



HAL
open science

**Remarks on the empirical accuracy of the optical
superposition principle [Engl. transl. of Zh. Russk.
Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz. 60(1928)555]**

Sergei Ivanovich Vavilov

► **To cite this version:**

Sergei Ivanovich Vavilov. Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle [Engl. transl. of Zh. Russk. Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz. 60(1928)555]. 2017. hal-01599214

HAL Id: hal-01599214

<https://hal.science/hal-01599214>

Preprint submitted on 1 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Remarks on the empirical accuracy of the optical
superposition principle [Engl. transl. of Zh. Russk.
Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz. **60**(1928)555]

Sergeï Ivanovich Vavilov [24.3.(O.S. 12.3.)1891-25.1.1951]*

Institute of Biological Physics, Moscow

Full source details:

С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]: Замечания об эмпирической точности оптического принципа суперпозиции [Zamechaniya ob èmpiricheskoï tochnosti opticheskogo printsipa superpozitsii]/[Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle]. *Журнал Русского Физико-Химического Общества при Ленинградском Университете, Часть Физическая* [*Zhurnal Russkogo Fiziko-Khimicheskogo Obshchestva pri Leningradskom Universitete, Chast' Fizicheskaya*]/[*Journal of the Russian Physico-Chemical Society at Leningrad University, Physical Part*], Vol. LX–1928, No. 6, pp. 555-563. [in Russian, German summary]

Reprinted in (changed footnote numbering, German summary omitted): С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]: *Собрание сочинений. Том I - Работы по физике 1914-1936* [*Sobranie sochinenii. Tom I - Raboty po fizike 1914-1936*]/[*Collected Works. Vol. I - Works in Physics 1914-1936*]. Издательство Академии наук СССР [Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR]/[Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR], Moscow, 1954, item 24, pp. 234-241 (The reprint is freely available online at the following site of the Russian Academy of Sciences: <http://nasledie.enip.ras.ru/ras/view/publication/general.html?id=43932907>).

Translator:

K. Scharnhorst (E-mail: k.scharnhorst@vu.nl,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3355-9663>),
Vrije Universiteit Amsterdam, Faculty of Sciences, Department of Physics and Astronomy, De Boelelaan 1081, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands

*[1], 1987, *Teil [part] 8: Sn-VI*, pp. 5655-5673.

Contents

English translation of the article (T-1 = P-3)	T-1
Supplementary information	P-12
Translator's notes	P-12
Noticed misprints	P-12
Acknowledgements	P-13
Literature	P-14
Full details of the cited literature	P-14
Further references	P-17
Facsimile of the original article	P-19

Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle.¹

S. I. Vavilov.

§ 1. The following remarks concern the superposition of the intensities of incoherent bundles of light. In the theory of wave motion this principle is being considered as an average statistical sequel of the addition theorem of amplitudes whereby the latter theorem is either completely exact (electromagnetic theory), or has a limited validity for small amplitudes (elastic theories). In the following, the superposition principle is mainly considered as an experimental fact which shall play a certain role in making judgements on the soundness of one or the other conception of the nature of light. Huyghens² wrote on this empirical principle: “Another property of waves of light, and one of the most marvellous, is that when some of them come from different or even from opposing sides, they produce their effect across one another without any hindrance.”

It is being said that the independence of the propagation of a bundle of light of the passage of other bundles on its path is explained by the wave theory of light, however, this is not so easily reconciled with the primitive corpuscular idea. The reproach often made in the XVIII. century to the Newtonian theory consisted just in saying that the collisions of the light corpuscles, i.e., a violation of the superposition, should be observed. An answer to this difficulty was the admission of the extreme smallness of the corpuscles: “I know – Lomonosov³ wrote addressing the defenders of the corpuscular hypothesis – that you divide the material of light into such fine particles and place them in universal space with so little density that the whole quantity can be compressed and packed in the porous crevices of one grain of sand.” Presently, optics is in the stage of the theoretical synthesis of the wave and corpuscular conceptions and the problem of the limits of the realizability of the superposition is becoming somewhat unclear again. Is it possible to assign to a quantum centre, accompanied by a wave, a reality of that kind that in encounters,

¹Presented at the session of the optical section of the VI Congress of Russian Physicists in Moscow on August 8, 1928

²Ch. Huyghens, Abhandlung über das Licht. (1678) Ostw. Kl. № 20, p. 25.

³М. В. Ломоносов, Слово о происхождении света. Собрание разных сочинений, ч. III [М. V. Lomonosov, Slovo o proiskhozhdenii sveta. Sobraenie raznykh sochinenii, ch. III], 1803, p. 155.

“collisions” of light quanta a perturbation of the initial propagation occurs?

556

If a violation of the superposition of the intensities of light bundles is possible at all, according to the principle of energy conservation it can only make its appearance by a change in the direction of light, its scattering, or a peculiar diffraction of waves off other, incoherent light quanta.

Experiment and theory have established a deep analogy between material particles and light quanta, both are accompanied by waves and the energy is concentrated in some kernel. In encounters of atomic or electron beams as well as in encounters of light and matter a scattering or diffraction of waves occurs. The scattering of electrons and atoms can qualitatively be explained by the occurrence of electrostatic forces independently of the wave theory of matter. The scattering of light by electrons and atoms has a wave as well as a corpuscular interpretation, however, the descriptions of the two partners in such a scattering are not the same. For the material partner the kernel is well studied and its waves are less known, conversely the data for the light waves are very precise but the information over the quantum kernel is limited to its energy and momentum. The study of the results of encounters of light quanta should clarify to some extent the questions arising here: Does in such an encounter a complete unhindered mutual penetration occur, or has a peculiar “impenetrability” to be ascribed to light quanta, and is, consequently, a “selfscattering” of light, or a diffraction of light waves off light quanta, possible? Can the quanta any effective size, i.e., a violation of the superposition in encounters be ascribed to as it is being done for atoms and protons on the basis of scattering?

Many times in recent years, attempts have been made to hypothetically ascribe to light quanta linear dimensions of the order of the wavelength of light waves. If these dimensions aspire to have some physical reality they could manifest themselves by the “selfscattering” mentioned. At the present stage of the theory of light, the question of the “extension” of the quanta, or, more precisely of the possible deviations from the superposition apparently cannot be considered as conclusively solved in the positive or negative sense and, therefore, one has primarily to turn to the experiment. § 2. A noticeable violation of the superposition, if possible at all, can obviously be expected at very large radiation energy densities only. As can be calculated easily, if the effective size of the quanta was of the order of the light wave we should observe a completely noticeable scattering of light when two bundles from the most modest light sources intersect. This is not so and, therefore, in reality the magnitude of such a quantity in any case has to be physically small or has a formal, symbolic character.

Under laboratory conditions, the highest instantaneous radiation densities can perhaps be obtained by means of the light of a condensed spark. Concentrating this light with a lense, instantaneous values of the light energy density that exceed the

557

corresponding value on the surface of the sun can be achieved easily. In this case, the average density is small due to the short duration and rareness of the sparks, but the hypothetical effect of the "collisions" of light quanta must be proportional to the square of the instantaneous density, therefore, a spark turns out to be considerably more advantageous than, for example, an arc. Preliminary experiments with a spark the light of which met in an evacuated container did not uncover any noticeable scattering. These observations have been carried out with the usual precautions, in front of distant container walls covered with black velvet; for control, the experiments have been repeated with the light of an incandescent lamp that delivered the same average radiation density; in both cases the result has been equally negative.

Incidentally, laboratory conditions are considerably surpassed in this respect by what observations of the sun yield. At the surface of the sun incoherent bundles originating from different radiating sections are intersecting each other; the intersections occur at very large radiation densities and in a huge volume whereby for an observer on earth the results sum up. In moments of total solar eclipse, when direct rays are blocked and the background is very dark we meet exceptionally good observational conditions, and the sun serves as the most convenient object for the establishment of the limits of the satisfiability of the superposition.

This way, the considered problem immediately makes contact with the problem of the solar corona. Until now, the nature of the corona remains mysterious in general and in particular.¹ The existing explanations for the corona as scattered light from cosmic dust surrounding the sun, as scattering from the molecules of a diluted gas, or an electron atmosphere, as fluorescence of a gas etc. are undoubtedly partially correct; however, neither taken for themselves nor together these factors are capable of quantitatively explaining the most intense part of the emission of the corona. In particular, for the explanation of the corona by means of the scattering in an electron gas one has to make hardly justified assumptions over the violation of the laws of electrodynamics near the sun.

In any case, for an observer on earth the corona is an inescapable condition for the observation which places a certain empirical accuracy limit on the assertion concerning the correctness of the superposition principle. Undoubtedly, at least a part of the general emission of the corona consists of light scattered off matter and, therefore, has no relation to a possible violation of the superposition. However, the general emission allows to establish an upper bound on the correctness of the principle.

¹A critical analysis of the different theories of the corona is given in the works of Anderson: Wilhelm Anderson. ZS. f. Phys. **28**, 299, 1924; **33**, 273, 1925; **34**, 453, 1925; **35**, 757, 1925; **37**, 342, 1926.

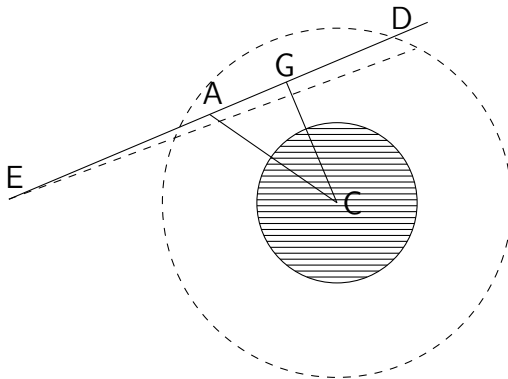
Let the line ED on fig. 1 connect a point under consideration A near the sun with the earth E . We denote by r_0 – the radius of the sun, by r – the distance CG (the perpendicular from the center of the sun onto the line ED), by x – the distance AG . The radiation density in the point A is proportional to:¹

$$1 - \sqrt{1 - \frac{r_0^2}{x^2 + r^2}} .$$

The average relative velocity of quanta colliding in the point A is proportional to sin of the angle formed by the average bundle of the cone of rays meeting in A and the axis of the cone.

Therefore, the average relative velocity of the quanta colliding in the point A is proportional to:

$$\sqrt{\frac{r_0^2}{x^2 + r^2}} .$$



The rate and direction of the scattering of light quanta can turn out to depend on the angle between the colliding quanta. Nothing can be said about this dependence because the phenomenon of “collisions” of quanta itself is completely hypothetical and unspecified. Formally, we characterize this dependence by means of a certain function

Fig. 1.

$$f(r, x).$$

The scattering from all volume elements lying infinitesimally close to the solid angle related to the vertex on earth merges for an observer on earth in perspective into one point of the corona; the number of volume elements grows proportionally to the square distance from earth, in turn the scattering intensity reaching the earth from these volumes decays inversely proportional with the square distance; this way, the distance from earth does not enter into the expression for the total scattering. In accordance with the assumptions made, the emission at a certain point of the corona at distance r from the center of the sun is expressed by the formula:

$$I = A_5 \int_0^\infty \left[1 - \sqrt{1 - \frac{r_0^2}{x^2 + r^2}} \right]^2 \cdot \left[\sqrt{\frac{r_0^2}{x^2 + r^2}} \right] \cdot f(r, x) \cdot dx. \quad (5)$$

¹Cf. W. Anderson, loc. cit.

Here, the assumption has been made that the radiation from all elements of the sun's surface is equal (this, of course, is not exactly the case) and should read

$$A_5 = kE^2, \dots \dots \dots (6)$$

where E – is the solar constant.

We assume that $f(r, x)$ does not depend, or weakly depends, on r .

Furthermore, we restrict ourselves to distances from the edge of the sun at which the average value of $x^2 + r^2$ under the integral is considerably larger than r_0^2 . Under these conditions the equation (5) assumes the simple form:

$$I = \frac{A_6}{R^4}, \dots \dots \dots (7)$$

where R has the same meaning as before.

An exact comparison of the empirical formulas (1), (2), (3), (4) with the theoretical formulas (6) and (7) makes no sense. The empirical formulas do not agree with each other, on the other hand a certain part of the emission of the corona is without any doubt caused by light scattering in matter and, therefore, the theoretical formula cannot fully be applied to the corona. Under these provisions,

TABLE 1.

R	(1)	(2)	(3)	(4)	(7)
1,8	11,6	21,0	20,0	6,1	7,7
2,0	6,5	10,4	10,0	3,9	5,0
2,5	2,2	2,9	2,7	1,8	2,0
3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3,5	0,55	0,40	0,45	0,64	0,54
4,0	0,31	0,18	0,24	0,43	0,31
4,5	0,20	0,09	0,14	0,32	0,20
5,0	0,14	0,05	0,18	0,25	0,13

however, one may speak of a satisfactory agreement between the theoretical and experimental formulas. In Table 1, the relative values for the intensity of the corona from $R = 1,8$ to $R = 5,0$, calculated by means of the formulas (1), (2), (3), (4), and (7), are listed, where the values for $R = 3,0$ are taken to be equal to 1. From the table, it can be seen that formula (7) well agrees with the most recent empirical formula (1). The agreement in the upper figures will increase if one does not confine

oneself to the approximate formula (7), but calculates the values I according to the fundamental formula (5) by assuming $f(x, r)$ to be constant. An acceptable agreement also exists with formula (4), on the other hand the formulas of Turner (2) and Becker (3) sharply disagree with (7).

As is clear from above, in the formulas (5) and (7) the constants A_5 or A_6 are proportional to the product of the intensities of the colliding bundles. If the radiation from the surface of the sun would be all over equal, A_5 and A_6 would simply be proportional to the square of the solar constant, what is also put as basis of (5). Due to the inhomogeneity of the emission of the sun the values of the constants A_5 and A_6 should fairly strongly differ for different radial directions of the corona, staying, however, practically unchanged along a given radius what agrees with observations¹. From the point of view of the considered hypothesis, in the case of a homogeneous emission of the sun the total radiation of the corona should be proportional to the square of the solar constant, but for inhomogeneous radiation be proportional to an even higher power of it. This conclusion also agrees with observations, as can be seen from table 2, taken from the work of Pettit and Nicholson²: the variation of the total emission is considerably larger than the variation of the solar constant.

562

TABLE 2.

Eclipse	Energy of the corona	Solar constant
1918	$228 \cdot 10^{-8} \frac{\text{cal.}}{\text{min.}} \text{ cm}^2$	$1,94 \frac{\text{cal.}}{\text{min.}} \text{ cm}^2$
1922	165	1,89
1925	214	1,93

The “selfscattering” hypothesis could furthermore explain the remarkable lack of Fraunhofer lines in the corona layers nearest to the sun. The vanishing of these lines might be effected by the Compton effect during “collisions” of light quanta thanks to which the details of the spectrum should be washed out and vanish practically.

It is without any doubt, that a significant part of the coronal phenomena, the radiant structure, the line spectrum, and others cannot have any relation to “selfscattering”.

¹Cf. H. Ludendorff, Sitzb. d. preuss. Akc. d. W., V, 1925, also. I. Balanovsky and E. Perepelkin, loc. cit.

²E. Pettit and Seth B. Nicholson, loc. cit.

These phenomena should be explained by the influence of matter surrounding the sun.

The arguments in favour of the "selfscattering" hypothesis given in this paragraph are of course not decisive. It is perfectly possible that other astrophysical theories will give a better justified explanation of the same facts and then one can raise the degree of accuracy by which the superposition principle can be stated and also diminish the hypothetical "impenetrable" extension of light quanta.

563

Moscow.

Institute of Biological Physics.

Received at the Redaction

on November 14, 1928.

REMARKS ON THE EMPIRICAL ACCURACY OF THE OPTICAL SUPERPOSITION PRINCIPLE.

By S. I. Vavilov

S u m m a r y.

1. The present theory of light leaves the question open yet, if the superposition principle can be assumed to be of unlimited validity, or, if in the case of very large radiation densities also a peculiar scattering of colliding incoherent bundles, as a result of "collisions" of light quanta, or the diffraction of light waves off other quanta, is to be expected.
2. For estimating the empirical upper validity limit of the superposition principle the situation in the vicinity of the sun's surface is most advantageous. As the total intensity of the solar corona shows, in collisions of light rays near the sun at maximum $1.8 \cdot 10^{-17}$ of the energy per *cm* can be scattered. If one could attribute the total radiation of the corona to "selfscattering" of light, the superposition principle near the sun still would be fulfilled with an accuracy of $1.8 \cdot 10^{-17}$.
3. Up to now there is no satisfactory theory of the solar corona, consequently preliminarily also the hypothesis of "selfscattering" of light near the sun can be discussed. Some properties of the corona, the gradient of the emission, the large variation of the total intensity of the corona, the small variation of the solar constant, etc., can be interpreted, at least qualitatively, from the point of view of the hypothesis.

Supplementary information

Translator's notes:

1. Given the copyright situation in the Soviet Union at the time of publication (1928) of the original article it seems reasonable to assume that the article is in the public domain.
2. The numbers on the right margin of the English translation refer to the page numbers of the original article. A facsimile of the original article is appended (see p. P-19).
3. Concerning footnote 2 on p. 555 [T-1]: The translation is quoted here after the English translation of *Traité de la Lumière*: [3], pp. 21-22.
4. Concerning footnote 3 on p. 555 [T-1]: The translation is quoted here after: [4], specifically p. 251.
5. The content of the present article constitutes an essential part of part 2, chap. 1, § 2 of the book *Микроструктура света (Исследования и очерки)* [*Mikrostruktura sveta (Issledovaniya i ocherki)*]/[*The Microstructure of Light (Research and Essays)*] by Vavilov [5].

Noticed misprints

In the original article, the following misprints have been noticed and corrected in the English translation:

- Footnote 3 on p. 555 [T-1]: The footnote should read correctly:
М. В. Ломоносов, Слово о происхождении света. Полное собрание сочинений, ч. III, 1803, стр. 105. [M. V. Lomonosov, Slovo o proiskhozhdenii sveta. Polnoe sobranie sochineniĭ, ch. III, 1803, str. 105].
- Footnote 1 on p. 558 [T-4]: The journal page number should read correctly: 740.
- Footnote 2 on p. 559 [T-5]: The journal page number should read correctly: 202.
- Item 2. of the Summary on p. 563 [T-9]: In the second sentence, *sm* should read correctly: *cm*.

Acknowledgements

I am indebted to T. B. Avrutskaya (museum cabinet of academician N. I. Vavilov, Vavilov Inst. General Genetics, Moscow) and M. S. Aksent'eva (redaction of the journal Usp. Fiz. Nauk, Moscow) for their invaluable help in exploring the copyright situation of the original Russian article.

Literature

[For references in Cyrillic letters, we apply the (new) *Mathematical Reviews* transliteration (transcription) scheme (to be found at the end of index issues of *Mathematical Reviews*). Chinese references are transcribed using Hanyu Pinyin with tone marks.]

Full details of the cited literature (ordered alphabetically by author names):

W. Anderson: Über die Existenzmöglichkeit von kosmischem Staube in der Sonnenkorona [On the possible existence of cosmic dust in the solar corona]. *Zeitschrift für Physik* **28**:1(1924)299-324 (DOI: [10.1007/BF01327186](https://doi.org/10.1007/BF01327186)). [in German]

W. Anderson: Die physikalische Natur der Sonnenkorona. I [The physical nature of the solar corona. I]. *Zeitschrift für Physik* **33**:1(1925)273-301 (DOI: [10.1007/BF01328312](https://doi.org/10.1007/BF01328312)). [in German]

W. Anderson: Die physikalische Natur der Sonnenkorona. II [The physical nature of the solar corona. II]. *Zeitschrift für Physik* **34**:1(1925)453-473 (DOI: [10.1007/BF01328489](https://doi.org/10.1007/BF01328489)). [in German]

W. Anderson: Die physikalische Natur der Sonnenkorona. III [The physical nature of the solar corona. III]. *Zeitschrift für Physik* **35**:10(1925)757-775 (DOI: [10.1007/BF01386043](https://doi.org/10.1007/BF01386043)). [in German]

W. Anderson: Die physikalische Natur der Sonnenkorona. IV [The physical nature of the solar corona. IV]. *Zeitschrift für Physik* **37**:4-5(1926)342-366 (DOI: [10.1007/BF01397106](https://doi.org/10.1007/BF01397106)). [in German]

I. Balanovsky, E. Perepelkin: The distribution of brightness in the solar corona of 1927 June 29. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **88**:9(1928)740-750. The article is freely available online from the SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS) site: <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1928MNRAS..88..740B>.

Ch. Huyghens: *Abhandlung über das Licht. Worin die Ursachen der Vorgänge bei seiner Zurückwerfung und Brechung und besonders bei der eigenthümlichen Brechung des isländischen Spathes dargelegt sind.* Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften, Vol. 20. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1890 (The book is freely available online at the Internet Archive site:

<http://www.archive.org/details/abhandlungberda00mewegoog>). [in German] Translated from the French original: Ch. Huygens: *Traité de la Lumière où sont expliquées les causes de ce qui luy arrive dans la reflexion, & dans la refraction. Et particulièrement dans l'étrange refraction du cristal d'Islande*. Pierre van der Aa, Leiden, 1690 (The book is freely available online from the ETH Zurich Library site given by the DOI: [10.3931/e-rara-3766](https://doi.org/10.3931/e-rara-3766)). Reprinted in: Ch. Huygens: *Œuvres Complètes. Tome XIX. Mécanique Théorique et Physique de 1666 à 1695*. Martinus Nijhoff, The Hague, 1937, pp. 451-548 (The text is freely available online from the Digitale Bibliotheek voor de Nederlandse Letteren (Digital Library of Dutch Literature) site: http://www.dbnl.org/tekst/huyg003oeuv19_01/downloads.ph . The book is freely available online at the Gallica Site of the Bibliothèque Nationale de France: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k77868x>). English translation: [3].

М. В. Ломоносов [M. V. Lomonosov]: *Слово о происхождении свѣта, новую теорію о цвѣтахъ представляющее, въ публичномъ собраніи императорской Академіи наукъ іюля 1 дня 1756 года говоренное Михайломъ Ломоносовымъ* [*Slovo o proiskhozhdenii svĕta, novuyu teoriyu o tsvĕtakh*] *predstavlyayushchee, v* "publichnom" *sobranii imperatorskoĭ Akademii nauk* " іюля 1 дня 1756 года говоренное Михайломъ Ломоносовымъ". Императорская Академія наук [Imperatorskaya Akademīya nauk"], St. Petersburg, 1757. [in Russian] Reprinted in: 1. *Полное собраніе сочиненій Михаила Васильевича Ломоносова. Часть третія* [*Polnoe sobranie sochinenii Mikhaila Vasil'evicha Lomonosova. Chast' tretiyaya*]. Императорская Академія наукъ [Imperatorskaya Akademīya nauk"], St. Petersburg, 1803, pp. 105-142 (The book is freely available online at the site: <http://imwerden.de/cat/modules.php?name=books&pa=showbook&pid=2666>).

2. *Сочиненія М. В. Ломоносова съ объяснительными примѣчаніями академика М. И. Сухомлинова* [*Sochineniya M. V. Lomonosova s* "ob"yasnitel'nyimi primĕchaniyami akademika M. I. Sukhomlinova]. Vol. 4. Императорская Академія наукъ [Imperatorskaya Akademīya nauk"], St. Petersburg, 1898, item XIII, p. 392-424 (The book is freely available online at the following site of the Russian Academy of Sciences: <http://nasledie.enip.ras.ru/ras/view/publication/general.html?id=42070256>). 3. М. В. Ломоносов [M. V. Lomonosov]: *Слово о происхождении света, новую теорию о цвѣтахъ представляющее, в публичномъ собраніи императорской Академіи Наукъ іюля 1 дня 1756 года говоренное Михайломъ Ломоносовымъ* [*Slovo o proiskhozhdenii svĕta, novuyu teoriyu o tsvĕtakh predstavlyayushchee, v publichnom sobranii imperatorskoĭ Akademii Nauk iyulya 1 dnya 1756 goda govorennoe Mikhailom Lomonosovym*]. In: *Полное собраніе сочиненій. Том Третій. Труды по физике 1753-1765 гг.* [*Polnoe sobranie sochinenii. Tom tretii. Trudy po fizike 1753-1765 gg.*]. Издательство Академіи наук СССР

[Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR], Moscow, 1952, item 15, pp. 315-344 (The book is freely available online at the site:

<http://lomonosov300.ru/6158.htm>). English translation: [4], pp. 247-269.

H. Ludendorff: Spektralphotometrische Untersuchungen über die Sonnenkorona [Spectral photometric investigations on the solar corona]. *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse* (1925) No. 5, 83-113. [in German]

Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. Band 5: Physik der Erde und des Kosmos (einschl. Relativitätstheorie), Hälfte 2: Physik des Kosmos (einschl. Relativitätstheorie), 11. ed.. Vieweg, Braunschweig, 1928. [in German]

E. Pettit, S. B. Nicholson: Radiation measurements of the solar corona January 24, 1925. *Astrophysical Journal* **62**:3(1925)202-225 (DOI: [10.1086/142926](https://doi.org/10.1086/142926)). The article is freely available online from the SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS) site: <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1925ApJ....62..202P>.

Further references:

- [1] J. C. Poggendorff: *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch der exakten Wissenschaften. Band VIIb, Berichtsjahre 1932 bis 1962*. In 9 Teilen. Akademie-Verlag, Berlin, 1967-1992.
- [2] С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]: *Собрание сочинений. Том I - Работы по физике 1914-1936* [*Sobranie sochinenii. Tom I - Raboty po fizike 1914-1936*]. Издательство Академии наук СССР [Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR]/[Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR], Moscow, 1954 (The book is freely available online at the following site of the Russian Academy of Sciences: <http://nasledie.enip.ras.ru/ras/view/publication/general.html?id=43932907>).
- [3] Ch. Huygens: *Treatise on Light in which are explained the cause of that which occurs in reflexion, & in refraction. And particularly in the strange refraction of Iceland crystal*. Translated by S. P. Thompson. University of Chicago Press, Chicago, Macmillan, London, 1912 (The text is freely available online as eBook from The Project Gutenberg, <http://www.gutenberg.org/dirs/1/4/7/2/14725> . The book is freely available online at the Internet Archive site: <http://www.archive.org/details/treatiseonlight031310mbp>). Reprint: Dover Books on History of Science and Classics of Science, Vol. 179. Dover Publications, New York, 1962.
- [4] М. Ломоносов: Oration on the origin of light. A new theory of color, presented in a public meeting of the Imperial Academy of Sciences, July 1, 1756. In: *Mikhail Vasil'evich Lomonosov on the Corpuscular Theory*. Translated, with an Introduction, by H. M. Leicester. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1970, pp. 247-269 (The book is freely available online at the Internet Archive site: <http://www.archive.org/details/mikhailvasilevic017733mbp>).
- [5] С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]: *Микроструктура света (Исследования и очерки)* [*Mikrostruktura sveta (Issledovaniya i ocherki)*]. Серия «Итоги и проблемы современной науки» [Seriya «Itogi i problemy sovremennoy nauki»]. Издательство Академии наук СССР [Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR], Moscow, 1950 (The book is freely available online at the following site of the Russian Academy of Sciences: <http://nasledie.enip.ras.ru/ras/view/publication/general.html?id=46540521>). [in Russian] Reprinted in: С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]: *Собрание сочинений. Том II - Работы по физике 1937-1951* [*Sobranie sochinenii. Tom II - Raboty po fizike 1937-1951*]. Издательство Академии наук СССР [Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR], Moscow,

1954, pp. 381-544 (The reprint is freely available online at the following site of the Russian Academy of Sciences: <http://nasledie.enip.ras.ru/ras/view/publication/general.html?id=43460755>).

Translations (no English transl.):

1. Chinese: 瓦维洛夫 [Wǎ wéi luò fu]: 光的微观结构. 研究和概略 [Guāng de wéiguān jiégòu. Yánjiū hé gàilüé]. 中国科学院 [Zhōngguó kēxuéyuàn]/[Chinese Academy of Sciences], Beijing, 1954.
2. French: S. I. Vavilov: *Micro-structure de la lumière*. Editions en Langues Étrangères, Moscow, s.d..
3. German: S. I. Wawilow: *Die Mikrostruktur des Lichtes. Untersuchungen und Grundgedanken*. Akademie-Verlag, Berlin, 1953.
4. Hungarian: Sz. I. Vavilov: *A fény mikrostruktúrája*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1955.
5. Polish: S. I. Wawilow: *Mikrostruktura światła. Badania i szkice*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warsaw, 1953.
6. Romanian: S. I. Vavilov: *Mikrostruktura Lumini (Cercetări și Studii)*. Editura Academiei Republicii Populare Române, Bucarest, 1953.
7. Ukrainian: С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]: *Мікроструктура світла [Mikrostruktura svītla]*. Радянська школа [Radyans'ka shkola], Kiev, 1956.

ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА СУПЕРПОЗИЦИИ.¹

С. И. Вавилов.

§ 1. Нижеследующие замечания относятся к суперпозиции интенсивностей некогерентных световых пучков. В учении о волновом движении этот принцип рассматривается как среднее статистическое следствие теоремы о сложении амплитуд, причем последняя теорема либо вполне точна (электромагнитная теория), либо имеет ограниченную применимость для малых амплитуд (упругие теории). В дальнейшем принцип суперпозиции рассматривается главным образом как опытный факт, долженствующий играть некоторую роль при суждении о справедливости того или иного воззрения на природу света. Об этом эмпирическом принципе Гюйгенс² писал: «Удивительнейшее свойство света состоит в том, что лучи, идущие из различных и даже противоположных направлений, проходят один сквозь другой, нисколько не препятствуя обоюдным действиям».

Независимость распространения светового пучка от прохождения других пучков на его пути объясняется, как сказано, волновой теорией света, но не столь легко примиряется она с примитивным корпускулярным представлением. Упрек, который в XVIII в. часто делали ньютоновской теории, заключался именно в том, что должны обнаруживаться соударения световых корпускул, т. е. нарушение суперпозиции. Выходом из затруднения было допущение крайней малости корпускул: «Знаю, — писал Ломоносов³ по адресу защитников корпускулярной гипотезы, — что вы разделяете материю света на толь малые частицы и толь редко оную по всемирному пространству поставляете, что все оное количество может сжаться и уместиться в порожних скважинах одной песчинки». В наше время оптика находится в стадии теоретического синтеза волнового и корпускулярного воззрения и вопрос о пределах выполнимости суперпозиции снова становится несколько неясным. Можно ли приписать квантовому центру, сопровождаемому волной,

¹ Доложено на заседании оптической секции VI съезда русских физиков в Москве 8 августа 1928 г.

² С h. H u y g h e n s Abhandlung über das Licht. (1678 г.) Ostw. Kl. № 20, стр. 25.

³ М. В. Ломоносов, Слово о происхождении света. Собрание разных сочинений, ч. III, 1803, стр. 155.

реальность такого рода, что при встречах, «соударениях» световых квантов произойдет возмущение первоначального распространения?

Если нарушение суперпозиции интенсивностей световых пучков вообще возможно, то по закону сохранения энергии оно может проявиться только изменением направления света, его рассеянием, или своеобразной диффракцией волн от посторонних, некогерентных световых квантов.

Опыт и теория установили глубокую аналогию между материальными частицами и световыми квантами, те и другие сопровождаются волнами и энергия сосредоточена в некотором ядре. При встрече атомных или электронных пучков, а также при встрече света и материи происходит рассеяние, или диффракция волн. Рассеяние электронов и атомов может быть качественно объяснено проявлением электростатических сил независимо от волновой теории материи. Рассеяние света электронами и атомами имеет и волновую и корпускулярную интерпретацию, однако сведения о двух партнерах при таком рассеянии не одинаковы. У материального партнера хорошо изучено ядро и менее известны его волны, наоборот данные о световых волнах очень точны, но сведения о квантовом ядре ограничиваются его энергией и импульсом. Изучение результатов встречи световых квантов должно несколько разъяснить возникающие здесь вопросы: происходит ли при такой встрече полное беспрепятственное взаимное проникание, или же световым квантам следует приписать своеобразную «непроницаемость», а следовательно возможно «саморассеяние» света, или диффракция световых волн от световых квантов? Можно ли приписать кванту какие-либо эффективные размеры, так же как это делается в отношении атомов и протонов на основании рассеяния, т. е. нарушения суперпозиции при встречах?

Много раз за последние годы делались попытки гипотетически приписать световым квантам линейные размеры порядка длины световой волны. Если эти размеры претендуют на какую-либо физическую реальность, они могли бы проявляться указанным «саморассеянием». При современном состоянии теории света вопрос о «размерах» квантов, или, точнее, о возможных отклонениях от суперпозиции, повидимому, нельзя считать окончательно разрешенным в утвердительном или отрицательном смысле и поэтому прежде всего следует обратиться к опыту.

§ 2. Заметного нарушения суперпозиции, если таковое вообще возможно, следует ожидать, очевидно, только при очень больших плотностях лучистой энергии. Но если бы эффективные размеры квантов были порядка световой волны, то при самых скромных источниках света, как легко рассчитать, мы должны бы наблюдать вполне заметное рассеяние света при пересечении двух пучков. Этого нет, и, следовательно, размеры такой величины во всяком случае физически мало реальны, или имеют условный, символический характер.

Едва ли не самые большие мгновенные плотности радиации в

лабораторных условиях получаются при помощи света конденсированной искры. Концентрируя этот свет линзой, легко добиться мгновенных значений плотности лучистой энергии, превышающих соответствующие значения у поверхности Солнца. Средняя плотность в этом случае мала вследствие краткой длительности и редкости искр, но гипотетический эффект «соударений» световых квантов должен быть пропорциональным квадрату мгновенной плотности, поэтому искра оказывается значительно выгоднее, чем, например, дуга. Предварительные опыты с искрой, свет которой сходиллся внутри эвакуированного сосуда, не обнаружили заметного рассеяния. Наблюдения при этом производились с обычными предосторожностями, на фоне далеко отстоящих стенок сосуда, оклеенных черным бархатом; для контроля опыты повторялись со светом лампы накаливания, которая давала такую же среднюю плотность радиации; в обоих случаях результат был одинаково отрицательным.

Впрочем, лабораторные условия в этом отношении значительно превосходятся тем, что дают наблюдения Солнца. У поверхности Солнца пересекаются некогерентные пучки, исходящие из разных светящихся участков: пересечения происходят при очень больших плотностях радиации и в огромном объеме, причем результаты для земного наблюдателя суммируются. В моменты полных солнечных затмений, когда прямые лучи задержаны и фон является очень темным, мы находимся в исключительно хороших условиях наблюдения, и Солнце служит наиболее удобным объектом для установления пределов выполнимости суперпозиции.

Рассматриваемая проблема, таким образом, непосредственно сопрягается с вопросом о солнечной короне. Природа короны до сих пор в общем и в частности остается загадочной.¹ Существующие объяснения короны как рассеянного света от космической пыли, окружающей Солнце, как рассеяния от молекул разреженного газа, или электронной атмосферы, как флюоресценции газа и т. д. несомненно частично справедливы; однако и порознь и вместе эти факторы не в состоянии количественно истолковать наиболее интенсивной части свечения короны. В частности для объяснения короны рассеянием в электронном газе приходится делать мало правдоподобные предположения о нарушении законов электродинамики вблизи Солнца.

Для земного наблюдателя корона во всяком случае — неизбежное условие наблюдения, которое ставит некоторый эмпирический предел точности утверждения о справедливости принципа суперпозиции. Несомненно, что по крайней мере часть общего свечения короны является рассеянием света в материи, а потому не имеет отношения к возможному нарушению суперпозиции.

¹ Критический анализ различных теорий короны дан в работах Андерсона: Wilhelm Anderson. *ZS. f. Phys.* 28, 299, 1924; 33, 273, 1925; 34, 453, 1925; 35, 757, 1925; 37, 342, 1926.

Общее свечение позволяет, однако, установить верхний предел справедливости принципа.

Для приближенного подсчета этого предела можно исходить, из того факта, что суммарное свечение короны, как показывают фотографии примерно на половину исчерпывается на расстояниях в половину солнечного радиуса от края Солнца. Для более точного расчета можно воспользоваться эмпирическими формулами для закона убывания яркости короны с расстоянием. Например, по данным Балановской и Перепелкиной¹ для затмения 29 июня 1927 г. яркость короны I на расстоянии R от центра Солнца (R — выражено в солнечных радиусах) определяется формулой:

$$I = \frac{A_1}{(R - 0,849)^2} \dots \dots \dots (1)$$

Отсюда легко вычислить, что половина общего свечения короны сосредоточена в пределах 0,4 солнечного радиуса. Суммарное свечение короны составляет приблизительно $1 \cdot 10^{-6}$ общей солнечной радиации.² Половина этого количества, т. е. $5 \cdot 10^{-7}$ рассеивается на протяжении в 0,4 солнечного радиуса, т. е. на пути в $2,8 \cdot 10^{10}$ см. Таким образом, в среднем на каждом см пути около Солнца световой луч теряет по всем существующим там причинам рассеяния $\frac{5 \cdot 10^{-7}}{2,8 \cdot 10^{10}}$, т. е. около

$$\boxed{1,8 \cdot 10^{-17}}$$

своей энергии. Такой верхний предел точности выполнения принципа суперпозиции вблизи Солнца, т. е. в условиях, исключительно благоприятных для его предположительного нарушения. Даже в случае отсутствия конкурирующих причин «саморассеянию» света можно было бы приписать только $1,8 \cdot 10^{-17}$ энергии пересекающихся весьма интенсивных световых пучков. Отсюда ясно, насколько трудно, если вообще не безнадежно, обнаружить в лаборатории такое рассеяние, если бы оно и было реальным. С конденсированной искрой легко добиться в течение короткого времени около $1 \cdot 10^{-6}$ сек. светового потока мощностью в $10^{11} \frac{\text{эрг.}}{\text{см}^2}$ сек., такой же, как около Солнца. Светорассеяние в секунду во все стороны в предельном благоприятном случае могло бы составить (при 100 искрах в секунду) только $1,8 \cdot 10^{-17} \cdot 10^{11} \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 = 1,8 \cdot 10^{-10}$ эргов в секунду. Фактически наблюдению подлежала бы величина в десятки или даже сотни раз меньшая порога зрительного раздражения.

¹ I. Balanovsky and E. Perepelkin. Monthly Notices of Roy. Astr. Soc. 88, 748, 1928.

² Ср. Müller-Pouillet, Lehrbuch des Physik, B. V, 2-te Hälfte, стр. 157.

Слабость свечения солнечной короны показывает таким образом, что принцип суперпозиции, по крайней мере для видимого света, является одним из точнейших положений оптики.

§ 3. Можно ли, уверенно утверждая столь широкие пределы применимости суперпозиции, одновременно видеть в солнечной короне аргумент в пользу существования «саморассеяния света»? Если какой-либо астрофизической теории удастся дать убедительное объяснение короны в ее наиболее интенсивной части, вопрос естественно отпадает; до тех пор пока этого нет и пока теория света не приняла конкретных форм, гипотеза «саморассеяния» как будто бы имеет право дискутироваться наравне с другими предположениями. К сожалению, прямой путь решения, земной *experimentum crucis*, как объяснено выше, едва ли осуществим.

Некоторые характерные свойства короны находят простое толкование с точки зрения гипотезы «саморассеяния». Яркость короны быстро убывает по мере удаления от края Солнца. Существует несколько эмпирических формул, выражающих зависимость яркости от расстояния,¹ эти формулы сильно отличаются одна от другой. Для малых расстояний от Солнца в некоторых случаях хорошо выполняется формула Тэрнера²

$$I = \frac{A_2}{R^3}, \dots \dots \dots (2)$$

где $R = \frac{r}{r_0}$ (r — расстояние от центра Солнца, r_0 — радиус Солнца). Беккером предложена формула:

$$I = \frac{A_3}{(R - 0,72)^4} \dots \dots \dots (3)$$

Кубическая формула (1) приведена выше. На больших расстояниях результаты наблюдений иногда хорошо согласуются с формулой Бергстранда:

$$I = \frac{A_4}{(R - 1)^2} \dots \dots \dots (4)$$

До сих пор, повидимому, не выяснено, соответствует ли такое разнообразие формул действительным изменениям в короне, или является только результатом несовершенства измерений.

С точки зрения гипотезы о соударениях световых квантов интенсивность рассеянного света в данном месте должна быть пропорциональной числу соударений квантов, т. е. прежде всего произведению квадрата плотности радиации на относительную скорость соударяющихся квантов.

¹ Ср. W. Anderson. ZS. f. Physik 35, 757, 1926.

² Ср. E. Pettit und Seth. B. Nicholson. Astrophys. Journ. 62, 222, 1925.

Пусть линия ED на рис. 1 соединяет рассматриваемую точку A около Солнца с Землей E . Обозначим через r_0 — радиус Солнца, через r — расстояние CG (перпендикуляр из центра Солнца на линию ED), через x — расстояние AG . Плотность радиации в точке A пропорциональна:¹

$$1 - \sqrt{1 - \frac{r_0^2}{x^2 + r^2}}.$$

Средняя относительная скорость квантов, соударящихся в точке A , пропорциональна \sin угла, образуемого средним пучком конуса лучей, встречающихся в A , с осью конуса.

Отсюда средняя относительная скорость встречающихся в точке A квантов пропорциональна:

$$\sqrt{\frac{r_0^2}{x^2 + r^2}}.$$

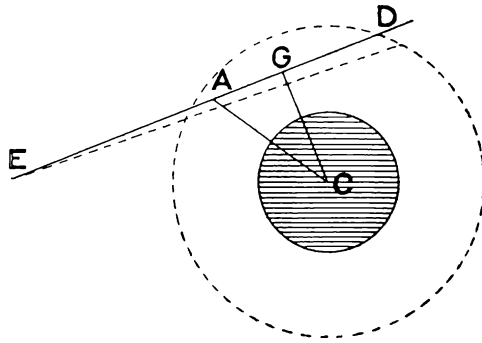


Рис. 1.

Величина и направление рассеяния для световых квантов может оказаться зависящей от угла, образуемого встречающимися квантами. Сказать что-либо об этой зависимости нельзя, поскольку само явление «соударений» квантов является совершенно гипотетическим и неопределенным. Формально мы характеризуем эту зависимость некоторой функцией

$$f(r, x).$$

Рассеяние от всех элементарных объемов, лежащих в пределах бесконечно малого телесного угла с вершиной на Земле, складывается для земного наблюдателя в перспективе в одну точку короны; величина элементарных объемов растет пропорционально квадрату расстояния от Земли, наоборот интенсивность рассеяния, доходящая до Земли от этих объемов, убывает обратно пропорционально квадратам расстояния; таким образом, в выражение для суммарного рассеяния расстояние от Земли не войдет. Свечение в некоторой точке короны на расстоянии r от центра Солнца согласно сделанным предположениям выразится формулой:

$$I = A_3 \int_0^{\infty} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{r_0^2}{x^2 + r^2}} \right]^2 \cdot \left[\sqrt{\frac{r_0^2}{x^2 + r^2}} \right] \cdot f(x, r) \cdot dx \dots (5)$$

При этом сделано предположение, что радиация со всех элементов

¹ См. W. Anderson, loc. cit.

солнечной поверхности одинакова (что, разумеется, не точно) и, стало быть,

$$A_s = kE^2, \dots \dots \dots (6)$$

где E — солнечная постоянная.

Предположим, что $f(r, x)$ не зависит или мало зависит от r .

Ограничимся далее такими расстояниями от края Солнца, при которых среднее значение $x^2 + r^2$ под интегралом значительно больше r_0^2 . При таких условиях формула (5) примет простой вид:

$$I = \frac{A_s}{R^4}, \dots \dots \dots (7)$$

где R имеет прежнее значение.

Не может быть речи о точном сравнении эмпирических формул (1), (2) (3), (4) с теоретическими формулами (6) и (7). Эмпирические формулы не согласуются между собой, с другой стороны некоторая часть свечения короны несомненно вызывается рассеянием света в материи, и потому теоретическая формула не вполне применима к короне. С такими оговорками

ТАБЛИЦА 1.

R	(1)	(2)	(3)	(4)	(7)
1,8	11,6	21,0	20,0	6,1	7,7
2,0	6,5	10,4	10,0	3,9	5,0
2,5	2,2	2,9	2,7	1,8	2,0
3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3,5	0,55	0,40	0,45	0,64	0,54
4,0	0,31	0,18	0,24	0,43	0,31
4,5	0,20	0,09	0,14	0,32	0,20
5,0	0,14	0,05	0,18	0,25	0,13

можно, однако, говорить о довольно удовлетворительном согласии теоретических и эмпирических формул. В таблице 1 сопоставлены относительные значения яркости короны от $R=1,8$ до $R=5,0$, вычисленные по формулам (1), (2), (3), (4) и (7), причем значения при $R=3,0$ приравнены 1. Из таблицы видно, что формула (7) хорошо согласуется с самой свежей эмпирической формулой (1). Согласие в верхних цифрах будет лучше, если не ограничиваться приближенной формулой (7), но вычислить значения I по основной формуле (5), полагая $f(x, r)$ постоянной. Сносное согласие имеется также с формулой (4), с другой стороны формулы Тэрнера (2) и Беккера (3) резко расходятся с (7).

В формулах (5) и (7), как ясно из предыдущего, постоянные A_5 или A_6 пропорциональны произведению интенсивностей встречающихся пучков. Если бы излучение солнечной поверхности всюду было одинаковым, то A_5 и A_6 были бы просто пропорциональны квадрату солнечной постоянной, что и положено в основу (5).

Вследствие неравномерности свечения Солнца значения постоянных A_5 и A_6 должны довольно резко отличаться по различным радиальным направлениям короны, оставаясь, однако, практически неизменными вдоль данного радиуса, что согласуется с наблюдениями¹. Суммарное свечение короны, с точки зрения рассматриваемой гипотезы, при равномерной радиации Солнца должно быть пропорциональным квадрату солнечной постоянной, а при неравномерной радиации еще более высоким степеням. Это следствие также согласуется с наблюдениями, как видно из таблицы 2, взятой из работы Петтита и Никольсона²: колебания суммарного свечения значительно резче, чем колебания солнечной постоянной.

ТАБЛИЦА 2.

Затмение	Энергия короны	Солн. постоянная
1918 г.	$228 \cdot 10^{-8} \frac{\text{кал.}}{\text{мин.}} \text{ см}^2$	$1,94 \frac{\text{кал.}}{\text{мин.}} \text{ см}^2$
1922 >	165	1,89
1925 >	214	1,93

Гипотеза «саморассеяния» могла бы далее объяснить примечательный факт отсутствия линий Фраунгофера в ближайших к Солнцу слоях короны. Исчезновение этих линий могло бы вызываться эффектом Комптона при «соударениях» световых квантов, благодаря чему детали спектра должны размываться и практически исчезать.

Несомненно, что значительная доля корональных явлений, лучистая структура, линейный спектр и пр. не может иметь никакого отношения к «саморассеянию». Эти явления должны объясняться действиями материи, окружающей Солнце.

Приведенные в этом параграфе некоторые доводы в пользу гипотезы «саморассеяния» света, конечно, не являются решающими. Весьма воз-

¹ Ср. Н. Ludendorff. Sitzb. d. preuss. Akc. d. W., V, 1925, также. I. Balanovsky und E. Peredelkin, loc. cit.

² E. Pettit and Seth B. Nicholson, loc. cit.

можно, что другие астрофизические теории дадут более правдоподобное объяснение тех же фактов, и тогда удастся еще повысить степень точности, с которой может утверждаться принцип суперпозиции и еще понизить гипотетические «непроницаемые» размеры светового кванта.

Москва.
Институт биологической физики.
Поступило в Редакцию
14 ноября 1928 г.

BEMERKUNGEN ZUR EMPIRISCHEN GENAUIGKEIT DES OPTISCHEN SUPERPOSITIONSPRINZIPS.

Von. *S. I. Wawilow.*

Zusammenfassung.

1. Die gegenwärtige Theorie des Lichtes lässt es noch unklar, ob das Superpositionsprinzip als unbegrenzt gültig angenommen werden darf, oder bei sehr grossen Strahlungsdichten auch eigenartige Zerstreuung der zusammenstossenden inkohärenten Bündeln zu erwarten ist, infolge der «Zusammenstössen» der Lichtquanten, oder der Diffraktion der Lichtwellen an den fremden Quanten.

2. Zur Schätzung der empirischen oberen Grenze der Gültigkeit des Superpositionsprinzips sind die Verhältnisse in der Nähe der Sonnenoberfläche am vorteilhaftesten. Wie die gesammte Intensität der Sonnenkorona zeigt, kann bei Zusammentreffen der Lichtstrahlen in der Nähe der Sonne grösstens nur $1,8 \cdot 10^{-17}$ der Energie pro *sm* zerstreut werden. Wenn man die gesammte Strahlung der Korona der «Seldstzerstreuung» des Lichtes zuschreiben könnte, so würde doch das Superpositionsprinzip in der Nähe der Sonne mit der Genauigkeit $1,8 \cdot 10^{-17}$ erfüllt.

3. Bis jetzt gibt es noch keine befriedigende Theorie der Sonnenkorona, so dass vorläufig auch die Hypothese der «Seldstzerstreuung» des Lichtes in der Nähe der Sonne diskutiert werden kann. Einige Eigenschaften der Korona, der Gradient des Leuchtens, die grossen Schwankungen der gesammten Intensität der Korona bei kleinen Schwankungen der Solarkonstante u. s. w. können vom Standpunkte dieser Hypothese wenigstens qualitativ gedeutet werden.

Ответственный редактор *А. Ф. Иоффе.*

II, 21. Гиз № 29549/м. Ленинградский Областлит № 20834. Тираж 1 000 6¹/₂ л.

Типография «Печатный Двор», Ленинград, Гатчинская 26.