



HAL
open science

On the article by S. I. Vavilov: "Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle" [Engl. transl. of Zh. Russk. Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz. 61(1929)215]

Konstantin Nikolaevich Shaposhnikov

► **To cite this version:**

Konstantin Nikolaevich Shaposhnikov. On the article by S. I. Vavilov: "Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle" [Engl. transl. of Zh. Russk. Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz. 61(1929)215]. 2017. hal-01620890

HAL Id: hal-01620890

<https://hal.science/hal-01620890>

Preprint submitted on 21 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.

October 2017

On the article by S. I. Vavilov: “Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle” [Engl. transl. of Zh. Russk. Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz. **61**(1929)215]

Konstantin Nikolaevich Shaposhnikov (1880-??) [1]
Polytechnical Institute, Ivanovo-Voznesensk

Full source details:

К. Шапошников [K. Shaposhnikov]: По поводу статьи С. И. Вавилова: «Замечания об эмпирической точности оптического принципа суперпозиции» [Po povodu stat'i S. I. Vavilova: «Zamechaniya ob èmpiricheskoi tochnosti opticheskogo printsipa superpozitsii»]/[On the article by S. I. Vavilov: “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. LXI–1929, No. 3, pp. 215–217. [in Russian]

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

Contents

English translation of the article (T-1 = P-3)	T-1
Supplementary information	P-7
Translator's notes	P-7
Acknowledgements	P-7
Literature	P-7
Full details of the cited literature	P-7
Further references	P-8
Facsimile of the original article	P-9

On the article by S. I. Vavilov: “Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle”.¹

K. Shaposhnikov.

Prof. Vavilov writes: “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”. It is extremely strange and not understandable why Prof. Vavilov contrasts the developed wave theory with the “primitive corpuscular idea” and does not say anything about the more or less developed corpuscular theory.

In the following lines I will show that the superposition principle (the independence of the propagation of waves from the encounters of waves) is extremely easily reconciled with the mechanical (corpuscular) theory of light.

Indeed, let us assume that an encounter of two quanta of light occurs: one has the energy $h\nu$ and the momentum $\frac{h\nu}{c}$ before the collision, the other $h\nu_1$ and $\frac{h\nu_1}{c}$, respectively. After the collision, the first one has got the energy $h\nu'$ and the momentum $\frac{h\nu'}{c}$, the second $h\nu'_1$ and $\frac{h\nu'_1}{c}$, respectively. In the case of an elastic collision, the principle of energy conservation demands:

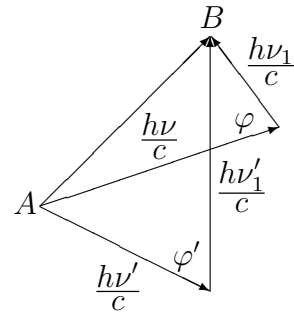


Fig. 1.

$$h\nu + h\nu_1 = h\nu' + h\nu'_1 \tag{1}$$

or:

$$\nu + \nu_1 = \nu' + \nu'_1 \dots \dots \dots \tag{2}$$

¹ С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]. Ж.Р.Ф.-Х.О. (ч. физич.) [Zh.R.F.-Kh.O. (ch. fizich.)] 60, 555, 1928.

The principle of momentum conservation, on its turn, gives after division by $\frac{h^2}{c^2}$ (cf. fig. 1).

$$\nu^2 + \nu_1^2 - 2\nu\nu_1 \cos \varphi = \nu'^2 + h\nu_1'^2 - 2\nu'\nu_1' \cos \varphi'. \quad (3)$$

From the last equation and from (2) follows:

$$\nu\nu_1 \sin^2 \frac{\varphi}{2} = \nu'\nu_1' \sin^2 \frac{\varphi'}{2} \dots \dots \dots (4)$$

As shown in our figure in a clear manner, the two relations (2) and (4) are insufficient to determine the direction of movement of the quanta of light after the encounter where the total momentum AB is conserved, but the directions of movement of the quanta of light before and after the collision can differ from each other considerably. As in the wave theory of light, we do not have an unique solution. However, together with Prof. Vavilov we accept the superposition principle as an empirical fact. Do the equations (2) and (4) contradict it?

No! Let $\varphi = \varphi'$; then we obtain from (4) :

$$\nu\nu_1 = \nu'\nu_1' \dots \dots \dots (5)$$

After squaring both parts of (2), we subtract from it the product (5) multiplied by 4. After taking the root we obtain:

$$\nu - \nu_1 = \pm(\nu' - \nu_1'). \quad (6)$$

If we take the + sign, from it and equation (2) follows:

$$\nu = \nu' ; \nu_1 = \nu_1'.$$

One sees easily, that this way a passage of one quantum of light through the other will occur what does, perhaps, not correspond to our idea of a collision. However, if we take the - sign, we obtain by the same way:

$$\nu = \nu_1' ; \nu_1 = \nu',$$

i.e. in the collision of a quantum of light with another one a complete exchange of frequencies and directions occurs.

Formally, this is precisely the superposition principle. This way we see, that the mechanical theory does not capitulate in view of this "marvellous property of light"...¹ We now direct attention to the following: As the above considerations are completely independent of the dimensions of the quanta of light, reasoning about the latter

¹Cf. the words by Huygens, cited by Prof. Vavilov.

cannot be performed from out the superposition principle. And meanwhile, Prof. V a v i l o v, apparently relying on “primitive ideas”, is solving this whole question extremely quickly. He says at the beginning of § 2: “But 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 intersect”, i.e. a lack of superposition. From the above discussion it is clear, that the problem of the dimensions of quanta cannot be solved that easily. However, we will not delve into its closer consideration now but will do this, perhaps, at the appropriate point in time. We only say this: The mechanical theory demands that the linear extensions of the cross section of the quanta should be of the order of the wave length. As we have convinced ourselves, this idea spelled out by many sufficiently competent authors cannot, under no circumstances, be undermined by the critical remarks by Prof. V a v i l o v.

217

Ivanovo-Voznesensk. Polytechnical
Institute

(Received at the Redaction on February 27, 1929)

- P-6 -

blank page

Supplementary information

Translator's notes:

1. Given the copyright situation in the Soviet Union at the time of publication (1929) of the original article it seems reasonable to assume that the article is in the public domain.
2. The numbers on the right margin refer to the page numbers of the original article. A facsimile of the original article is appended (see p. P-9).
3. The English translation of the quotes from the preceding article by Vavilov (Zh. Russk. Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz. **60**(1928)555) is taken from its English translation [arXiv:1708.06817](https://arxiv.org/abs/1708.06817).
4. Concerning footnote 1 on p. 216 [T-2]: The words of Huygens are quoted here after the English translation of *Traité de la Lumière*: [2], pp. 21-22.

Acknowledgements

I am indebted to 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*).]

Full details of the cited literature:

С. И. Вавилов [S. I. Vavilov]: Замечания об эмпирической точности оптического принципа суперпозиции [Zamechaniya ob èmpiricheskoy tochnosti opticheskogo printsipa superpozitsii]. *Журнал Русского Физико-Химического Общества при Ленинградском Университете, Часть Физическая* [*Zhurnal Russkogo Fiziko-Khimicheskogo Obshchestva pri Leningradskom Universitete, Chast' Fizicheskaya*] **60**:6(1928)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*]. 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>).

English translation: S. I. Vavilov: *Remarks on the empirical accuracy of the optical superposition principle* [Engl. transl. of *Zh. Russk. Fiz.-Khim. Obshch., Ch. Fiz.* **60**(1928)555]. 27 pages, translator: K. Scharnhorst (Vrije Universiteit Amsterdam). [arXiv:1708.06817](https://arxiv.org/abs/1708.06817) [<https://arxiv.org/abs/1708.06817>], [⟨hal-01599214⟩](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01599214) [<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01599214>], 2017.

Further references:

- [1] Ивановский государственный энергетический университет [Ivanovskii gosudarstvennyi ènergeticheskiï universitet]/[Ivanovo State University of Power Engineering], Ivanovo, 2012, internet page (accessed Nov 2, 2016): <http://ispu.ru/node/1338>.
- [2] 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. Translated from the French original: Ch. Huygens: *Traité de la Lumière où sont expliquées les causes de ce qui luy arrive dans la refexion, & dans la refraction. Et particulièrement dans l'etrange 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 if 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>).

ПО ПОВОДУ СТАТЬИ С. И. ВАВИЛОВА: «ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА СУПЕРПОЗИЦИИ».¹

К. Шапошников.

Проф. Вавилов пишет: «Независимость распространения светового пучка от прохождения других пучков на его пути объясняется, как сказано, волновой теорией света, но не столь легко примиряется она с примитивными корпускулярными представлениями». Чрезвычайно странно и непонятно, почему проф. Вавилов противопоставляет разработанной волновой теории «примитивные корпускулярные представления» и ничего не говорит о более или менее разработанной корпускулярной теории.

В последующих строках я покажу, что принцип суперпозиции (независимость распространения волны от встречных волн) чрезвычайно легко примиряется с механической (корпускулярной) теорией света.

Действительно, положим происходит встреча двух квантов света: один до удара имеет энергию $h\nu$ и количество движения $\frac{h\nu}{c}$, другой соответственно $h\nu_1$ и $\frac{h\nu_1}{c}$. После удара первый из них получает энергию $h\nu'$ и количество движения $\frac{h\nu'}{c}$, второй соответственно $h\nu'_1$ и $\frac{h\nu'_1}{c}$. Закон сохранения энергии в случае упругого удара требует:

$$h\nu + h\nu_1 = h\nu' + h\nu'_1$$

или:

$$\nu + \nu_1 = \nu' + \nu'_1 \dots \dots \dots (1)$$

Закон сохранения количества движения дает в свою очередь после сокращения на $\frac{h^2}{c^2}$ (см. рис. 1).

$$\nu^2 + \nu_1^2 - 2\nu\nu_1 \cos\varphi = \nu'^2 + \nu_1'^2 - 2\nu'\nu_1' \cos\varphi'$$

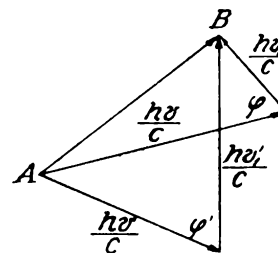


Рис. 1.

¹ С. И. Вавилов. Ж.Р.Ф.-Х.О. (ч. физич.) 60, 555, 1928.

Из этого последнего равенства и из (1) вытекает:

$$v v_1 \sin^2 \frac{\varphi}{2} = v' v_1' \sin^2 \frac{\varphi'}{2} \dots \dots \dots (2).$$

Двух соотношений (1) и (2) недостаточно для определения направления движения квантов света после встречи, что наглядно представлено на нашем рисунке, где полное количество движения AB сохраняется, но направления движения световых квантов до удара и после могут сильно отличаться друг от друга. Как и в волновой теории, мы не имеем здесь однозначности в решении. Примем, однако, вместе с проф. Вавиловым принцип суперпозиции как эмпирический факт. Противоречат ли ему уравнения (1) и (2)?

Нет! Пусть $\varphi = \varphi'$; тогда получаем из (2):

$$v_1 v = v' v_1' \dots \dots \dots (3)$$

Возведя обе части равенства (1) в квадрат, вычтем из него учетверенные произведения (3). После извлечения корня получаем:

$$v - v_1 = \pm (v' - v_1').$$

Если взять знак $+$, то отсюда и из равенства (1) следует:

$$v = v' ; v_1 = v_1'.$$

Легко видеть, что при этом будет проникновение одного кванта света через другой, что, может быть, не соответствует нашим представлениям об ударе. Но если мы возьмем знак $-$, то таким же путем получим:

$$v = v_1' ; v_1 = v',$$

т. е. при ударе одного кванта света о другой происходит полный обмен частотами и направлениями.

Формально это тот же принцип суперпозиции. Мы видим таким образом, что механическая теория не становится в тупик перед «удивительнейшим свойством света»...¹

Обратим теперь внимание на следующее: так как предыдущие соображения совершенно не связаны с размерами кванта света, то о последних нельзя судить с точки зрения принципа суперпозиции. А между тем проф. Вавилов, очевидно опираясь на «примитивные представления», решает чрезвычайно быстро весь этот вопрос. Он говорит в начале § 2: «Если бы эффективные размеры квантов были порядка световой волны, мы должны бы наблюдать вполне заметное рассеяние света при пересечении двух пучков», т. е. отсутствие суперпозиции. Из предыдущего ясно, что вопрос о размерах кванта не может быть так просто решен. Однако входить в его подробное

¹ См. слова Гюйгенса, приводимые проф. Вавиловым.

обсуждение мы сейчас не будем, но, может быть, сделаем это в свое время. Скажем только следующее: механическая теория требует, чтобы линейные размеры поперечного сечения кванта были бы порядка длины волны. Эта идея, высказанная многими в достаточной мере компетентными авторами, ни в коем случае, как мы убедились, не может быть поколеблена критическими замечаниями проф. Вавилова.

Иваново-Вознесенск. Политехнический
институт.

(Поступило в Редакцию 27 февраля 1929 г.)
