

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/383705551>

Эффект Эдисона и феномен электро-квантовой проводимости вакуумного диода \\ The Edison effect and the phenomenon of electro-quantum conductivity of a vacuum diode

Preprint · September 2024

CITATIONS

0

1 author:



Farkhad Nazipovich Iliassov

independent researcher. Mocrow, Russia

54 PUBLICATIONS 15 CITATIONS

SEE PROFILE



Ильясов Ф. Н. Эффект Эдисона и феномен электро-квантовой проводимости вакуумного диода. М.: ИЦ Орион. 2024, сентябрь. Препринт. 16 с.

Фархад Назипович Ильясов. Исследовательский центр Орион. E-mail: iliassov.farkhad@yahoo.com

Iliassov F. N. The Edison effect and the phenomenon of electro-quantum conductivity of a vacuum diode. Moscow: IC Orion. 2024. September. Preprint. 16 p.

Farkhad Nazipovich Iliassov. Orion Research Center. E-mail: iliassov.farkhad@yahoo.com

Аннотация

В статье эффект Эдисона, работа вакуумного диода, описываются с точки зрения унитарной теории электричества. Показывается, что прохождение электрической энергии через вакуумный диод осуществляется посредством электро-квантовой и катион-анионной проводимости газов, а также в силу феномена термо-электро абсорбции катода.

Ключевые слова: эффект Эдисона, вакуумный диод, термоэлектронная эмиссия, электро-квантовая проводимость, термо-электро абсорбция

Abstract

In the article the Edison effect, the operation of a vacuum diode, is described from the point of view of the unitary theory of electricity. It is shown that the passage of electrical energy through a vacuum diode is carried out by means of electro-quantum and cation-anion conductivity of gases, as well as by virtue of the phenomenon of thermo-electro absorption of the cathode.

Key words: Edison effect, vacuum diode, thermionic emission, electro-quantum conductivity, thermo-electro absorption

Содержание

1. Введение
2. Что такое «эффект Эдисона»
3. Основные положения унитарной теории электричества
4. Ионная проводимость как возможная составляющая эффекта Эдисона
5. Гипотеза о термоэлектронной эмиссии и электро-квантовая проводимость вакуумного диода
6. Эффект Эдисона в вакуумном диоде с внешним накалом катода
7. Электро-квантовая проводимость в диоде с холодным катодом – «автоэлектронная эмиссия»
8. Заключение

Content

1. Introduction
2. What is the "Edison effect"
3. Basic provisions of the unitary theory of electricity
4. Ionic conductivity as a possible component of the Edison effect
5. The hypothesis of thermionic emission and electro-quantum conductivity of a vacuum diode
6. The Edison effect in a vacuum diode with an externally heated cathode
7. Electro-quantum conductivity in a cold cathode diode – "field emission"
8. Conclusion

1. Введение

Эффект Эдисона обычно рассматривается в рамках электронной теории электричества. Однако, как это не парадоксально, детальный анализ эмпирических данных показывает несостоятельность гипотез о существовании «отрицательного заряда», катодных лучей, и вытекающей из них гипотезы о существовании «электронов»; подробнее см.: [Ильясов, 2024 (b)].

Ситуация с состоянием теории электричества усугублена тем, что корректно эмпирически не подтвержденная гипотеза о существовании электрона является фундаментальной базой для огромного количества различных теоретических и математических построений. В связи с чем электронная теория электричества имеет огромную инерционность и практически приобрела статус гражданской религии.

С методической точки зрения нет необходимости вводить «избыточную сущность без надобности» в виде «электрона», когда объяснение может происходить и без нее.

В данной статье эффект Эдисона рассматривается с точки зрения унитарной теории электричества, которая, в отличие от электронной гипотезы, объясняет конкретно, что является субстанцией электричества.

2. Что такое «эффект Эдисона»

В некоторых публикациях о вакуумных диодах, система, состоящая из:

1. анода (через который электричество поступает в нить накала);
 2. нити накала;
 3. катода,
- не совсем корректно называется «катодом прямого накала», тогда как на самом деле это три элемента, а не один.

Соответственно, вакуумный диод прямого накала составлен не двумя электродами, а тремя – двумя анодами и одним катодом. Ниже эти элементы описываются по отдельности.

Томас Эдисон в 1883 году решил усовершенствовать электрическую лампу накаливания своей конструкции. Он сделал лампу следующего устройства. Поток электрической энергии, идущий от положительно заряженной клеммы источника электроэнергии, раздваивается и входит в лампу накаливания с двух сторон посредством двух анодов. Один изолированный анод (назовем его анод №1) находится в пространстве колбы и ни с чем не соприкасается, кроме атомов остаточного газа. Между анодом №1 и источником электричества находится гальванометр, см. рис. 1.

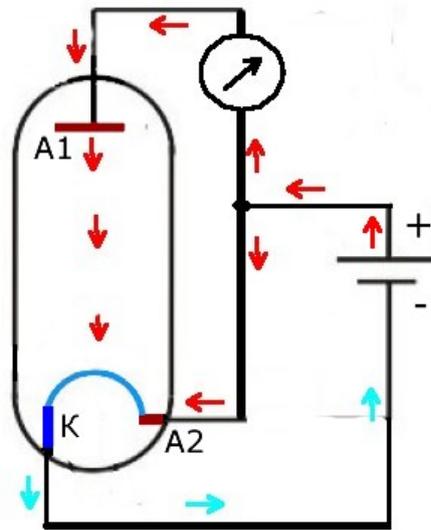
При подключении электричества, после того как нить накала (между анодом №2 и катодом) накаляется, гальванометр (включенный в цепь между анодом №1 и положительной клеммой источника электричества) показывает, что через него проходит электричество. Это явление и было названо эффектом Эдисона, а устройство гораздо позднее получило название вакуумного диода.

Томас Эдисон описывал эффект следующим образом:

«Я обнаружил, что если в любом месте пустого пространства внутри колбы электрической лампы накаливания поместить проводник, и указанный проводник подсоединить снаружи лампы к одному выводу,

предпочтительно положительному, проводника лампы накаливания, то часть тока будет проходить через проводник, когда лампа находится в работе, – проходить через сформированную таким образом шунтирующую цепь, которая включает в себя часть пустого пространства внутри лампы.» Цит. по: [Sharp, 1922: 69]

Рис. 1*. Схема подключения элементов цепи, демонстрирующая эффект Эдисона



A1 и A2 – аноды, K – катод. *Концепт схемы на рис. 1 взят из: [Sharp, 1922; 68].

Из приведенной цитаты можно сделать вывод: Эдисон полагал, что электричество идет от положительной клеммы источника электричества к отрицательной клемме, по двум путям:

- 1) прямо – через анод №2, нить накали и катод,
- 2) и через шунтирующую цепь, – через анод №1, пространство колбы, – нить накала и катод.

Томас Эдисон полагал, что электричество проходит через вакуумный диод посредством ионной проводимости, в 1921 г. он пояснил:

«Моя теория заключалась в том, что остаточный газ, соприкасающийся с нитью накаливания, и часть самой нити накаливания заряжались, притягивались стеклом и разряжались. Поскольку полярность не менялась, я думал, что это должно давать постоянный ток.» Цит. по: [Sharp, 1922: 69]

Объяснение эффекта Эдисона различно в различных теориях электричества. В канонической физике преобладает теория, основанная на гипотезах о существовании катодных лучей – электронов. Однако электронная гипотеза, при детальном рассмотрении ее эмпирических оснований, представляется несостоятельной [Ильясов, 2024 (b)].

Далее эффект Эдисона рассматривается в рамках унитарной теории электричества. Поскольку унитарная теория электричества малоизвестна, ниже излагаются ее главные положения, на которых основано рассмотрение эффекта Эдисона.

3. Основные положения унитарной теории электричества

Электрический ток – это поток мельчайших порций, квантов электрической энергии (электро-квантов), которые движутся из того места где их больше (избыточно, положительно заряженное место), в то место, где их меньше (дефицитно, отрицательно заряженное место). Также, как это происходит с квантами тепловой энергии при теплообмене.

Соответственно, электро-кванты по электрической цепи движутся от плюса к минусу источника электрической энергии.

Каждое тело (вещество) имеет на (в) себе нормальное, природное количество электроэнергии.

Если на (в) теле электроэнергии больше нормального – оно является избыточно (положительно) заряженным, избыточно (положительно) электризованным.

Если электроэнергии на теле меньше нормы – тело является дефицитно (отрицательно) заряженным, дефицитно (отрицательно) электризованным.

Если на теле нормальное количество электроэнергии – тело является не электризованным.

Электрическое поле электрической цепи формируется двумя факторами:

- 1) свойством электро-квантов отталкиваться друг от друга (избыточно, положительно заряженное тело);

2) свойством тел притягивать электро-кванты (дефицитно, отрицательно заряженное тело).

Электрическое поле Бенджамин Франклин называл «электрическая атмосфера». Мощность (энергия) электрического поля задается тем, что Георг Ом называл «электроскопическая разность» (или «напряжение») – это разность в количестве электричества между двумя местами (клеммами источника электрической энергии, точками цепи, двумя телами). Далее электроскопическая разность пишется как «ЭС-разность».

Термины «положительно» (избыточно) и «отрицательно» (дефицитно) заряженные тела используются в том смысле, каком их использовал Бенджамин Франклин, который и ввел в научный оборот эти термины. Термины «плюс» и «минус», введенные Франклинов, тождественны понятиям «больше» (или избыточно заряженное) и «меньше» (или дефицитно заряженное).

Тело, на котором (удельное) количество электроэнергии меньше, притягивает электро-кванты с тела, на котором (удельное) количество электричества больше. Это очень существенный момент в понимании природы проводимости вакуумного диода.

В случае экспериментов по электростатике, менее заряженное тело притягивает электро-кванты с более заряженного тела вместе с телом. В итоге тела, на которых находится разное (удельное) количество электроэнергии, – притягиваются друг к другу; подробнее см.: [Ильясов, 2022].

Электризованные тела, на которых находится одинаковое (удельное) количество энергии – отталкиваются друг от друга.

Тела, на которых находится разное (удельное) количество электроэнергии, – притягиваются.

Описание особенностей указанного электростатического взаимодействия тел сделано Франклином на основе его опытов по электростатике. Подробнее об унитарной теории электричества см., например: [Франклин, 1956; Ильясов, 2019].

4. Ионная проводимость как возможная составляющая эффекта Эдисона

Николай Шишаков отмечает:

– проводимость в вакуумных трубках с холодными электродами осуществляется положительными ионами, а в трубках (колбах) с накаливаемыми катодами положительные ионы играют незначительную роль, и перенос электричества осуществляется при помощи термоэлектронного тока [Шишаков, 1923].

Как отмечают исследователи:

Наилучший достигнутый практически уровень разряженности в вакуумной трубке составляет $p=10^{-11}$ Па. Это значит в трубке содержится огромное число атомов (молекул) [Бобылев и др., 2007: 65].

Из этого следует, что катион-анионная проводимость может играть определенную роль при прохождении электричества через вакуумный диод.

Понимание ионной проводимости в рамках электронной и унитарной теорий электричества радикально различается. Опишем ионную, катион-анионную проводимость в газах в терминах унитарной теории электричества.

Атомы (молекулы), на которых находится избыточное количество электроэнергии, называются **катионами**. Количество избыточной электрической энергии на (v) атоме может быть различным. Условно говоря, оно может быть равно одному, двум или более квантам электрической энергии.

Анион, как дефицитно (отрицательно) заряженное тело, притягивается к положительно (избыточно) заряженному электроду – аноду, заряжается от него электрической энергией, становится катионом.

Роберт Поль описывает эксперимент, когда электрическая энергия переносится между анодом и катодом (пластинами конденсатора) с помощью алюминиевого порошка [Поль, 1960: 283]. В экспериментах по электростатике электрическую энергию может переносить шарик из диэлектрика притягиваясь поочередно к положительно, а затем к отрицательно заряженному электроду (телу), – и обратно. Катионы и анионы переносят электрическую энергию аналогичным образом.

После подключения вакуумной трубки к источнику электрической энергии, нормально заряженные атомы и анионы притягиваются к аноду, заряжаются от него избыточной электроэнергией и становятся избыточно (положительно) заряженными атомами - катионами. Затем катионы притягиваются к катоду – отдают ему энергию, становится дефицитно (отрицательно) заряженными атомами – анионами, и снова притягиваются к аноду.

При движении от анода к катоду катионы преобразуют часть своей избыточной электрической энергии и излучают ее в виде квантов световой и тепловой энергии, которые выходят за пределы вакуумной трубки.

Так происходит передача электрической энергии через вакуумную трубку. Это называется ионная или катион-анионная проводимость газов.

Понятно, если подключать электроды трубки к разным полюсам источника электроэнергии – ток проводит в обоих направлениях, во всех случаях.

Про более высоком вакууме ток через вакуумную трубку не проходит, если не подогревать катод.

5. Гипотеза о термоэлектронной эмиссии и электро-квантовая проводимость вакуумного диода

В канонической физике приняты следующие определения:

«Термоэлектронная эмиссия – испускание электронов нагретыми телами (эмиттерами) в вакуум» [Физическая..., 1998: 99].

«Термоэлектронный катод (термокатод) – катод электровакуумных и газоразрядных приборов, эмитирующих электроны при нагревании» [Физическая..., 1998: 102].

Гипотезы о существовании феноменов термоэлектронной эмиссии и термоэлектронного катода основаны на гипотезе:

– электрическая энергия в электрической цепи передается посредством электронов от минуса к плюсу, от «отрицательно» заряженной клеммы источника электричества к «положительно» заряженной клемме.

Однако гипотеза о существовании электронов достоверно не доказана и зиждется на гипотезе о катодных лучах, которая, в свою очередь, основана на оптической иллюзии [Ильясов, 2024 (b)].

Строго говоря, как это парадоксально, нет валидных эмпирических доказательств того, что накаленный катод излучает «электроны», и что электричество движется от катода к аноду. Приводимые в качестве обоснования эксперименты могут иметь различные объяснения и прямо не указывает на существование феномена термоэлектронной эмиссии.

Нередко эффект Эдисона рассматривают как доказательство существования термоэлектронной эмиссии, тогда как, строго говоря, он ее никак не доказывает, это просто одна из возможных гипотез о механизме прохождения электричества через вакуумный диод.

Вероятнее выглядит следующий процесс – анод излучает кванты электрической энергии, которые притягиваются к катоду и поглощаются им, соответственно, электричество идет от анода к катоду, от плюса к минусу.

С точки зрения унитарной теории электричества, можно предположить, что на самом деле все происходит следующим образом:

- Накаленный катод (или нить накала с катодом) как менее заряженное тело, притягивает к себе электро-кванты от анода, как из более заряженного тела. Анод излучает электро-кванты, а катод поглощает их. Также катод притягивает к себе катионы, «отнимает» у них электро-кванты, делая эти атомы анионами, – дефицитно (отрицательно) заряженными атомами.

Вероятно, в условиях высокого вакуума и большой ЭС-разности (высокого напряжения), накаленный катод (или нить накала, соединенная с катодом) более активно притягивает электро-кванты с анода, это приводит к тому, что анод начинает более активно излучать электро-кванты.

Можно предположить, что при начальном накаливании катода, в колбе диода увеличивается число электро-квантов (и катионов), это увеличивает ЭС-разность (напряжение) между катодом и «облаком» электро-квантов (и катионов) в колбе,

вследствие чего возникает электро-квантовая (и ионная) проводимость вакуумного диода.

Феномен активного притяжения электро-квантов и их поглощение накалившимся катодом (или нитью накала) можно назвать термо-электро абсорбцией. Вероятно это обусловлено более общим феноменом – дефицитно (отрицательно) заряженный раскаленный металл активно притягивает электро-кванты (и катионы) из окружающего пространства, для того, чтобы стать нормально заряженным. А катод (или нить накала) именно таким металлом и является.

Надо отметить, сторонники гипотезы о существовании электрона, полагают «наоборот», – что раскаленный, «отрицательно» заряженный металл излучает электроны, т.е. объясняют данный феномен гипотезой о термоэлектронной эмиссии.

Феномен активного излучения анодом электро-квантов и притяжение их накалившимся катодом (или нитью накала, соединенной с катодом) можно назвать электро-квантовой проводимостью.

Явления излучения избыточно электризованным телом электро-квантов широко известны. Это, например, излучение электро-квантов антенной радиопередатчика. Правда в канонической физике принято считать, что радиосигнал передается «электромагнитной волной», однако, существование ЭМ-волн, именно как ЭМ-волн, эмпирически достоверно не доказано, потому ЭМ-волны (как и электрон) можно отнести к «избыточным сущностям введенным без надобности», см.: [Ильясов, 2024 (а)].

Другим примером излучения электро-квантов, является, например, их излучение проволокой, по которой проходит электрическая энергия, Например, в бытовой (домашней) электросети, при поднесении индикаторной отвертки к изолированной проволоке, проводящей электричество, отвертка «светится».

Таким образом, в создании потока электричества через анод №1 (см. рис. 1) участвуют следующие факторы:

- катион-анионная проводимость остаточного газа.
- электро-квантовая проводимость между анодом №1 и катодом (или нитью накала и катодом).

Можно предположить, что основная часть электроэнергии, проходящей через вакуумный диод, переносится посредством электро-квантовой проводимости.

Вещество анода может преобразовывать кванты электрической энергии в кванты других видов энергии, например, излучать кванты тепловой и рентгеновой энергий.

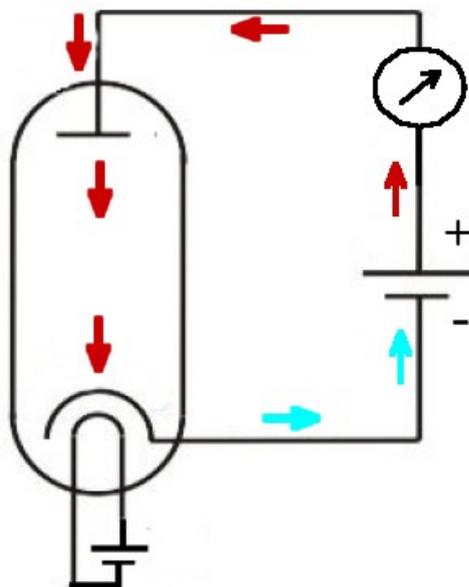
6. Эффект Эдисона в вакуумном диоде с внешним накалом катода

На рис. 2 показана схема вакуумного диода с внешним накалом, такая схема яснее демонстрирует эффект Эдисона, т.к. не отвлекает внимание на ситуацию с прямым нагревом (накалом) «катода» (нити накала).

Вакуумный диод с внешним накалом состоит из двух электродов (см. рис 2), в отличие от диодов прямого накала, которые составлены тремя электродами (см. рис. 1).

В данном случае катод является именно катодом, а не системой, состоящей из анода, нити накала и катода.

Рис. 2. Прохождение электрической энергии через вакуумный диод с внешним нагревом (накалом)



При холодном катоде и очень высоком вакууме ток через диод не проходит. Внешний нагрев катода включает и активизирует процессы катион-анионной и электро-квантовой проводимости.

Электро-кванты и катионы создают в колбе диода своего рода «электрическое облако», состоящее из электро-квантов и из плазмы (катионов). Это «облако» не моментально переносит электрическую энергию от анода к катоду, а создают своего рода «электрический амортизатор», который выравнивают амплитуду мощности потока динамического электричества (переменного тока), проходящего через диод, делая его равномерным («постоянным»). Для пояснения возьмем аналогию из гидродинамики. Если в бассейн из одной трубы поток воды поступает импульсами, то из другой трубы вода из бассейна всегда будет вытекать равномерно, постоянным по мощности (плотности) потоком.

Если же верхний электрод (см. рис. 2) подключить к минусу источника электроэнергии, а нижний электрод подключить к плюсу, то проводимость устройства будет крайне мала (может считаться равной нулю), т.к. в этом случае верхний электрод, ставший катодом, не нагревается и процесс электро-квантовой проводимости не возникает.

7. Электро-квантовая проводимость в диоде с холодным катодом – «автоэлектронная эмиссия»

Электро-квантовая проводимость возможна и без подогрева катода. В канонической физике этот процесс называется «автоэлектронная эмиссия» (полевая электронная эмиссия – англ.: field emission), а устройство называется «автоэлектронный диод»:

«Автоэлектронная эмиссия (полевая эмиссия, электростатическая эмиссия, туннельная эмиссия) – испускание электронов проводящими твёрдыми и жидкими телами под действием внешнего электрического поля достаточно высокой напряжённости...» [Физическая..., 1988: 21]

«Автоэлектронные эмиттеры (катоды) делают в виде поверхностей с большой кривизной: острия, лезвия...» [Физическая..., 1988: 23].

В данном изложении «автоэлектронная эмиссия» будет рассматриваться как аналог электростатической эмиссии – как излучение избыточно заряженным телом электро-

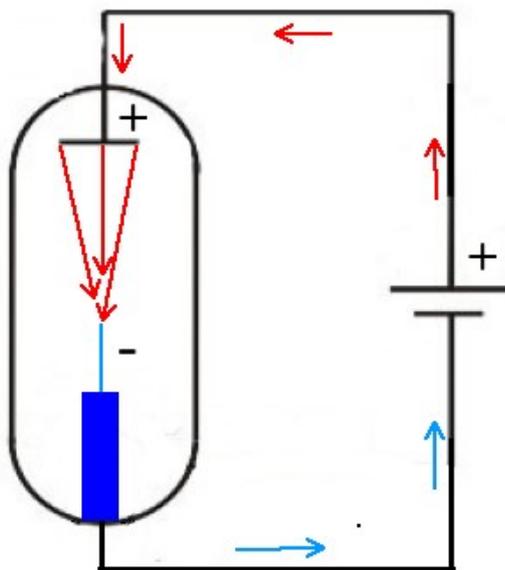
квантов и притяжение электро-квантов дефицитно (отрицательно) заряженным телом.

Прохождение электричества через диод с холодным катодом в канонической физике может называться «холодной эмиссией», – имеется в виду, что холодный катод эмитирует электроны без подогрева.

Как и в случае с термоэлектронной эмиссией, гипотеза о существовании феномена автоэлектронной эмиссии не доказана экспериментально, строго говоря, все рассуждения о ней носят спекулятивный характер.

Проводимость вакуумного диода с холодным катодом увеличивается в конструкциях типа: «острый (игольчатый) катод против широкого анода». Можно полагать, что на самом деле, при уменьшении «контактной поверхности» катода, при большой ЭС-разности между анодом и катодом, сила (энергия) притяжения катодом электро-квантов на единицу площади катода, радикально увеличивается и острие катода притягивает к себе электро-кванты с анода, см. рис. 3.

Рис. 3. Электро-квантовая проводимость в диоде с холодным заостренным катодом – «автоэлектронный диод»



Следует также отметить, при большой ЭС-разности, концентрация электро-квантов на аноде увеличивается и, соответственно, усиливается действие свойства электро-

квантов отталкиваться друг от друга, и они излучаются в межэлектродное пространство.

Возьмем очень условный пример.

Количество электрической энергии для большей ясности изложения будем измерять в единицах измерения энергии – *калориях*. Положим, ЭС-разность в количестве электрической энергии между анодом и катодом = 200 *cal*. Площадь катода = 10 *мм*². Тогда получается на 1 *мм*² катода действует ЭС-разность = 20 *cal/мм*² (200 *cal* / 10 *мм*²). А если площадь катода сделать равной 1 *мм*², тогда на 1 *мм*² катода будет действовать энергия = 200 *cal*. Соответственно катод будет активнее притягивать электро-кванты с анода.

Если истолковывать эмпирические данные с точки зрения унитарной теории электричества, то можно говорить о возможности поглощение одиночным не нагреваемым «острым» катодом больших плотностей тока: « $\sim 10^{11}$ А/см² – теоретический предел; и $\sim 10^8$ А/см² в эксперименте Дайка» [Шестеркин, 2020: 3].

8. Заключение

1. Электро-проводимость вакуумного диода возникает в результате возникновения феноменов электро-квантовой и катион-анионной проводимости в колбе вакуумного диода.
2. Односторонняя проводимость вакуумного диода всецело обусловлена тем, что (несамостоятельная) проводимость в диоде может возникать только в случае подогрева катода (или нити накала, соединенной с катодом).
3. В силу его конструкции, вакуумный диод, посредством совокупности электро-квантов и катионов в колбе, делает поток электроэнергии, проходящий через него, более равномерным – «выпрямляет» неравномерно движущийся поток электричества.

Ссылки \ References

- Бобылев Ю. В., Панин В. А. Романов Р. В. (2007) Курс общей физики. Электродинамика: Краткий курс лекций. Тула: Изд-во ТГПУ им. Л. Н. Толстого.
Bobylev Yu. V., Panin V. A. Romanov R. V. (2007) General Physics Course. Electrodynamics: A Short Course of Lectures. Tula: Publishing House of L. N. Tolstoy TSPU. (in russ.)
- Белькинд Л. Д. (1964) Томас Альва Эдисон. М.: Наука. 326 с.
Belkind L. D. (1964) Thomas Alva Edison. M.: Science. 326 pp. (in russ.)
- Ильясов Ф. Н. (2019) Кванты электрической энергии – о концепции электричества Бенджамина Франклина. М.: ИЦ Орион. 2019, ноябрь. Препринт.
Iliassov F. N. (2019) Quanta of electrical energy - on the concept of electricity Benjamin Franklin. Moscow: IC Orion. 2019, November. (preprint) (in russ.)
- Ильясов Ф. Н. (2022) Модификация закона Кулона, учитывающая феномен притяжения электричества телами. М.: ИЦ Орион. 2022, ноябрь. Препринт.
Iliassov F. N. (2022) Modification of Coulomb's law, taking into account the phenomenon of attraction of electricity by bodies. Moscow: IC Orion. 2022. November. Preprint. (in russ.)
- Ильясов Ф. Н. (2023) Энергия как потенциал температуры, движения, работы, взаимодействия. М.: ИЦ Орион. 2023, июль. Препринт.
Iliassov F.N. (2023) Energy as a potential for temperature, movement, work, interaction. Moscow: IC Orion. 2023. July. Preprint. (in russ.)
- Ильясов Ф. Н. (2024 (a)) О необоснованности теории электромагнитного поля и электромагнитных волн. М.: ИЦ Орион. 2024, январь. Препринт.
Iliassov F. N. (2024 (a)) On the groundlessness of the theory of the electromagnetic field and electromagnetic waves. Moscow: IC Orion. 2024. January. Preprint. (in russ.)
- Ильясов Ф. Н. (2024 (b)) Несостоятельность гипотез о существовании катодных лучей и электронов. М.: ИЦ Орион. 2024(a), август. Препринт.
Iliassov F.N. (2024 (b)) The failure of hypotheses about the existence of cathode rays and electrons. Moscow: IC Orion. 2024, August. Preprint. (in russ.)
- Капцов Н. А. (1950) Электрические явления в газах и вакууме. М.-Л.: Гостеортехиздат.
Kaptsov N. A. (1950) Electrical phenomena in gases and vacuum. M.-L.: Gosteortekhzdat. (in russ.)
- Поль Р. В. (1962) Учение об электричестве. М.: Физматгиз..
Pohl, Robert. (1962) Wichard. Elektrizitätslehre. Berlin: Springer. (russ. ed.)
- Sharp C. H. (1922) Edison Effect and its Modern Application // Journal of the American Institute of Electrical Engineers. Volume: 41, Issue: 1, January 1922.
<https://zenodo.org/record/1547538/files/article.pdf>

Физическая энциклопедия (1988) Гл. ред. А. М. Прохоров. В 5-ти тт. Т. 1. М.: Советская Энциклопедия.
Physical encyclopedia (1988) Ch. ed. A. M. Prokhorov. In 5 vols. Vol. 1. M.: Sovetskaya Entsiklopediya.

Физическая энциклопедия (1998) Гл. ред. А. М. Прохоров. В 5-ти тт. Т. 5. М.: Большая российская энциклопедия.
Physical encyclopedia (1998) Ch. ed. A. M. Prokhorov. In 5 vols. Vol. 5. Moscow: Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya. (in russ.)

Франклин В.(1956) Опыты и наблюдения над электричеством. М.: Изд-во АН СССР.
Benjamin Franklin's Experiments (1941) A new edition of Franklin's Experiments and Observations on Electricity. In ed. I. Bernard Cohen. Cambridge, Massachusetts. (russ. ed.)

Шестеркин В. И. (2020) Эмиссионно-эксплуатационные характеристики различных типов автоэмиссионных катодов // Радиотехника и электроника. 2020. Т. 65. № 1. С. 3-30.
Shesterkin V. I. (2020) Emission and operational characteristics of various types of field emission cathodes // Radio engineering and electronics. 2020. Vol. 65. No. 1. P. 3-30. (in russ.)

Шишаков Н. А. (1928) Исчезновение газа при электрическом разряде // Успехи физических наук. 1928. № 8. С. 105–114.
Shishakov N.A. (1928) Disappearance of gas during an electric discharge // Uspekhi fizicheskikh nauk (Advances in Physical Sciences). 1928. No. 8. P. 105–114. (in russ.)