

И. А. Котельников

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Пр. Акад. Лаврентьева, 11, Новосибирск, 630090, Россия

Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия
E-mail: i.a.kotelnikov@inp.nsk.ru

ГЕНЕЗИС ПЛАЗМЫ, ИЛИ ИСТОРИЯ ОДНОГО СЛОВА *

Период становления физики плазмы как науки за ее недолгую историю оброс мифами и легендами. Даже дата рождения физики плазмы и происхождение слова «плазма» являются предметом споров. В преддверии 80-летия со дня публикации статьи, где электрически нейтральная область газового разряда впервые была названа плазмой, попробуем отделить истину от исторических наслоений.

Ключевые слова: плазма, квазинейтральность, дебаевская длина, кулоновский логарифм, Ленгмюр.

Дата рождения

Разные источники солидарно приписывают авторские права на термин «плазма» в физике и химии американскому ученому Ирвингу Ленгмюру (Irving Langmuir, 1881–1957), получившему в 1932 г. Нобелевскую премию «За открытия и исследования в области химии поверхностных явлений». Однако они расходятся в дате рождения физики плазмы, варьируя ее от 1922 до 1929 г.

Лидирует в гонке «вперед в прошлое» Пол Беллан. В своей книге он называет 1922 г.¹ На один год «отстали» такие авторитетные издания, как энциклопедия «Bri-

tannica»² и «Курс теоретической физики»³. Авторы некоторых признанных учебников, например А. Ф. Александров, А. С. Богданкевич, А. А. Рухадзе⁴ и Б. А. Трубников⁵, также полагают, что термин плазма впервые был введен Ленгмюром в 1923 г.

Следующим рубежом стал 1927 г. Он часто упоминается в материалах, распространяемых через Интернет. Среди подобных изданий можно отметить книгу Ричарда Фицпатрика⁶, а также статьи, опубликован-

² «Irving Langmuir introduced the term plasma in 1923 while investigating electric discharges. In 1929 he and Lewi Tonks, another physicist working in the United States, used the term to designate those regions of a discharge in which certain periodic variations of the negatively charged electrons could occur» [2].

³ «Термин введен Ленгмюром (I. Langmuir, 1923), положившим начало систематическому теоретическому изучению плазмы» [3. С. 145].

⁴ «Впервые термин “плазма” был введен И. Ленгмюром в 1923 г. при изучении явлений, происходящих при электрическом разряде в газах. ... Первое определение плазмы было связано непосредственно с представлением об ионизованном газе» [4. С. 5].

⁵ «Термин *плазма* в физике был введен в 1923 г. американскими учеными Ленгмюром и Тонксом, проводившим зондовые измерения параметров низкотемпературной газоразрядной плазмы» [5. С. 5].

⁶ «When blood is cleared of its various corpuscles there remains a transparent liquid, which was named plasma (after the Greek word *πλασμα*, which means “moldable substance” or “jelly”) by great Czech medical

* Автор благодарен Массимилиано Роме (Massimiliano Romé) из университета г. Милан (Италия) за неоценимую помощь в розыске оригинальных публикаций, цитированных в настоящей статье.

¹ Избегая голословных утверждений, здесь и далее я привожу цитаты на языке оригинала в виде подстрочных примечаний, как правило, при первом упоминании того или иного издания. На с. 1 Беллан пишет: «...the American scientist Irving Langmuir proposed in 1922 that the electrons, ions and neutrals in an ionized gas could similarly be considered as corpuscular material entrained in some kind of fluid medium and called this entraining medium plasma».

ные на сайтах крупнейшего в мире европейского токамака JET и Национального агентства США по аэронавтике и исследованию космического пространства⁷.

Немало сторонников собрал 1928 г. Эта дата названа в книге Ю. Р. Райзера⁸. Авторы интернет-энциклопедии Wikipedia⁹ также придерживаются этой точки зрения.

Николс Кролл и Алвин Трайвелпис, авторы фундаментальных «Основ физики плазмы»¹⁰, отстаивают 1929 г. Кажется, я «списывал» у них, когда вместе с Г. В. Ступаковым составлял курс лекций¹¹ по физике плазмы для студентов НГУ. Приплюсуйте сюда еще Физический энциклопедический словарь¹².

Сохранились свидетельства Гарольда Мотта-Смита (Harold Meade Mott-Smith) и Леви Тонкса (Lewi Tonks), ближайших сотрудников Ленгмюра, но и они расходятся в дате изобретения термина плазма в физике.

scientist Johannes Purkinje (1787–1869). The Nobel prize winning American chemist Irving Langmuir first used this term to describe an ionized gas in 1927 – Langmuir was reminded of the way blood plasma carries red and white corpuscles by the way an electrified fluid carries electrons and ions» [6. P. 7].

⁷ «In a letter to Nature, Vol. 233 (1971) page 219, Harold M. Mott-Smith recalls how Irving Langmuir started using the word “plasma” in about 1927». См. также: *EFDA-JET*, Article of the Month, March 2005, Origin of the word «plasma». <http://http://www.jet.efda.org/pages/content/news/2005/yop/mar05.html>.

⁸ «The concept of a plasma was introduced by I. Langmuir and L. Tonks in 1928. Langmuir made many important contributions to the physics of gas discharge, including probe techniques of plasma diagnostics» [9. С. 5].

⁹ «This state of matter was first... described by Sir William Crookes in 1879... The nature of the Crookes tube “cathode ray” matter was subsequently identified by British physicist Sir J. J. Thomson in 1897, and dubbed “plasma” by Irving Langmuir in 1928, perhaps because it reminded him of a blood plasma». См.: *Wikipedia*, Plasma (physics) // [http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(physics\)#_note-langmuir1928](http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_(physics)#_note-langmuir1928).

¹⁰ «Термин *плазма* для коллектива заряженных частиц был впервые употреблен Тонксом и Ленгмюром в 1929 г. [21], изучавшим колебания в электрических разрядах» [8. С. 11].

¹¹ «Термин *плазма* был введен в работе Ленгмюра и Тонкса в 1929 г. в связи с исследованием процессов в электронных лампах, наполненных ионизованным газом. Сейчас бы мы сказали, что Ленгмюр и Тонкс исследовали разряд в газе низкого давления» [9. С. 7].

¹² «Термин “П.” в физике был введен в 1929 г. амер. учеными И. Ленгмюром и Л. Тонксом, проводившим зондовые измерения параметров низкотемпературной газоразрядной П.» [10. С. 536].

Чаще цитируется статья Мотта-Смита¹³, что совершенно естественно для публикации в журнале «Nature». Статья на проверку оказывается кратким письмом редактору журнала, в начале которого его автор пишет, что работал с Ленгмюром, когда примерно в 1927 г. тот сделал «эту инновацию». Мотт-Смит познакомился с Ленгмюром задолго до этого, поэтому 1927 г. – это не год поступления Мотта-Смита на работу в лабораторию Ленгмюра, как я поначалу думал, не разобравшись в тонкостях американского английского, когда впервые прочитал его письмо. В отчете о 115-й конференции Американского физического общества [12], состоявшейся в апреле 1922 г., упоминается их совместный доклад «Radial Flow in Rotating Liquids»¹⁴. В 1926 г. «Physical Review» опубликовал еще две его работы [13; 14] с Ленгмюром, в одной и которых также принял участие и Леви Тонкс. Мотт-Смит указывает на 1927 г. только приблизительно, но те, кто цитирует его письмо в Nature, не всегда обращают внимание на эту деталь. Тем не менее, следует признать, что письмо Мотта-Смита закрывает версии 1922 и 1923 гг.

Примечательно, что Мотт-Смит в письме редактору «Nature» обходит молчанием воспоминания Леви Тонкса [15], опубликованные в «American Journal of Physics» четырьмя годами ранее. Еще более примечательно, что Тонкс как бы полемизирует с Моттом-Смитом, как будто знает, что именно напечатает «Nature» через 4 года. Рискну предположить, что так оно и было. Возможно, Тонксу стало известно содержание письма Мотта-Смита его другу, которое тот

¹³ «I was working for Langmuir when he made this innovation about 1927, and much later, described it in a letter to a friend at the General Electric Research and Development Center, dated April 20, 1967. The pertinent extract from this letter follows.

...We struggled to find a name for it. For all members of the team realized that the credit for a discovery goes not to the man who makes it, but to the man who names it. Witness the name of our continent.

...one day Langmuir came in triumphantly and said he had it. He pointed out that the ‘equilibrium’ part of the discharge acted as a sort of sub-stratum carrying particles of special kinds, like high-velocity electrons from thermionic filaments, molecules and ions of gas impurities. This reminds him of the way blood plasma carries around red and white corpuscles and germs. So he proposed to call our “uniform discharge” a “plasma”. Of course we all agreed» [11. P. 219].

¹⁴ Радиальное течение во вращающейся жидкости.

дословно цитирует в письме редактору «Nature», и что именно это письмо подтолкнуло Тонкса взяться за перо. Его статья получена редакцией «American Journal of Physics» 24 апреля 1967 г., а Мотт-Смит отправил письмо¹⁵ Артуру Бушу (Arthur Maynard Bueche) 20 апреля того же года, на 4 дня раньше. Может статься, что появлению воспоминаний ключевых участников описываемых событий почти одновременно через 40 лет просто предшествовала встреча старых друзей, где они поспорили. Так или иначе, эта полудетективная версия объясняет эмоциональную тональность воспоминаний Тонкса, не характерную для публикаций в научном журнале.

Аннотация статьи Тонкса достойна того, чтобы процитировать ее полностью: «The origin of the “plasma” of gaseous electronics need not be mythological. The author was there»¹⁶. Далее он пишет, что работал с Ленгмюром в то время, когда тот приспособил (appropriated) «плазму» к газовой электронике, и был единственным ученым, кто присутствовал при этом событии, и что только он, Тонкс, способен быть наиболее авторитетным свидетелем. Такое начало может показаться чрезмерно самонадеянным, ибо доказать теорему единственности подчас труднее, чем теорему существования. А Тонкс, по сути дела, пытается убедить нас, что ни с кем другим Ленгмюр не мог обсуждать свои терминологические изыскания. И все же Тонкс имеет право настаивать на своей версии. Добрая половина статей Ленгмюра по физике плазмы, опубликованных в 1928–1929 гг., написана им в соавторстве с Леви Тонксом.

Версию Тонкса [15] я сначала узнал в пересказе Санборна Брауна [16], русский перевод которого опубликован в журнале «Успехи физических наук» [17]. Вот она.

«Однажды Ленгмюр зашел в мою комнату в исследовательской лаборатории “General Electric” и сказал: “Слушайте, Тонкс, я ищу слово. В этих газовых разрядах мы называем область непосредственно вблизи

стенки или электрода слоями¹⁷, и это, по видимому, подходит; но как назвать основную часть разряда?... Там полная нейтрализация пространственного разряда. Не хочется изобретать слово, но оно должно описывать эту область, как отличающуюся от слоев. Что бы Вы предложили?”

Мой ответ был классическим: “Надо подумать, д-р Ленгмюр”».

На следующий день Ленгмюр влетел и объявил: «я знаю, как это назвать! Мы назовем это – плазма». Мне тут же представилась плазма крови: кажется, Ленгмюр даже упомянул о крови.

Эту цитату С. Браун предваряет фразой: «Леви Тонкс опубликовал рассказ о том, как Ирвинг Ленгмюр ввел слово плазма в 1928 г.». Однако, если обратиться к оригиналу воспоминаний¹⁸, то выяснится, что

¹⁷ Слои, о которых говорил Ленгмюр, теперь называют дебаевскими. Теория Дебая – Хюккеля [19] была опубликована в 1923 г. и была известна Ленгмюру.

¹⁸ «As I was working with Langmuir at the time that he appropriated “plasma” for gaseous electronics and I was the only scientist present at the event, I am surely the one most able to give an authoritative account of it. Incidentally, Langmuir’s notebooks and mine have both been searched in vain for the first adaptation of “plasma” to the low-pressure arc, the object of our investigations at the time.

...The first written use (excluding unknown correspondence) must, therefore, have been in the manuscript of “Oscillations in Ionized Gases” [18] or in the Collected Works [32]. This paper was communicated on 21 June, 1928, so that what I have to recount antedated that.

We were investigating room-temperature mercury arcs. As I recall after four decades, Langmuir came into my room in the General Electric Research Laboratory one day and said, “Say, Tonks, I’m looking for a word. In these gas discharges we call the region in the immediate neighborhood of the wall or an electrode a ‘sheath,’ and that seems to be quite appropriate; but what should we call the main part of the discharge? The conductivity is high so that you can’t apply a potential difference to it like you can to a sheath – it all is taken up by the sheaths. And there is complete space-charge neutralization. I don’t want to invent a word, but it must be descriptive of this kind of region as distinct from a sheath. What do you suggest?”

My reply was classic: “I’ll think about it, Dr. Langmuir”.

The next day Langmuir breezed in and announced, “I know what we’ll [sic] call it! We’ll call it the ‘plasma.’” The image of blood plasma immediately came to mind; I think Langmuir even mentioned blood. In the light of the contemporary state of our knowledge, the choice seemed very apt.

Our attention was focused on the laboratory experiments. The extensive broadening of concept which would include electrolytes, flames, the Heaviside layer, etc. may

¹⁵ Mott-Smith H. M. Letter to A. M. Bueche. Apr. 20, 1967 (on file at Communications Operation, General Electric R&D Center, Schenectady, NY).

¹⁶ Рождение «плазмы» газовой электроники не нужно мифологизировать. Автор был там.

Тонкс вовсе не так уверенно указывает на 1928 год. Он вспоминает, что пролистал все записные книжки, как свои, так и принадлежащие Ленгмюру, в поисках первого упоминания слова «плазма» в применении к разряду низкого давления, бывшего в то время предметом их исследований. И пришел к выводу, что первым письменным свидетельством была рукопись статьи «Oscillations in Ionized Gases» [18] (рис. 1), опубликованной в «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America» в августе 1928 г. Эта статья была принята для публикации (this paper was communicated) 21 июня 1928 г. Именно эту дату Леви Тонкс призывает считать результатом его поисков.

На второй странице своей статьи¹⁹ 1928 г. Ирвинг Ленгмюр впервые дал определение плазмы, которое мало чем отличается от современного: «За исключением [дебаевских] слоев вблизи электродов, содержащих очень мало электронов, ионизованный газ содержит приблизительно равное число ионов и электронов, так что результирующий пространственный заряд очень мал. Мы будем использовать название плазма, чтобы описать эту область, содержащую сбалансированные заряды ионов и электронов». Если принять во внимание, что Мотт-Смит и Тонкс вспоминали описываемые события по прошествии 40 лет, разницу в 1 год в их показаниях можно списать на несовершенство человеческой памяти. Мотт-Смит пишет,

have lain in the back of Langmuir's brain. The semantic problem to be solved was sheath vs nonsheath.

Quite definitely, neither the oscillatory characteristics of plasmas nor "the seething movement in living cells was relevant. Most certainly Langmuir did not look upon his plasma as an analogue of "the cellular jelly, protoplasm". Of course, in the 39 years since the Academy paper, both blood plasma and gaseous plasma have "become" far more complex than they were then.

I remember distinctly that Langmuir did say, "You can't apply a potential difference to it," and, "There is complete space-charge neutralization". Of course, neither is rigorously true. This bothered me at the time, and this is why I remember this element of the conversation clearly. I did not argue. I think I realized that Langmuir was caricaturing a contrast by way so of emphasis; he was not dictating a technical paper» [15. P. 857.]

¹⁹ «Except near the electrodes, where there are sheaths containing very few electrons, the ionized gas contains ions and electrons in about equal numbers, so that the resultant space charge is very small. We shall use the name plasma to describe this region containing balanced charges of ions and electrons» [18. P. 628].

как термин «плазма» был придуман Ленгмюром в 1927 г., а Тонкс – как он впервые был опубликован в 1928-м. Противоречия возникают, если читать только пересказы [16] или переводы [17].

И все же версия Леви Тонкса представляется более точной. Не вызывает сомнений, что Ленгмюр целенаправленно искал подходящее слово. Обычно подбором терминов приходится заниматься, когда исследование почти закончено и пришло время поведать о нем ученому миру. Ленгмюр направил статью «Oscillations in Ionized Gases» в редакцию журнала в июне 1928 г. Надо думать, он работал над ее текстом в мае-июне того же года²⁰. Рискну предположить, что именно тогда, в середине 1928 г., он и нашел слово «плазма». Так или иначе, днем рождения физики плазмы следует считать 21 июня 1928 г.²¹ В этот день статья была принята в печать. Иная точка зрения была бы чревата пересмотром многих устоявшихся воззрений: нашлись бы желающие переименовать закон Кулона в закон Кавендиша, геометрию Лобачевского – в геометрию Гаусса, а радиационные пояса Земли имени ван Аллена – в пояса академика Вернова. Перечень можно продолжить.

Осталось прояснить происхождение других дат.

В своей статье 1928 года [18] Ленгмюр пишет, что исследования газового разряда в «General Electric» были начаты 4–5 лет назад, т. е., получается, в 1923–1924 гг. Это могло бы объяснить версию энциклопедии Britannica [2] и Курса теоретической физики [3], если бы их авторы не утверждали, что термин плазма был введен в 1923 г. Было бы точнее сказать, что в этом году Ирвинг Ленгмюр изобрел ленгмюровский зонд.

²⁰ Ленгмюр был очень плодовитым писателем. Каждый год он публиковал множество статей, главным образом, в «General Electric Review». Вряд ли рукописи подолгу лежали на его письменном столе.

²¹ «While his relating the term to blood plasma has been acknowledged by colleagues who worked with him at the General Electric Research Laboratory... the basis for that connection is unclear. One version of the story has it that the similarity was in carrying particles, while another account [16] speculated that it was in the Greek origin of the term, meaning "to mold", since the glowing discharge usually molded itself to the shape of its container. In any case, it appears that the first published use of the term was in Langmuir's "Oscillations in Ionized Gases", published in 1928 in the Proceedings of the National Academy of Sciences» [20].

cisely the plane grating formula. It will be noted that, with the exception of two, all of the points fall to the right of the regions of "anomalous dispersion," and that none of them falls in this region. It is due to this circumstance presumably that the displacements of the electron diffraction beams from their x-ray analogues display no marked abnormalities. It will be noted also that although the values of μ calculated from the diffraction beams are rather scattered they are not inconsistent with the dispersion curve constructed from the more precise data of the reflection beams.

¹ Davisson and Germer, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **14**, 317 (1928).

² Davisson and Germer, *Nature*, **119**, 558 (1927); *Phys. Rev.*, **30**, 705 (1927).

³ Eckart, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **13**, 460 (1927).

⁴ Bethe, *Naturwiss.*, **15**, 787 (1927).

⁵ Bethe, *Ibid.*, **16**, 333 (1928).

⁶ Andrewes, Davies and Horton, *Proc. Roy. Soc.*, **117**, 660 (1928).

OSCILLATIONS IN IONIZED GASES

BY IRVING LANGMUIR

RESEARCH LABORATORY, GENERAL ELECTRIC CO., SCHENECTADY, N. Y.

Communicated June 21, 1928

In strongly ionized gases at low pressures, for example in the mercury arc, the free electrons have a Maxwellian velocity distribution corresponding to temperatures that may range from 5000° to 60,000°, although the mean free path of the electrons may be so great that ordinary collisions cannot bring about such a velocity distribution. Electrons accelerated from a hot cathode (primary electrons), which originally form a beam of cathode rays with uniform translational motion, rapidly acquire a random or temperature motion which must result from impulses delivered to the electrons in random directions.

In this laboratory we have been studying these phenomena¹ in detail during the last 4-5 years, but the mechanism underlying the Maxwellian distribution and its extremely short time of relaxation have not been understood. At an early date it occurred to me that electric oscillations of very high frequency and of short wave-length in the space within the tube might produce a scattering of the kind observed, but calculation showed that average field strengths of several hundred volts per centimeter would be necessary and this seemed an unreasonable assumption. Experiments capable of detecting oscillations of the electrodes with amplitudes greater than 0.2 volt failed to show such oscillations.

Ditmer² although unable to detect oscillations, concluded that oscilla-

Но сам Ленгмюр указывает [14], что подобное устройство использовал Старк в 1905 г. Первая теория ленгмюровского зонда изложена в статье [Там же] 1926 г. Ленгмюра в соавторстве с Моттом-Смитом. Там же перечислены более ранние работы самого Ленгмюра, опубликованные в период 1923–1924 гг. в малодоступных ныне журналах.

В 1929 г. были опубликованы как минимум три статьи по физике газового разряда, где использован термин «плазма». В статье «Oscillations in Ionized Gases»²² Тонкса и Ленгмюра (именно в таком порядке), опубликованной в «Physical Review», повторяя определение плазмы, Ленгмюр отсылает читателя к своей предыдущей статье [18] (с тем же названием) в «Proc. Nat. Acad. Sci.», но неверно указывает год ее публикации (1926 вместо 1928). Может быть, и поэтому тоже статья 1928 г. не столь известна, как более поздние публикации Ленгмюра с соавторами. В том же 1929 г. и также в «Physical Review» была опубликована вторая работа Тонкса и Ленгмюра [22]. Это была первая статья со словом плазма в названии. Возможно, именно этот большой обзор, подытоживающий многолетнюю работу, принимают за начало физики плазмы позднейшие исследователи, когда называют 1929 г. годом ее рождения²³. В том же 1929 г. Альберт Хал (Albert Hull) и Ленгмюр опубликовали статью [23], где слово «плазма» впервые появляется на рисунке.

Их континент тому свидетель

Как важно найти правильное слово! Об этом хорошо сказал Мотт-Смит в своем письме: «...the credit for a discovery goes not to the man who makes it, but to the man who names it. Witness the name of our continent»²⁴.

²² «A. Plasma-electron oscillations. When electrons oscillate, the positive ions behave like a rigid jelly with uniform density of positive charge ne . Imbedded in this jelly and free to move there is an initially uniform electron distribution of charge density, $-ne$. The word “plasma” will be used to designate that portion of an arc-type discharge in which the densities of ions and electrons are high but substantially equal. It embraces the whole space not occupied by “sheaths”» [21. С. 196].

²³ Однако Кролл и Трайвелпис ссылаются на первую статью Тонкса и Ленгмюра [21], опубликованную на полгода раньше.

²⁴ ...честь открытия приписывают не тому, кто его сделал, а тому, кто назвал его. Свидетель тому – наш континент.

На всякий случай напомним, что дело было в Америке, ее открыл Христофор Колумб (Christóbal Colón), а назвал Америго Веспуччи (Amérigo Vespucci).

Летом 1909 года молодой преподаватель Ирвинг Ленгмюр получил возможность провести летние каникулы в лаборатории исследовательского центра «Дженерал Электрик» (The General Electric Company) в графстве Скинектэди (Schenectady) в штате Нью Йорк (New York), предполагая осенью вернуться в Институт Стивенса (Stevens Institute). Летняя работа оказалась настолько интересной, что он с радостью принял приглашение работать здесь постоянно и уже никогда не вернулся к преподавательской деятельности. Д-р Уиллис Уитни (Dr. Willis R. Whitney), распознав потенциал молодого преподавателя, убедил его остаться в «Дженерал Электрик». Уитни предоставил Ленгмюру свободу в выборе предмета исследований, финансирование и небольшой штат сотрудников.

Имея роскошную возможность работать в свое удовольствие, Ленгмюр проводил обширные исследования, которые с лихвой вознаградили Дженерал Электрик за веру в него и предоставленную ему свободу. Он называл свою работу там фундаментальной наукой. Большая часть сотрудников в то время увлеклись улучшением вольфрамовых нитей для ламп освещения. Необъяснимых трудностей было предостаточно, а вклад Ленгмюра огромен. Он отвечал за внедрение газонаполненных ламп – нововведение, которое, вероятно, уменьшило счета американцев за освещение на миллион долларов за одну ночь.

Работая с вольфрамом в газе водорода, он открыл то, что должен был назвать атомарным водородом. Он изучил его свойства и изобрел горелку для сварки в атомарном водороде, которая была способна давать температуру выше, чем в ацетиленовой дуге. Чтобы улучшить вакуум, он изобрел ртутный насос. Изобретенная Ленгмюром в 1926 г. водородная паяльная лампа давала температуру 3 700 градусов Цельсия. Вольфрам плавился, алмаз испарялся. Это было только начало...

«Дженерал Электрик» стала владельцем многих изобретений Ленгмюра. Всего он получил 63 патента. В 1932 г. Ирвинг Ленгмюр стал первым химиком не из академической среды, кто стал лауреатом Нобелевской премии. Признавая успех его метода исследований, другие корпорации также стали ин-

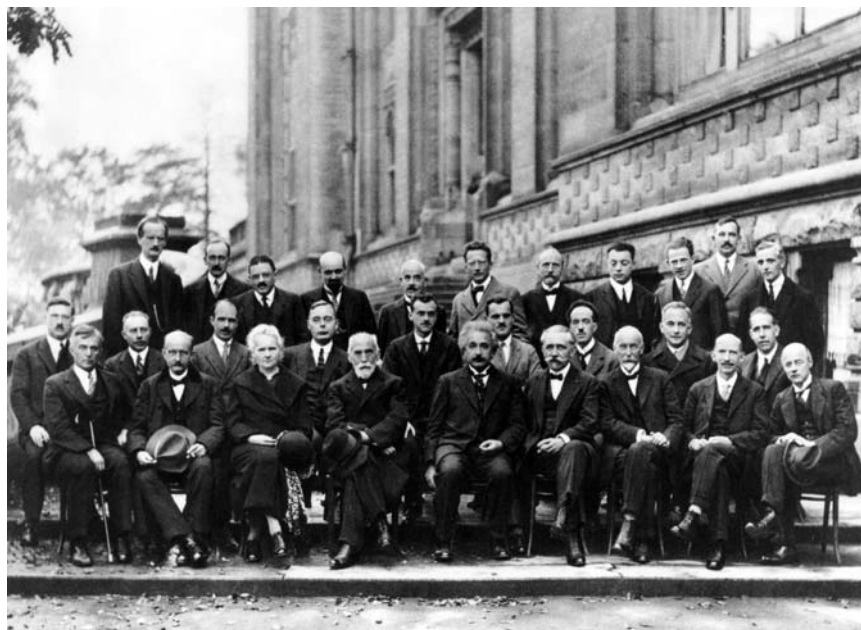


Рис. 2. Октябрь 1927 года, Брюссель. Участники 5-го Сольвеевского конгресса: Auguste Antoine Piccard, E. Henriot, Paul Ehrenfest, Ed. Herzen, Théophile de Donder, Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, E. Verschaffelt, Wolfgang Ernst Pauli, Werner Karl Heisenberg, Ralph Howard Fowler, Léon Nicolas Brillouin; Peter Josef William Debye, Martin Hans Christian Knudsen, William Lawrence Bragg, Hendrick Anthony Kramers, Paul Adrien Maurice Dirac, Arthur Holly Compton, Louis de Broglie, Max Born, Niels Henrik David Bohr; Irving Langmuir, Max Karl Ernst Ludwig Planck, Marie Curie, Hendrik Antoon Lorentz, Albert Einstein, Paul Langevin, Charles Eugene Guye, Charles Thomson Reese Wilson, Owen Williams Richardson

вестировать большие средства в «неограниченные» исследования. Ленгмюр работал в «Дженерал Электрик» в качестве научного сотрудника, заместителя директора и консультанта до своей смерти в 1957 г.

Сохранилось множество фотографий Ленгюра со знаменитыми людьми того времени: королем Таиланда, Томасом Эдисоном (Thomas Alva Edison), Гулиемо Маркони (Guglielmo Marconi), Дж. Дж. Томсоном (Joseph John Thomson), Уильямом Кулиджем (William David Coolidge), Отто Штерном (Otto Stern), Артуром Комптоном (Arthur Holly Compton) и т. д. (рис. 2). На снимках первой трети XX в. Ленгмюр часто держит в руках лампу или вакуумную трубку. Но вернемся к Мотту-Смиту. Он вспоминает [11], что долгое время им докучали медицинские журналы просьбами прислать оттиски статей. Физики и химики косо поглядывали на неуклюжее слово и не спешили заимствовать его, а инженеры воспринимали Plasma как торговую марку «General Electric». И только спустя много лет, когда Мотт-Смит уже покинул лабораторию, все вокруг вдруг стали говорить о плазме. Это случилось, когда правительство начало финансировать термоядерные исследования. Потребовалось еще 20–30 лет, чтобы термин «плазма» в применении к ионизованному газу стал общепринятым. Ленгмюр и его сотруд-

ники экспериментировали с частично (или даже слабо) ионизованной плазмой. Сейчас плазмой преимущественно называют полностью ионизованный газ, но появилось также понятие заряженной плазмы, «прямо перпендикулярное» плазме Ленгюра, так как теперь уже известно, что сгусток только электронов или только ионов в магнитном поле обладает многими свойствами «обычной» квазинейтральной плазмы.

А причем тут медицинские журналы? И эта кровь, о которой вспоминают как Мотт-Смит, так и Тонкс?

Если кровь очистить от красных кровяных тел, остается прозрачная желтоватая жидкость, составляющая примерно 60 % объема крови. Эту жидкость чешский медик Ян Пуркине (Jan Purkinje, 1787–1869) назвал плазмой или протоплазмой лет за 80 до Ленгюра²⁵. Связь между плазмой крови и решением Ленгюра признается как его коллегами, так и более поздними исследователями [20], но какие соображения лежали в основе выбора именно этого слова, не совсем ясно.

²⁵ Энциклопедия «Britannica» датирует слово «protoplasma» 1848-м годом.

По одной версии, восходящей к письму Мотта-Смита [11], Ленгмюром двигало сходство между тем, как плазма крови переносит красные и белые кровяные тельца, а в ионизованном газе перемещаются электроны и ионы.

Другая версия [16], строится на гипотезе, что Ленгмюр находился под впечатлением удивительной способности тлеющего разряда принимать форму сосуда, где поджигался разряд. По этой версии, слово плазма происходит от греческого *πλάσμα*, что значит *mold* (*mould*), т. е. формовать, принимать форму, или *jelly*, т. е. желе. Леви Тонкс решительно отвергал подобную трактовку, отмечая, что Ленгмюр не упоминал ни о протоплазме, ни о желе [15]. Впрочем, он понимал, что спустя 39 лет после памятного разговора ему трудно отделить свои мысли от слов Ленгмюра. Слово *jelly* дважды встречается в статье «Oscillations in Ionized Gases» [21] рядом с определением плазмы. Однако его смысл там совершенно противоположен тому, который пропагандируют современные авторы [6]. Тонкс и Ленгмюр пишут, что при колебаниях электронов положительные ионы ведут себя как твердое желе (*rigid jelly*) с однородной плотностью положительного заряда, т. е. создают неподвижный нейтрализующий фон.

Если обратиться к энциклопедиям и словарям в попытке установить этимологию слова плазма, мы узнаем еще немало интересного.

Britannica [2] находит корни слова плазм в немецком и латинском языках, где *plasma* означает *нечто*, принимающее форму. Греко-русский словарь А. Д. Вейсмана²⁶, изданный в конце XIX в., переводит слово *πλάσμα* как «лепная фигура (ос. из воску), образ, изображение» или «вымысел; притворство». Современные словари²⁷ дают совсем удивительные толкования: *beggar* – попрошайка, нищий; *being* – бытие, жизнь, существо; *creature* – создание, творение, человек; *Wight* – существо, человек.

Познав за многие годы удивительные свойства плазмы, нам остается только воскликнуть: а ведь все это верно!

²⁶ «Πλάσμα – лепная фигура (ос. из воску), образ, изображение. 2) модуляция или изменение голоса при чтении или произношении речи. 3) вымысел; притворство.

Πλάσσω – лепить (из воску, глины); вооб. изображать, представлять, изменять голос при произнесении речи» [24. С. 1006].

²⁷ Αποτελέσματα αναζητήσεως πλάσμα // <http://www.in.gr/dictionary/lookup.asp?Word=%F0%EB%DC%F3%EC%E1>

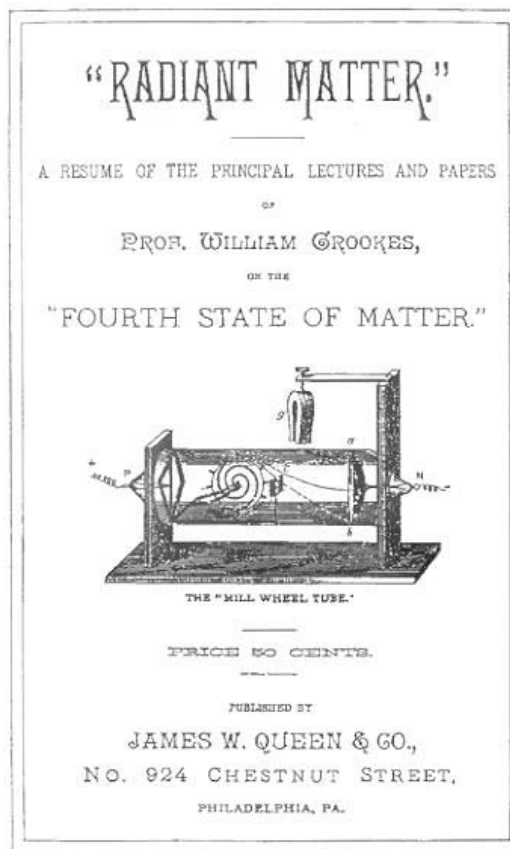


Рис. 3. Обложка книги «Излучающая материя. Четвертое состояние вещества» с лекциями В. Крукса

Четвертое состояние

Плазму нередко называют четвертым состоянием вещества. Это понятие ввел сэр Уильям Крукс (Sir William Crookes, 1832–1919) в 1879 г. для описания ионизованной среды газового разряда [25]. История сохранила точную дату, когда сэр Крукс прочел лекцию «On Radiant Matter»²⁸ членам Британской ассоциации за развитие науки. Это случилось 22 августа 1879 г., почти за полвека до Ленгмюра и лет за сто до Д. А. Франк-Каменецкого, которому также приписывают авторство этого понятия²⁹. Обложка одного из первых изданий знаменитой лекции Крукса показана на рис. 3.

²⁸ Об излучающем веществе. Сэр Крукс мистифицировал свойства открытых им катодных лучей. Его имя до сих пор превозносят спиритуалисты.

²⁹ «Если к этому добавить очень широкое распространение плазмы в природе – 99 % состояния материи во Вселенной оказывается плазменным, то станет понятным, почему известный советский физик Д. А. Франк-Каменецкий назвал плазму 4-м агрегатным состоянием вещества» [26. С. 13].

Современное определение плазмы как особого состояния ионизованного газа основывается на понятии квазинейтральности. В первом приближении, квазинейтральность – это, как по Ленгмюру, приближительное равенство положительных и отрицательных зарядов. Далее нужно пояснить, что это примерное равенство поддерживается само собой, если линейные размеры области, занятой ионизованным газом, больше дебаевской длины. Работа Дебая и Хюккеля по теории электролитов [27] была хорошо известна Ленгмюру – она цитируется уже в его первой статье [18] (см. также [21]). Понятие квазинейтральности ввел Вальтер Шоттки (Walter Schottky) в 1924 г. в своей теории амбиполярной диффузии в положительном столбе разряда [28]. Тонкс и Ленгмюр впервые упоминают квазинейтральность в аннотации обзора [22] 1929 г., отмечая, что Шоттки постулировал квазинейтральность и амбиполярность, тогда как в их теории и та, и другая получают естественное обоснование.

Уже в первой статье Ленгмюра 18 со ссылкой на Мотта-Смита приведена правильная формула для частоты электронных плазменных колебаний

$$\nu = \sqrt{\frac{\theta Q}{m \pi}} = 8980 \sqrt{m}.$$

Оригинальный вывод этой формулы в лагранжевых координатах приведен в следующей работе [21]. Вообще же эти две работы поражают воображение. В них изложена также теория ионных плазменных колебаний (ионно-звуковых, в современной терминологии). Предсказано, что колебания с длиной волны меньше дебаевской сильно затухают (затухание Ландау). Вычислен равновесный уровень колебаний в термодинамическом равновесии (по аналогии с теорией Дебая теплоемкости твердых тел). Дана оценка длины свободного пробега (вычислен кулоновский логарифм). В довершение всего отмечено, что при низких температурах или высоких плотностях³⁰ плазма образует кристаллическую структуру (неидеальная плазма) и указан критерий неидеальности классической (не квантовой) плазмы, $T < 0,001 n^{1/3}$.

Как указывал сам Ленгмюр, о существовании плазменных электронных колебаний догадывался Артур Дитмер (Arthur F. Dittmer) [29]. Они были обнаружены Франсом Пеннингом (Frans Michel Penning) в 1926 г. [30; 31]. Но История распорядилась так, что плазменные электронные колебания называют ленгмюровскими. *По праву.*

Список литературы

1. *Bellan P. M.*. Fundamentals of Plasma Physics, book draft, 2004, Internet.
2. Plasma. Encyclopædia Britannica. 2006. Ultimate Reference Suite DVD.
3. *Лифушиц Е. М., Путаевский Л. П.* Физическая кинетика. Сер. Теоретическая физика. М.: Наука, 1979. Т. 10. § 27.
4. *Александров А. Ф., Богданкевич Л. С., Рухадзе А. А.* Основы электродинамики плазмы, М.: Высш. шк., 1988.
5. *Трубников Б. А.* Теория плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1996.
6. *Fitzpatrick R.* Introduction to Plasma Physics: A graduate level course, 2006, Internet.
7. *Raizer Y. R.* Gas Discharge Physics. Springer-Verlag, 1991.
8. *Кролл Н., Трайвеллис А.* Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.
9. *Котельников И., Ступаков Г.* Лекции по физике плазмы. Новосибирск, 1996.
10. *Большой энциклопедический словарь. Физика / Гл. ред. А. М. Прохоров:* 4-е (репринтное) изд. Физического энциклопедического словаря 1983 года. М.: Науч. изд-во «Большая Российская энциклопедия», 1999.
11. *Mott-Smith H. M.* History of «Plasmas» // Nature. 1971. Vol. 233.
12. *Miller D. C.* Minutes of the Washington Meeting: Proc. Am. Phys. Soc., April 21, 22, 1922 // Phys. Rev. Vol. 20. No. 1. 1922. P. 78–81.
13. *Tonks L., Mott-Smith H. M. (Jr.), Langmuir I.* Flow of Ions through a Small Orifice in a Charged Plate // Phys. Rev. 1926. Vol. 28. P. 104–128.
14. *Mott-Smith H. M., Langmuir I.* The Theory of Collectors in Gaseous Discharges // Phys. Rev. 1926. Vol. 28. P. 727–763.
15. *Tonks L.* The birth of «plasma» // Amer. J. of Physics. 1967. Vol. 35. P. 857–858.
16. *Brown S. C.* A Short History of Gaseous Electronics // Gaseous Electronics / Eds. M. N. Hirsch, H. J. Oskam. N. Y.; San Francisco; L.: Academic Press, 1978. Vol. 1: Electrical Discharges. P. 1–18.

³⁰ Температура здесь выражена в градусах Кельвина, плотность – в единицах на кубический сантиметр.

17. Браун С. Краткая история газовой электроники / Пер. А. А. Веденова // УФН. 1981. Т. 133. С. 693–706.
18. Langmuir I. Oscillations in Ionized Gases, National Academy of Sciences of the United States of America, August 1928. Vol. 14. P. 627–637.
19. Debye P., Huckel E. Zur Theorie der Elektrolyte. I. Gefrierpunktserniedrigung und verwandte Erscheinungen (The theory of electrolytes. I. Lowering of freezing point and related phenomena) // Physikalische Zeitschrift. 1923. Vol. 24. No. 9. P. 185–206.
20. Rogoff G. L. Guest Editorial // Special Issue on Applications of Partially Ionized Plasmas // IEEE Transactions on Plasma Science. 1991. Vol. 19.
21. Tonks L., Langmuir I. Oscillations in Ionized Gases // Physical Rev. 1929. Vol. 33.
22. Tonks L., Langmuir I. A General Theory of the Plasma on an Arc // Physical Rev. 1929. Vol. 34. P. 876–922.
23. Hull A. W., Langmuir I. Control of an Arc Discharge By Means Of a Grid // Proc. Nat. Acad. Sci. 1929. Vol. 51.
24. Вейсман А. Д. Греческо-русский словарь, Репринт V-го издания 1899 г. М.: Греко-латинский кабинет Ю. А. Шичалина, 1991.
25. Crookes W. On Radiant Matter: a Lecture Delivered to the British Association for the Advancement of Science, at Sheffield, Friday, August 22, 1879. Philadelphia: James W. Queen & Co, 1879.
26. Александров А. Ф., Рухадзе А. А. Лекции по электродинамике плазмоподобных сред. М.: Изд-во МГУ, 1999.
27. Debye P., Huckel E. Zur Theorie der Elektrolyte. I. Gefrierpunktserniedrigung und verwandte Erscheinungen // Physikalische Zeitschrift. 1923. Vol. 24. No. 9. P. 185–206.
28. Schottky W. Diffusionstheorie der positiven säule // Physik. Zeits. 1924. Bd. 25.
29. Dittmer A. F. Experiments on the Scattering of Electrons by Ionized Mercury Vapor // Phys. Rev. 1926. Vol. 28. P. 507–520.
30. Penning F. M. Scattering of Electrons in Ionized Gases // Nature. 1926. Vol. 118. P. 301–312.
31. Penning F. M. Abnormale Electronen. Snelheden en Prillinaen van. zeer. hoee. I. Y. - frequentie. i n. ontlading buizen // Physica. 1926. Vol. 6.
32. Cobine J. D. The Collected Works of Irving Langmuir. N. Y.: Pergamon Press, 1960. Vol. 5.

Материал поступил в редколлегию 10.12.2007

Igor A. Kotelnikov

Origin of «Plasma», or The History of a Word

The period of plasma physics formation as a science is mythologized. Even the birthday of plasma physics and the parentage of the word «plasma» are disputed. On the eve of 80th anniversary of the paper, where the electrically neutral region of the gas discharge has been named plasma for the first time, it is noteworthy separating the truth from archaeological stratifications.

Keywords: plasma, quasi-neutrality, Debye length, Coulomb logarithm, Langmuir.