадигма, основанная на наблюдении Р. Кэррингтоном солнечной белой вспышки 1 сентября 1859 года, а также на попавших по Земле магнитных облаках и их оболочках, не способна объяснить зарегистрированные характеристики геомагнитных бурь в обсерваториях Бомбея или Рима. Ни воздействие постулируемых ICMEs на магнитосферу Земли, ни ожидаемое высокое поступление солнечных энергетических частиц (*SEPs*) во время события Кэррингтона не подтверждаются следами нитратов и/или космогенных изотопов ^{10}Be , ^{36}Cl , и ^{14}C в земных отложениях 1859 года.
- До 1 сентября 1859 года не было геоэффективных солнечных пятен и не зарегистрировано солнечных вспышек, а быстрый солнечный ветер не инициирует мощные геомагнитные бури. Поэтому утверждения об «очищении» межпланетной среды геомагнитной бурей 28 августа 1859 года в качестве прелюдии к исторической буре 2 сентября 1859 года, являются не обоснованными.
- Особенности полярных сияний события Кэррингтона, включая изолированные авроры в Сальвадоре, представляют серьёзную проблему для сторонников классической доктрины, побудив их выдвинуть гипотезу, *ad hoc*, о до сих пор неизвестных полярных сияниях – не диффузных, и не дискретных – а «низкоширотных». При этом используемое ими снижение к экваториальным широтам аврорального электроджета, распространяющегося только в широтном направлении, зачеркивается возмущениями в телеграфных проводах в меридиональном направлении «север-юг».
- Однако все явления, связанные с событием Кэррингтона, хорошо согласуются с пересечением Земли с фрагментами/Андромеидами распавшейся кометы Биэлы, которые ожидалась астрономами в то же самое время 1859 года. Сообщения очевидцев, опубликованные Смитсоновским институтом, изобилуют наблюдениями, подтверждающими взрывы метеоров в разных частях планеты и, в том числе, кометы в районе Рима.
- Кометы обладают необходимыми магнитными и электрическими полями для инициирования мощных геомагнитных бурь, поскольку накапливают электрочаряд благодаря внутреннему амбиполярному полю. Ионы комет в несколько раз тяжелее ионов солнечного ветра, поэтому плотность энергии плазмы комет на два порядка превышает типичную плотность энергии солнечного ветра.
- Авроры во время события Кэррингтона располагались на ионосферных высотах. Возбуждение в магнитосфере вращательных токов приводит к преимущественным ионосферным токам с направлением «север-юг», вероятно, наводившимися и в телеграфных линиях. Поскольку вращательные токи создают благодаря пинч-эффекту кометарные филаменты, кометы могут отвечать за привнесение вращательных токов в магнитосферу Земли при ее пересечении.
- Широкие метеорные потоки, охватывающие всю Землю, не нуждаются в постулировании поворота всей магнитосферы, так как достигают любых мест, включая низкоширотные, вызывая там авроры с преобладанием, в частности, красного и белого цветов. Об этих оттенках и о диффузных аврорах сообщали очевидцы события Кэррингтона. За инициирование диффузных аврор могли отвечать диффузные разряды внутри комет и/или, учитывая диаметр пучков авроральных лучей, взрывы метеоров.

Хотя комета Биэлы, скорее всего, прекратила своё существование, аналогичные кометы, обладающие огромными электрическими зарядами, представляют опасную угрозу для нашей цивилизации.

Если представленная новая концепция верна, то доминирующая сегодня парадигма исключительно солнечного происхождения исторического события Кэррингтона 1859 года должна быть пересмотрена.

ПРИЛОЖЕНИЕ А:

СВЯЗЬ ДИАМЕТРА ПУЧКА ЛУЧЕЙ АВРОРЫ С МЕТЕОРАМИ

АНДРОМЕДИД В 1859 ГОДУ

Скорость метеороидов потока Андромедид 1885 года относительно Земли была получена равной 57300 км/час [Newton, 1986, p. 425]. Отсюда, с учетом часового количества метеороидов ~ 5.1 , пространство, соответствующее каждому отдельному видимому метеору в плотной части группы, являлось кубом, ребро которого равнялось кубическому корню из $(57300 \times \pi) / 5.1$, то есть, $\sim 32,8$ км.

Поскольку трек (след) большого метеора, обычно, на два порядка больше самого метеора, то при радиусе тела метеора $\sim R=150$ м, общий диаметр составит ~ 30 км [Соляник, 1980]. Эмпирически, в зависимости от яркости обычного метеора, была установлена длина его пути, также равная ~ 33 км [Астапович, 1958, с. 239] (вероятно, включая трек; например, большой метеор 24 марта 1933 года над Нью-Мексико, США, имел трек, достигавший ~ 4000 км³ [Nininger, 1934; Астапович, 1958]).

При этом, максимальный диаметр луча («пучка») авроры во время события Кэррингтона в 1859 году оценивался равным $\sim 32,2$ км [Loomis, 1861b, p. 322].

Однако, согласно современным данным [Baranoski, 2003, p. 47], стандартный диаметр луча («пучка») в аврорах при попадании в Землю ICME способен достигать максимально лишь ~ 1 км. Следовательно, за авроры во время события Кэррингтона 1859 года, с большой вероятностью, отвечали взрывы метеоров Андромедид.

ЛИТЕРАТУРА

Abbot D., Juhl R. (2016), New historical records and relationships among ¹⁴C production rates, abundance and color of low latitude auroras and sunspot abundance, *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.07.015>

Akasofu S., Chapman S. (1960), Some features of the magnetic storms of July 1959, and tentative interpretations, *UGGI Monogr.* 7, p. 93, Int. Union of Geod. and Geophys., Toronto.

Akasofu S., Kamide Y. (2005), Comment on “The extreme magnetic storm of 1–2 September 1859” by B. T. Tsurutani, W. D. Gonzalez, G. S. Lakhina, and S. Alex, *J. Geophys. Res.*, 110, A09226. doi:10.1029/2005JA011005

American Journal of Science and Arts (2nd series): Bethlehem (New York) Meteoric Stone of Aug. 11, 1859; Meteor of August 11, 1860, *Misstellian Intelligence*, 28, 300–303.

A.P. (1861), Auroras Polares de 1859, in the «XI. Anales de la Universidad de Chile, Marzo de 4861, Santiago», 18, 335 (in Spain).

AUC (Anales Universidad de Chile) (1861), v. 18, Santiago, Univ. de Chile (Anales Marzo de 4861, T. XVIII, Imprenta del Ferrocarril, Meteorolojia, Datos relativos a las Auroras polares aparecidas en los dos hemisferios, a un tiempo, en la noche del 2 de setiembre de 1859, comunic. a la Facultad de Ciencias Físicas i Matemátic. Auroras poláre de 1859, 328–349.

AUC (1864), Sobre las perturbaciones magnéticas observadas en Roma: el 2 de setiembre de 1859, Carta del R. P. Secchi a M. Leverrier, Roma, 21 de setiembre de 1859, 346–347; *Comptes rendus*, T. XLIX, Núm. 14.

Baranoski G. et al. (2003), Simulating the aurora, *J. Visualization and Computer Animation*, 14, 43–59. <https://doi.org/10.1002/vis.304>

Bartels J. (1937), Solar eruptions and their ionospheric effects – a classical observation and its new interpretation, *Terr. Mag. Atmos. Elect.*, 42, 235.

Beech M. (2002), The Mazapil meteorite: from paradigm to periphery, *Meteoritics & Planetary Science*, 37 (5), 649–660. doi:10.1111/j.1945-5100.2002.tb00845.x.

Beggan C. et al. (2024), Digitized Continuous Magnetic Recordings for the August/September 1859 Storms From London, UK. *Space Weather*, 22(3). e2023SW003807. <https://doi.org/10.1029/2023SW003807>

Blake S. et al. (2020), Magnetic Field Measurements From Rome During the August–September 1859 Storms, *Journal of Geophys. Res.: Space Physics*, 125(6). <https://doi.org/10.1029/2019JA027336>

- Boteler D. (2006), The super storms of August/September 1859 and their effects on the telegraph system, *Advances in Space Research*, 38(2), 159-172. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2006.01.013>
- Bredichin T. (1893), *Astronomiche Nachrichten*, 132, 191.
- Canudas A. (1860), Resumen de las observaciones meteorológicas hechas en el Colegio-Seminario a cargo de los PP. de la Compañía de Jesús de Guatemala el año 1859, *Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Capron J. (1879), *Aurorae: Their Characters and Spectra* (London: E. & F. N. Spon).
- Capron J. (1885), Andromeda Meteors, *MNAS*, 46, 81–83. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/seri/MNRAS/0046/0000082.000.html>
- Cardenas F. et al. (2016), The grand aurorae borealis seen in Colombia in 1859, *Advances in Space Research*, 57(1), 257-267. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.08.026>
- Carrington R. (1859), Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859, *MNRAS*, 20, 13.
- Chamberlain J. (1961), *Physics of the Aurora and Airglow*, Academic Press, New York, 124.
- Chambers G. (1909), *The Story of the Comets*. Oxford: The Clarendon Press, 256 pp.
- Chapman S., Bartels J. (1940), *Geomagnetism*, Oxford Univ. Press., NY, I, 328–337.
- Churymov K., Kruchinenko V. (1994), On Collision of Secondary Nuclei of Comet P/Shoemaker-Levi 9 (1993E) with Jupiter. *Odessa Astronomical Publications*, 7, 10. <http://oap.onu.edu.ua/article/view/105729/101085>
- Cliver E. et al. (1990), An estimate of the maximum speed of the solar wind, 1938–1989, *J. Geophys. Res.*, 95, 103. [doi:10.1029/JA095iA10p17103](https://doi.org/10.1029/JA095iA10p17103)
- Cliver E., Svalgaard L. (2004), The 1859 solar–terrestrial disturbance and the current limits of extreme space weather activity, *Solar Phys.*, 224, 407.
- Cliver E. et al. (2012), Size distributions of solar flares and solar energetic particle events, *Astrophys. J. Lett.*, 756, L29. <https://doi.org/10.1088/2041-8205/756/2/L29>
- Cliver E., Dietrich W. (2013), The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity. *J. Space Weather Space Clim.*, 3, A31. <https://doi.org/10.1051/swsc/2013053>
- Cliver E., Pötzi W., Veronig A. (2022), Large Sunspot Groups and Great Magnetic Storms: Magnetic Suppression of CMEs, *Astrophysical Journal*, 938(2), 136. [DOI 10.3847/1538-4357/ac847d](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac847d)
- Comptes Rendus (1860), Magnetic Effects of the Aurora, XLIX (Report. in *Americ. J. Arts Sci.*, XXIX, Art. XXXV).
- Curto J., Castell J., Moral F. (2016), Sfe: waiting for the big one, *J. Space Weather Space Climate*, 6(A23), DOI: 10.1051/swsc/2016018
- Dehel T., Lorge F. (2022), Can Comets become „Ignited“, 44th COSPAR Scientific Assembly. Held 16-24 July, 2022. Online at <https://www.cosparathens2022.org/>. Abstract B1.1-0071-22.
- Denning W. (1905), Meteors from Biela’s Comet, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 65, 851–853. <https://doi.org/10.1093/mnras/65.8.851>
- Denning W. (1885), The great shower of Andromedes, November 26, 27, 28, and 30, 1885. *MNAS*, 46, 68–76. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1885MNRAS..46...68D/0000069.000.html>
- Denza F. (1872), The late Meteoric Shower, *Nature*, 7, 122.
- Duennebieer F. (1976), Meteoroid Storms Detected on the Moon, 192(4243), 1000-1002. [doi: 10.1126/science.192.4243.1000](https://doi.org/10.1126/science.192.4243.1000)
- Epifani E. et al. (2010), The cometary activity very far from the Sun: the case of C/2007 D1 (LINEAR) and other stories of comets, *EPSC Abstracts V. 5*, EPSC2010-188, 2010 European Planetary Science Congress 2010.
- Espley J. et al. (2015), A comet engulfs Mars: MAVEN observations of comet Siding Spring's influence on the Martian magnetosphere, *J. Geophys. Res. Letters*. <https://doi.org/10.1002/2015GL066300>
- Findlay T. (2013), *A Beginner’s View of Our Electric Universe*, Book. www.newtoeu.com
- Flammarion C. (1894), *Popular Astronomy: A General Description of the Heavens* (Engl. transl. from French), London, 686 p.
- Fulle M., Cremonese G., Böhm C. (1998), The pre perihelion dust environment of C/1985 O1 Hale-Bopp from 13 to 4 AU, *AJ*, 116, 1470-1477.

- Goetz C. et al. (2019), Unusually high magnetic fields in the coma of 67P/Churyumov-Gerasimenko during its high-activity phase. *Astronomy&Astrophysics*, 630, A38. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833544>
- Goodspeed M. (2011), The Electric Comet: The Elephant in NASA's Living Room? <https://www.scribd.com/document/59205160/The-Electric-Comet-The-Elephant-in-NASA-s-Living-Room>
- Green J. et al. (2006), Eyewitness reports of the great auroral storm of 1859, *Advances in Space Research*, 38, 145–154. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273117706000160>
- Hayakawa H. et al. (2018a), The Great Space Weather Event during 1872 February Recorded in East Asia, *The Astrophysical Journal*, 862, 15. <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/aaca40>
- Hayakawa H. et al. (2018b), Low-latitude Aurorae during the Extreme Space Weather Events in 1859, *The Astrophysical Journal*, 869, 57. [doi:10.3847/1538-4357/aac47c](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aac47c)
- Hayakawa H. et al. (2019), *Space Weather*, 17, 1553. Temporal and Spatial Evolutions of a Large Sunspot Group and Great Auroral Storms Around the Carrington Event in 1859. <https://doi.org/10.1029/2019SW002269>
- Hayakawa H. et al. (2020), South American auroral reports during the Carrington storm, *Earth, Planets and Space*, 72, 122. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01249-4>
- Hayakawa H. et al. (2022), Temporal Variations of the Three Geomagnetic Field Components at Colaba Observatory around the Carrington Storm in 1859, *The Astrophysical Journal*, 928, 32. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac2601>
- Hayakawa H. et al. (2023), The Extreme Space Weather Event of 1872 February: Sunspots, Magnetic Disturbance, and Auroral Displays, *Astrophysical Journal*, 959(1). [doi:10.3847/1538-4357/acc6cc](https://doi.org/10.3847/1538-4357/acc6cc)
- Hidden W. (1887), On the Mazapil meteoric-iron, which fell November 27th, 1885. *Am. J. Sci.*, 33, 221–226.
- Hudson H. (2021), Carrington Events, *Annual Review of Astronomy&Astrophysics*, 59, 445. <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-112420-023324>
- Humble J. (2006), The solar events of August/September 1859, Surviving Australian observations, *Advances in Space Res.*, 38(2), 155-158. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.08.053>
- Ibadov S. (1991), Metallic atoms and ions in comets: Comet Галлея 1986 III, *Asteroids, Comets, Meteors*, LPI, November 1992, 241–244.
- Ibadov S. et al. (2008), Explosion of sungrazing comets in the solar atmosphere and solar flares, *Universal Heliophysical Processes*, Proc. IAU, Symposium, Eds. N. Gopalswamy & D. Webb, 4(257), 341-343. [doi:10.1017/S1743921309029524](https://doi.org/10.1017/S1743921309029524)
- Ibadov S. (2010), Plasma astrophysics implication in discovery and interpretation of X-ray radiation from comets, *Proc. IAU, Italy, August 2010*, 6(S274):76 – 79. [doi: 10.1017/S1743921311006600](https://doi.org/10.1017/S1743921311006600)
- Jacobs J. et al. (1964), Classification of geomagnetic micropulsations, *Journal Geophysical Research*, 69, 180.
- Jenniskens P., Vaubillon J. (2007), 3D/Biela and the Andromedids, *The Astronomical Journal*, 134, 1034–1045. [doi:10.1086/519074](https://doi.org/10.1086/519074).
- Kaufmann P. et al. (1989), Effects of the Large June 1975 Meteoroid Storm, *Science*, 246, 787.
- Keika K. et al.(2015), What caused the rapid recovery of the Carrington storm? *Earth Planets and Space*, 67(1). [doi:10.1186/s40623-015-0234-y](https://doi.org/10.1186/s40623-015-0234-y)
- Kennel C. et al. (1985), A quarter century of collisionless shock research. In *Collisionless shocks in the heliosphere: A tutorial review*. Geophys. Monograph Series (v.34). AGU Press. <https://doi.org/10.1029/GM034p0001>
- Kimball D. (1960), A study of the aurora of 1859, *Sci. Rep.* 6, UAG-R109, Univ. of Alaska, Fairbanks, Alaska.
- Kleus M. et al. (2023), A Synchronized Two-Dimensional Model of the Solar Dynamo. *Solar Phys.* 298, 90. <https://doi.org/10.1007/s11207-023-02173-y>
- Kronk G. (1999), *3D/Biela, Cometography: A Catalog of Comets*, V. 1, Cambridge Univ. Press, Cambridge. <http://cometography.com/pcomets/003d.html>
- Kumar S. et al. (2015), *JGRA*, 120, 7307.
- Lakhina G. et al. (2012), Supermagnetic storms: hazard to society. In: Sharma AS, Bunde A, Dimri VP, Baker DN (eds) *Extreme Events and Natural Hazards: The Complexity Perspective*, Geophys. Mon. Ser. v. 196, AGU, Washington, p. 267. [doi:10.1029/2011GM001073](https://doi.org/10.1029/2011GM001073)
- Lasar M. (2012), 1859's „Great Auroral Storm – the week the Sun touched the Earth, *ARS Technica*. <https://arstechnica.com/science/2012/05/1859s-great-auroral-storm-the-week-the-sun-touched-the-earth>

- Lewis Z. et al. (2024), Constraining ion transport in the diamagnetic cavity of comet 67P, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 530(1), 66–81. <https://doi.org/10.1093/mnras/stae856>
- Li X. et al. (2006), Modeling the 1–2 September 1859 super magnetic storm, *Adv. Space Res.*, 38, 273–279.
- Lisse C. et al. (1996), Discovery of X-ray and Extreme Ultraviolet Emission from Comet C/Hyakutake 1996 B2, *Science*, 274(5285), 205–209. DOI: [10.1126/science.274.5285.205](https://doi.org/10.1126/science.274.5285.205).
- Lockwood M. et al. (2024), The May 2024 Event in the Context of Auroral Activity over the past 375 years, *MNRAS*, submitted, 1–25. https://www.personal.reading.ac.uk/~ym901336/pdfs/435_Lockwood_et_al_2024b.pdf
- Loomis E. (1860a), The Great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, and the geograph. distrib of auroras and thunder storms, Selected from the Smiths. Papers, 5th Article, 79–100. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-30.88.79>
- Loomis E. (1860b), The Great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, Selected from the Smithsonian Papers, 6th Article, XXXI, 339–361. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-30.90.339>
- Loomis E. (1861a), On the great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, 7th, Article *American Journal of Science* s2-32(94), 71–83. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-32.94.71>
- Loomis E. (1861b), On the great Auroral Exhibition of Aug. 28th to Sept. 4th, 1859, and on Auroras generally, 8th, Article *American Journal of Science* s2-32(96), 318–335. <https://doi.org/10.2475/ajs.s2-32.96.318>
- Love J., Thomas J. (2013), Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1165. <https://doi.org/10.1002/grl.50211>
- Love J. et al. (2024), On the uncertain intensity estimate of the 1859 Carrington storm, *J. Space weather and space climate*, 14(46). doi: [10.1051/swsc/2024015](https://doi.org/10.1051/swsc/2024015)
- Love J. et al. (2025), What is the lowest latitude of discrete aurorae during superstorms? *Space Weather*, 23, e2024SW004286. <https://doi.org/10.1029/2024SW004286>
- Manterola H., Lara M. (2011), Interpretation of the observations made in 1883 in Zacatecas (Mexico): A fragmented Comet that nearly hits the Earth. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1110.2798>
- Maris H. (1927), A Theory of the Upper Atmosphere and Meteors, *Nature*, 120, 839–954. <https://doi.org/10.1038/120839a0>
- Maris H., Hulburt E. (1929), Comets and Terrestrial Magnetic Storms, *Physical Review*, 33(6), 1046–1060. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.33.1046>
- Maris H. (1932), The ultra-violet light theory of comet activity, *Popular Astronomy*, 40, 268–271.
- Miyake F. et al. (2023), No signature of extreme solar energetic particle events in high-precision ^{14}C data from the Alaskan tree for 1844–1876 CE, *J. Space Weather Space Clim.*, 13. <https://doi.org/10.1051/swsc/2023030>
- Moro C. (2024), Le télégraphe électrique et l'événement de Carrington (1-3-3-1) (in France). www.i-resilience.fr
- Mukai T. et al. (1986), Plasma observations by Suissei of solar-wind interaction with comet Галлея, *Nature*, p. 306.
- Marsden B., Sekanina Z. (1971), *Astronomical Journal*, 76, 1135.
- Nakariakov V. (2020), *Magnetohydrodynamic Waves*, Oxford Uni Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190871994.013.7>
- Namekata K. et al. (2017), Statistical Studies of Solar White-light Flares and Comparisons with Superflares on Solar-type Stars, *The Astrophys. Journal*, N. 2, Citation, 851, 91. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa9b34>
- Nature (1986), Encounters with comet Halley, the first results, 321 (Special issue), 259–366.
- Neidig D., Cliver E. (1983), “A catalog of solar white-light flares, including their statistical properties and associated emissions, 1859–1982” (Tech. Rep. TR-83-0257, Air Force Geophysics Laboratory, 1983); <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1983STIN...8424521N/abstract>.
- Nevanlinna H. (2008), *Advances in Space Res.*, 42, 171.
- Newton H. (1872), The late Meteoric Shower, *Nature*, 7, 122. <https://doi.org/10.1038/007122b0>
- Newton H. (1875), *Brit. Assoc. Report*, p. 224.
- Newton H. (1886), Biela meteors of Nov. 27th, 1885. *American Journal of Science*, Third Series, XXXI, 186, 409–426. <http://www.meteoritehistory.info/AJS/S3VIEWS/V31P409.HTM>

- Newton H. (1943), *MNRAS*, 103, 244–257.
- Newton H. (1955), *Vistas Astron*, 1, 666–674.
- Neumeyer G. (1864), *Meteorological and nautical taken in the colony of Victoria (Melbourne Ferres)*, p. 242.
- Nininger H. (1934), The great meteor of March 24, 1933, *Popular Astronomy*, 42, 291–306. <https://adsabs.harvard.edu/full/1934PA....42..291N>
- Oberst J., Nakamura Y. (1987), Lunar seismic impact clusters—evidence, *LPSC XVIII*, 736–738. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1987LPL....18..736O>
- Oei, M. et al. (2024), Black hole jets on the scale of the cosmic web, *Nature*, 633, 537–541. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07879-y>
- Opik E. (1966), Comet nuclei as the principal source of meteorites, in „Natures and Origin des Cometes“, Liege Univ., Belgium, 575–580.
- Ohtani S. (2022), New Insights from the 2003 Halloween storm into the Colaba 1600 nT magnetic depression during the 1859 Carrington storm, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127(9), e2022JA030596. <https://doi.org/10.1029/2022JA030596>
- Peratt A., Green J. (1983), On the evolution of interacting magnetized galactic plasmas, *Astrophys. Space Sci.* 91, 19. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00650210>
- Peratt A. (2015), Dynamics of Field–Aligned Currents in the Laboratory, Aurorae, and Galactic Space. In *Physics of the Plasma Universe*, pp. 341–360. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-7819-5_12
- Popel S., Golub’ A. & Zelenyi L. (2024), On Dusty Plasma Processes in the Physics of Comets. *JETF Lett.* 120, 307–314. <https://doi.org/10.1134/S0021364024602653>
- Ribeiro P. et al. (2011), Geomagnetic records of Carrington’s storm from Guatemala, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrrestrial Physics*, 73(2-3), 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.12.017>
- Riedler W. et al. (1986), Magnetic field observations in comet Halley’s coma, *Nature*, 321, 288. <https://www.nature.com/articles/321288a0>
- Riley P. (2012), Space Weather On the probability of occurrence of extreme space weather events. <https://doi.org/10.1029/2011SW000734>
- Rudaux L. (1892), *L’Astronomie*, 11, 342–44.
- Rudski M. (1910), Magnetische Störung in der Nacht vom 19. bis 20. Mai, *Meteorologische Zeitschrift (Kleinere Mitteilungen)*, S. 262 (in Deutsch).
- Secchi A. (1859a), Sur les perturbations magnétiques observées a rome le 2 Septembre 1859, (letter du r.p. Secchi à m. le verrier), *Comptes rendus, physique du globe*, T. XLIX, 458.
- Secchi A. (1859b), *Memorie dell’osservatorio del Collegio Romano*, Nuovo Serie, N. 1–31.
- Secchi A. (1872), *Sulla Distribuzione delle Protuberanze intorno al Disco Solare*, Roma, Tipografia delle Scienze Matematiche e Fisiche (in Italian).
- Silverman S. (2008), Low-latitude auroras: the great aurora of 4 February 1872, *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.*, 70, 1301–1308.
- Siscoe G. et al. (2006), Dst of the Carrington storm of 1859, *Advances in Space Research*, 38(2), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.02.102>
- Shea M., Smart D., (2006), Compendium of the eight articles on the “Carrington Event” attributed to or written by Elias Loomis in the *American Journal of Science*, 1859–1861, *Advances in Space Research (a COSPAR publication)*, 38, 313–385. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2006.07.005>
- Smart D., Shea M., McCracken K. (2006), The Carrington event: Possible solar proton intensity-time profile, *Advances in Space Research*, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.04.116>
- Somogyi A. et al. (1986), First observations of particles near comet Галлея, *Nature*, 321, 285–288. <https://doi.org/10.1038/321285a0>
- Stefani, F., Giesecke, A. & Weier, T. (2019), A Model of a Tidally Synchronized Solar Dynamo, *Solar Phys.* 294, 60. <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1447-1>
- Stephenson P. et al. (2021), Multi-instrument analysis of far-ultraviolet aurora in the southern hemisphere of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, *Astronomy&Astrophysics*, 647, A119. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039155>
- Stewart B. (1861), On the Great Magnetic Disturbance which extended from August 28 to September 7, 1859, as recorded by Photography at the Kew Observatory, *Monthly notices of the Royal Astr. Society, Oxford.*, Phil. Trans., 151, 423–430. <https://doi.org/10.1098/rstl.1861.0023>
- Thornhill W., Talbott D. (2006), *The Electric Comet*, 33rd International Conference on Plasma Science (ICOPS), Traverse City, Michigan, USA. <https://www.thunderbolts.info/pdf/ElectricComet.pdf>

- Trouvelot E. (1891), *L'Astronomie*, 10, 287–898.
- Tsurutani B. et al. (2003), The extreme magnetic storm of 1–2 September 1859, *J. Geophys. Res.*, 108(A7), 1268. doi:10.1029/2002JA009504
- Tsurutani B. et al. (2018), Comment on “Modeling Extreme “Carrington-Type” Space Weather Events Using Three-Dimensional Global MHD Simulations” by C. M. Ngwira et al.”, *JGR: Space Physics*, 123(2), 1388–1392 (2018). <https://doi.org/10.1002/2017JA024779>
- Tsurutani B. et al. (2023), Comments on “New Insights From the 2003 Halloween Storm Into the Colaba 1600 nT Magnetic Depression During the 1859 Carrington Storm” by S. Ohtani (2022), *JGR Space Physics*, 128, 6. <https://doi.org/10.1029/2022JA031034>
- Tupman G. (1885), Observations and Orbit of the Meteor Shower of 1885, November 27. *MNAS*, 46, 79–81. <https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1885MNRAS..46...79T/0000081.000.html>
- Usoskin G., Kovaltsov A. (2012), Occurrence of extreme solar particle events: assessment from historical proxy data, *ApJ*, 757, 92. <http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/757/1/92>
- Uusitalo J. et al. (2024), Transient Offset in ¹⁴C After the Carrington Event Recorded by Polar Tree Rings, *Geophys. Res. Lett.*, 51(5). <https://doi.org/10.1029/2023GL106632>
- Valderrama J. (1886), *L'Astronomie*, 5, 388–89.
- Watanabe K. et al., (2010), G-band and hard X-ray emissions of the 2006 December 14 flare observed by Hinode/SOT and Rhesi, *Astrophys. J.*, 715, 651–655. doi:10.1088/0004-637X/715/1/651
- Weiß E. (1888), *Beitrage zur Kenntniss der Sternschnuppen, Bilderatlas der Sternenwelt I*, 11 (in Deutsch).
- Whitman W. (1859-1860), Year of Meteors, in «Leaves of Grass», The Walt Whitman Archive, A Bibliography of Copies, Gen. Ed. Matt Cohen, Ed. Folsom & Kenneth M. Price. <http://www.whitmanarchive.org>
- Wolff E. et al. (2012), The Carrington event not observed in most ice core nitrate records, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L08503. <https://doi.org/10.1029/2012GL051603>
- Wood R. (2004), Did Biela's Comet Cause the Chicago and Midwest fires? 2004 Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids 23–26 February 2004, Orange County, California.
- Woods T., Kopp G., Chamberlin P. (2006), *J. of Geophys. Res.*, Contributions of the solar ultraviolet irradiance to the total solar irradiance during large flares. <https://doi.org/10.1029/2005JA011507>
- Wrangel F. (1827), *Phys. Beobachtungen, S. Peterburg.*; *Ann. d. Phys. und d. Chem.* 85(9), 157.
- Wright L. et al., 2025, <https://doi.org/10.3847/PSJ/adcab3>
- Wu C., Davidson R. (1972), *J. Geophys. Res.*, 77, 5399.
- Астапович И. (1958), Метеорные явления в атмосфере Земли, Москва, Физматгиз, 640 с.
- Бабин А., Коваль А. (2005), Морфологические, эволюционные и спектральные особенности и энергетика белой вспышки 26 июня 1999 г., *Известия Крымской Астрофизической Обсерватории*, 101, 107–119.
- Белаховский В. и др. (2020), Рост геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач во время магнитной бури 25-26 августа 2018 г., *Физика авроральных феноменов, Апатиты, Proc. 43rd Annual Seminar*, стр. 15–19. doi: 10.37614/2588-0039.2020.43
- Врангель Ф. (1841), Путешествие по Сибири, Изд. С. Петербург.
- Иванов-Холодный Г., Никольский Г. (1969), Солнце и ионосфера, Москва, Изд-во «Наука», с. 455.
- Сахаров А. и др. (1965), Магнитная кумуляция, *Доклады АН СССР*, 165(1), 65-68.
- Святский Д. (1922), Леониды в 1832 г., *Мироведение*, 11, №2, 134.
- Соляник В. (1980), В сборнике: Взаимодействие метеоритного вещества с Землей, Ред. Долгов, Новосибирск, Наука, 243 с.
- Фесенков В. (1978), Избранные труды. Метеориты и метеорное вещество, Москва, Изд. Наука, 252 с.