



Ильясов Ф. Н.<sup>1</sup> Принцип работы электрофора, электрофорной машины. М.: ИЦ Орион. 2020, январь. (Препринт)

Iliassov F.N.<sup>2</sup> The principle of operation of electrophorus, electrophore machine. Moscow: IC Orion. 2019, December. (Preprint)

#### **Аннотация**

В статье описывается принцип работы ручного и механического электрофора, электрофорной машины, с точки зрения унитарной теории электричества. Описаны эксперименты Бенджамина Франклина и Франца Эпинуса, показывающие принцип действия электрофора. Дано объяснение работы прибора электрофора Алессандро Вольта с точки зрения унитарной теории электричества. Приведено объяснение работы механического электрофорного устройства с внешним источником электроэнергии и «прокачивающим» внутреннюю электроэнергию.

Ключевые *слова*: электрофорус; электрофор; электрофорная машина

#### **Abstract**

The article describes the principle of operation of a manual and mechanical electrophore, an electrophore machine, from the point of view of the unitary theory of electricity. The experiments of Benjamin Franklin and Franz Epinus, showing the principle of the electrophore, are described. An explanation of the operation of the electrophore device by Alessandro Volta from the point of view of the unitary theory of electricity is given. An explanation of the operation of a mechanical electrophore device with an external source of electricity and "pumping" internal electricity is given.

*Key words*: electrophorus; Wimshurst machine; electrophore; influence machine

---

<sup>1</sup> Фархад Назипович Ильясов. Исследовательский центр Орион. E-mail: [iliassov.farkhad@yahoo.com](mailto:iliassov.farkhad@yahoo.com)

<sup>2</sup> Farkhad Nazipovich Iliassov. Orion Research Center. E-mail: [iliassov.farkhad@yahoo.com](mailto:iliassov.farkhad@yahoo.com)

## 1. Введение

**Цель статьи** – описать принцип работы электрофора с точки зрения унитарной, квантовой теории электричества.

Унитарная, квантовая, теория электричества Бенджамина Франклина изложена, например: [Франклин, 1956; Эпинус, 1951; Ильясов, 2019].

В теории двух электричеств, дуальной (дуалистической) теории электричества, в двухдисковом электрофоре электроэнергия все время отводится от верхнего диска-накопителя, но не указывается, откуда она берется [Баранов, 2011; Крыжановский, 1992]. Получается, в рамках дуальной теории нет убедительного ответа на вопрос: откуда же снова и снова берется энергия. Например, в качестве источника энергии указывается механическая работа, совершаемая экспериментатором по подъему верхнего диска в двухдисковом электрофоре, и работа экспериментатора, совершаемая при вращении диска в электрофорной машине. Хотя нет объяснения тому, как именно в данном случае механическая энергия преобразуется в электрическую.

Сам принцип «работы» электрофора, как перемещение статического электричества с тела на тело, был открыт и описан Франклином в 1775 г [Франклин, 1956: 146-148]. Вкратце изложим положения его унитарной (квантовой) теории электричества, необходимые для понимания проведенных им экспериментов.

Электрическая субстанция, по Франклину, состоит из мельчайших порций (квантов) электрической энергии. Электрический ток есть движение электро-квантов из того места, где их больше, в то место, где их меньше. Так же, как это происходит с квантами тепловой (инфракрасной) энергии.

Каждое тело содержит «нормальное» для данного вещества количество электро-квантов, электроэнергии. Если электро-квантов больше нормального – тело является избыточно заряженным. Если электро-квантов меньше нормального – тело является дефицитно заряженным. Избыточно или дефицитно заряженное тело называется электризованным. Одинаково электризованные тела отталкиваются полями электро-квантов, которые на них находятся. Т.е. отталкиваются не тела, а электро-кванты.

Тело, на котором электро-квантов меньше, стремится притянуть электро-кванты, с тела, на котором их больше. За счет этого тела притягиваются.

Земля и человеческое тело содержит определенное, «нормальное для их вещества», количество электро-квантов на единицу объема, т.е. они являются нормально заряженными телами. Об этом, в частности, свидетельствуют показания электрометра – на прикосновения к руке или земле он не реагирует, т.е. показывает, что эти тела нормально заряжены. Если бы человеческое тело и Земля были электризованы, то они постоянно обменивались бы электроэнергиями. Соответственно тело и Земля, как нормально заряженные тела, при соприкосновении с дефицитно заряженными телами, передают им количество электро-квантов, необходимое для того, чтобы это тело стало нормально заряженным.

## 2. Бенджамин Франклин – электрофор как процедура

Уточнение терминов:

**Статическое электричество** – это электро-кванты, находящиеся на телах, перемещающиеся на телах, между телами, без воздействия поля электро-квантов источников питания, т.е. динамического (текущего) электричества.

**Электрофор** (англ. electrophorus, electrophore) – это конструкция, посредством которой, собирается и накапливается электроэнергия, за счет перемещения статического электричества на различных телах.

Примем следующие термины:

- **«тело-поляризатор»**, – избыточно или дефицитно заряженное, влияющее тело (или индуктор – влияющий объект);
- **«тело-накопитель»**, тело, которое накапливает энергию в результате определенных процедур (или реципиент – объект воспринимающий влияние).

Процесс работы электрофора, основы которого изложены Бенджамином Франклином в 1755 г., состоит из следующих шагов:

### 1) Поляризация электро-квантов на теле-накопителе («первичном проводнике»).

*«Наэлектризуйте стеклянную трубку, - пишет Франклин, - и подведите ее поперек [не касаясь] к первичному проводнику с его конца, противоположного тому, на котором висят нити, на расстояние в пять-шесть дюймов. Подержите ее в таком положении несколько секунд, и нити пучка разойдутся. Уберите трубку, и нити сомкнутся»* [Франклин, 1956: 146].

При подведении стеклянной трубки, нити расходятся вследствие того, что поле электро-квантов избыточно заряженной стеклянной трубки-поляризатора отталкивает от себя электро-кванты нормально заряженного проводника-накопителя. В результате тело-накопитель поляризуется – другой его конец становится избыточно заряженным, и избыточно заряженные, т.е. одинаково электризованные нити отталкиваются друг от друга. Если стеклянную трубку отвести от тела-накопителя, электро-кванты равномерно распределятся по нему, оно весь вновь становится нормально заряженным, и нити перестают расходиться.

*«Извлеките искру [прикосновением руки], - продолжает Франклин, - из первичного проводника около того места, где висят разомкнувшиеся нити, как и прежде, нити, и те сблизятся друг с другом»* [Франклин, 1956: 1467]. Произойдет это вследствие того, посредством «извлечения искры» часть электро-квантов с этой избыточно заряженной части тела-накопителя перейдет в руку, и тело в этой своей части станет нормально заряженным.

Однако после удаления трубки тело-накопитель в целом станет дефицитно заряженным и нити вновь разойдутся, но уже отталкиваясь как дефицитно заряженные тела.

В выше приведенном примере тело-накопитель в итоге становилось дефицитно заряженным.

## 2) Зарядка тела-накопителя до избыточной заряженности

Если вновь поднести стеклянную трубку-поляризатор к нормально заряженному телу-накопителю и дотронуться рукой до его ближнего края, который стал дефицитно заряженным, то электро-кванты с руки перейдут на тело-накопитель. Если теперь удалить палочку от тела, то оно останется избыточно заряженным. Нити вновь разойдутся – но теперь они будут отталкиваться как избыточно заряженные тела.

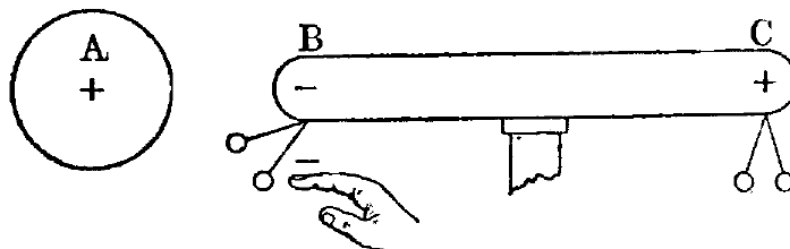
## 3) Разрядка тела-накопителя до степени нормальной заряженности

Если вновь коснуться тела-накопителя рукой, его избыточное электричество перейдет обратно в руку и тело-накопитель снова станет нормально заряженным.

Если на шаге \3\ к телу-накопителю поднести не руку, а провод, идущий к обкладке конденсатора, то избыточный заряд электричества уйдет в конденсатор. Эта обкладка конденсатора станет избыточно заряженной.

Франц Эспинус (нем. Franz Aepinus) придерживался унитарной теории электричества Франклина. На рис. 1 приведен рисунок, иллюстрирующий опыт Эспинуса (1759), показывающий феномен электрофора, когда к телу-накопителю подносится избыточно заряженное тело-поляризатор.

Рис. 1. Демонстрация принципа работы электрофора в экспериментах Франца Эспинуса \*



Електризація через вплив.

\* Рис. 1 взят из: [Лакуръ и др., 1908: 240].

На рис. 1 знак (+) обозначает избыточную заряженность, а знак (-) – дефицитную заряженность (так было изначально предложено Франклином). При приближении избыточно заряженного тела-поляризатора «A», электро-кванты нормально заряженного тела-накопителя отталкиваются на противоположный конец «C», он становится избыточно заряженным, а конец B становится дефицитно заряженным.

На стороне «С» предметы отталкиваются как избыточно заряженные, а на стороне «В» отталкиваются как дефицитно заряженные. Соответственно, если коснуться рукой к концу «В» – тело получит дополнительную энергию и станет избыточно заряженным, а если коснуться конца «С» – тело потеряет часть энергии и станет дефицитно заряженным.

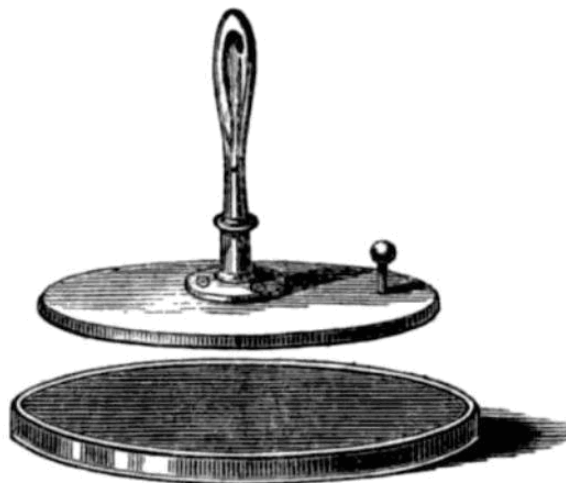
Таким образом, работа электрофора состоит из следующих последовательно производимых действий:

1. Электризация тела-поляризатора, т.е. превращение его в дефицитно или избыточно заряженное, натиранием стеклянной или эбонитовой палочки.
2. Поляризация электро-квантов на теле-накопителе поднесением электризованного тела-поляризатора.
3. Подзарядка тела-накопителя «от земли» до избыточной заряженности;
4. Разрядка тела-накопителя до степени нормальной заряженности.

### 3. Электрофор Алессандро Вольта

Алессандро Вольта усовершенствовал конструкцию электрофора. На рис. 2 приведен более поздний вид электрофора. Снизу находится тело-поляризатор, сверху тело-накопитель (с изолированной ручкой для подъема и опускания). Справа на теле-накопителе ручка-шарик для снятия избыточного электричества.

Рис. 2. Внешний вид прибора электрофора\*



\* Рис. 2 взят из: [Hare, 1840: 49].

По сути, электрофор Вольта представляет собой конденсатор переменной емкости с воздушным диэлектриком, см. рис. 2. Нижняя обкладка все время остается дефицитно заряженной, а верхняя, изначально нормально заряженная, в ходе процедур может становиться избыточно или дефицитно заряженной.

Нижний диск электрофора («поляризатор») был залит смесью смолы и воска. Сейчас может использоваться, например, акрил, тефлон, пластик. Верхний диск («накопитель») изготовлен из металла (например, алюминия), вверху диска-накопителя прикреплена продолговатая изолированная ручка и шарик для съема избыточного электричества.

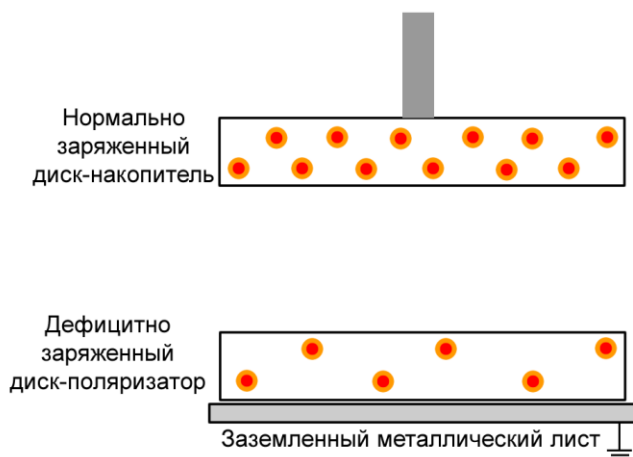
Эксперименты показывают: «Электрофор работает наиболее надежно, если заряженная изолирующая пластина лежит на заземленной плоскости, такой как металлический лист, фольга или проводящий пластик» [Jones, 2005].

Работа прибора электрофора состоит из тех же последовательно повторяющихся действий, которые были и в эксперименте Франклина:

### 1-й этап. Поляризация электро-квантов на теле-поляризаторе

Вначале диск-поляризатор (внизу), состоящий из акрила (тефлона, пластика), натирается шерстью (или, например, полиэтиленовым пакетом), вследствие чего он становится дефицитно заряженным (см. рис. 3).

Рис. 3. На первом шаге нижний диск-поляризатор натирается шерстью и становится дефицитно заряженным



### 2-й этап. Поляризация нормально заряженного диска-накопителя

Нормально заряженный верхний диск-накопитель преподносится к нижнему диску-поляризатору. В результате взаимодействия полей электро-квантов дефицитно заряженного нижнего диска-поляризатора и нормально заряженного верхнего диска-накопителя, электро-

кванты диска-накопителя притягиваются к границам тел. Верхняя часть верхнего диска-накопителя становится дефицитно заряженной, см. рис. 4.

**3-й этап.** Подзарядка нормально заряженного диска-накопителя до избыточной заряженности.

К верхней, дефицитно заряженной части диска-накопителя (см. рис. 5), преподносится палец (или земля). В результате верхняя часть этого диска дополнительно заряжается. Таким образом, общее количество электро-квантов на диске-накопителе увеличивается и становится больше нормального. Диск-накопитель становится избыточно заряженным, см. рис. 5.

Рис. 4. При сближении дисков, электро-кванты поляризованного верхнего диска-накопителя опускаются в нижнюю его часть

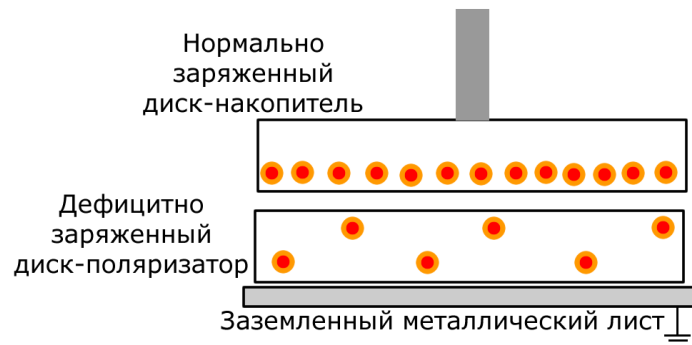
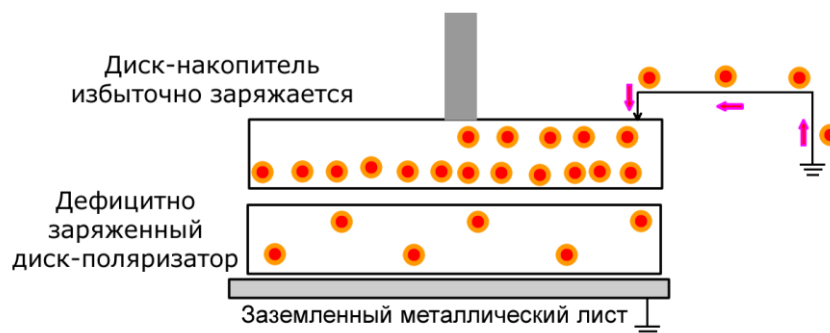


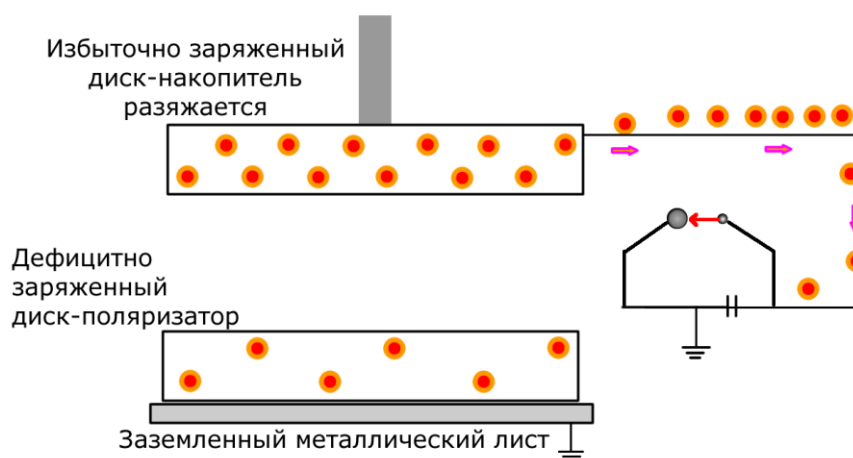
Рис. 5. Диск-накопитель подзаряжается от внешнего источника – заземления, и становится избыточно заряженным



**4-й этап.** Разрядка, съем избыточных электро-квантов с диска-накопителя, разрядка его до нормальной заряженности

После того, как диск-накопитель отводится от диска-поляризатора, диск-накопитель остается избыточно заряженным, и с него можно снимать избыточное электричество, преподнеся к верхнему диску провод, соединенный с обкладкой конденсатора, см. рис. 6. При подключении к искровому разряднику, между его шарами пробегает искра.

Рис. 6. К избыточно заряженному диску-накопителю подключается искровой разрядник и верхний диск-накопитель разряжается



Диск-накопитель отдает избыточную энергию конденсатору, и вновь становится нормально заряженным, его можно вновь поляризовать, преподнеся к диску-поляризатору.

Таким образом, работа прибора электрофора состоит из следующих основных процессов:

1. Тело-поляризатор делается дефицитно заряженным;
2. Поляризация электро-квантов на нормально заряженном теле-накопителе;
3. Подзарядка тела-накопителя «от земли» до избыточной заряженности;
4. Разрядка, съем избыточных электро-квантов с тела-накопителя конденсатором, разрядка его до нормальной заряженности.

Этот действия можно совершать неограниченное количество раз – пока тело-поляризатор не зарядится до нормальной степени, получая электро-кванты через воздух.

Аналогичным образом может быть описана схема работы электрофора, если диск-поляризатор делается избыточно заряженным.

Из изложенного понятно, что электрофор это не «генератор электрической энергии», а своего рода «электрический насос», который перекачивает электро-кванты из внешнего источника, из «руки» или из «земли», в конденсатор. Диск-накопитель вначале делается избыточно заряженным, а потом в землю и разряжается.



#### **4. Виды электрофорных машин**

Электрофорные машины относятся к электростатическим генераторам – устройствам, создающим поток электроэнергии путем «механического» переноса электро-квантов с одного тела на другое.

Следующим этапом в развитии электрофора была «механизация процесса» – создание электрофорной машины. Различные конструкции электростатических, машин влияния, электрофорных машин и приборов описаны, например: [De Queiroz, 1996-2018].

Электрофорная машина обычно состоит из двух дисков-диэлектриков, на которых находятся отдельные сектора (полоски) из алюминиевой (металлической) фольги. Вращаться может один из дисков, либо оба. Опыты показали, что электрофорная машина работает при минимальном количестве секторов на дисках 6-8 штук, но эффективность повышается при 16-18 секторах.

По типу протекающих процессов можно выделить два типа электрофорных машин:

1. Электрофоры, сначала избыточно заряжающиеся от внешнего источника (земли), затем отдающие полученную избыточную энергию обратно источнику (земле).
2. Электрофоры, «прокачивающие электроэнергию по кругу» внутри себя, через систему секторов, создающие избыточно заряженные тела, собирая эту энергию в разрядник, и через разряд, возвращающие энергию обратно в свои сектора.

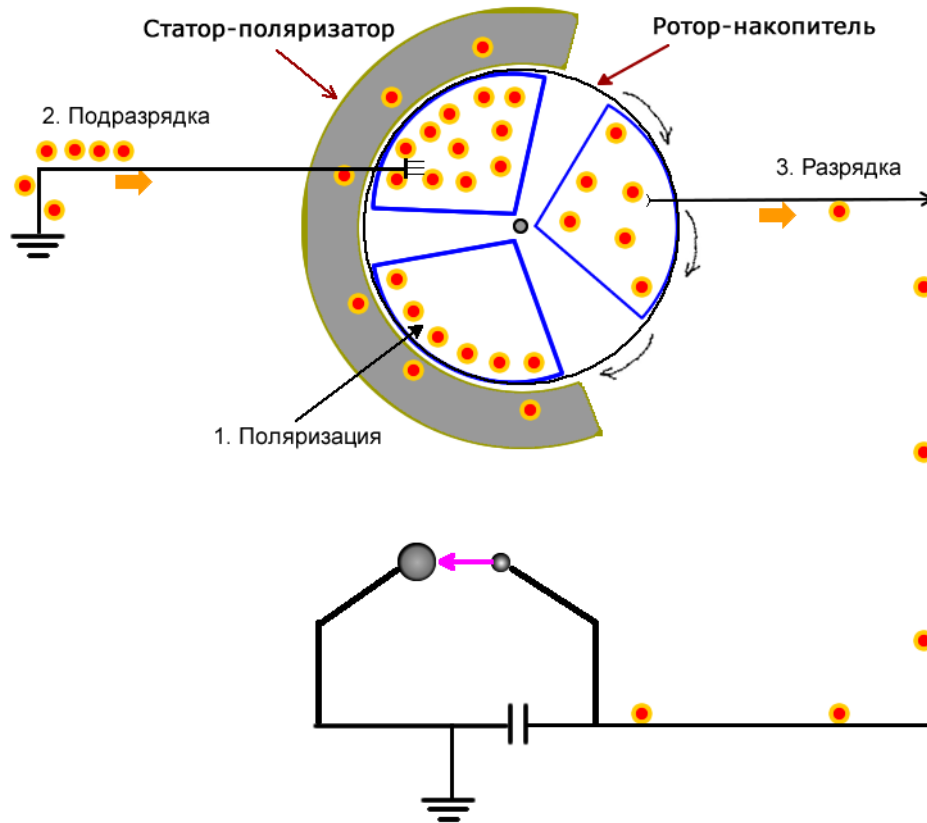
#### **5. Электрофор с внешним источником электроэнергии**

Далее, для простоты изложения, описана работа электрофорной машины с неподвижным диском – дефицитно заряженным статором-поляризатором и вращающимся диском – ротором-накопителем, на котором находится три сектора. На рис.7 приведена схема машины с тремя секторами (полосками, сегментами) из алюминиевой фольги, прикрепленными к вращающемуся диску (ротору) из диэлектрика. Количество секторов соответствует трем основным циклам работы электрофора, описанным выше.

Принцип работы этой электрофорной машины такой же, как у электрофоров описанных выше:

1. Вначале статор-поляризатор делается дефицитно заряженным, под его воздействием поляризуются электро-кванты на одном из секторов ротора-накопителя.
2. Сектор-накопитель избыточно заряжается.
3. Сектор-накопитель излучает электро-кванты, их принимает «вилка» (коронирующие острия) и отдает эту избыточную энергию в систему «обкладка конденсатора - искровой разрядник».

Рис. 7. Схема работы электрофорной машины



Земля, как указывалось выше, является нормально заряженным телом. При контакте избыточно заряженного тела с землей, избыточные электро-кванты переходят на землю. При контакте земли с дефицитно заряженным телом, часть электро-квантов, в количестве необходимом для превращения тела в нормально заряженное, с земли переходят на это тело.

В изображенной на рис. 7 схеме, на этапе (2) один из секторов-накопителей электрофорной машины избыточно заряжается от земли. На этапе (3) этот сектор выходит из зоны действия диска-поляризатора избыточно заряженным и отдает через вилку-электро-сборник избыточную электроэнергию в систему «обкладка конденсатора - искровой разрядник». Когда на заряжаемой обкладке конденсатора накапливается электроэнергия существенно больше, чем в земле, срабатывает искровой разрядник. То есть действие этой схемы электрофора основано на том, что он накапливает электрическую энергию, получаемую из земли, а потом отдает ее обратно в форме электрического разряда.

Аналогичным образом может быть описана работа электрофорной машины, диск-накопитель которой содержит большее число пластин (сегментов).

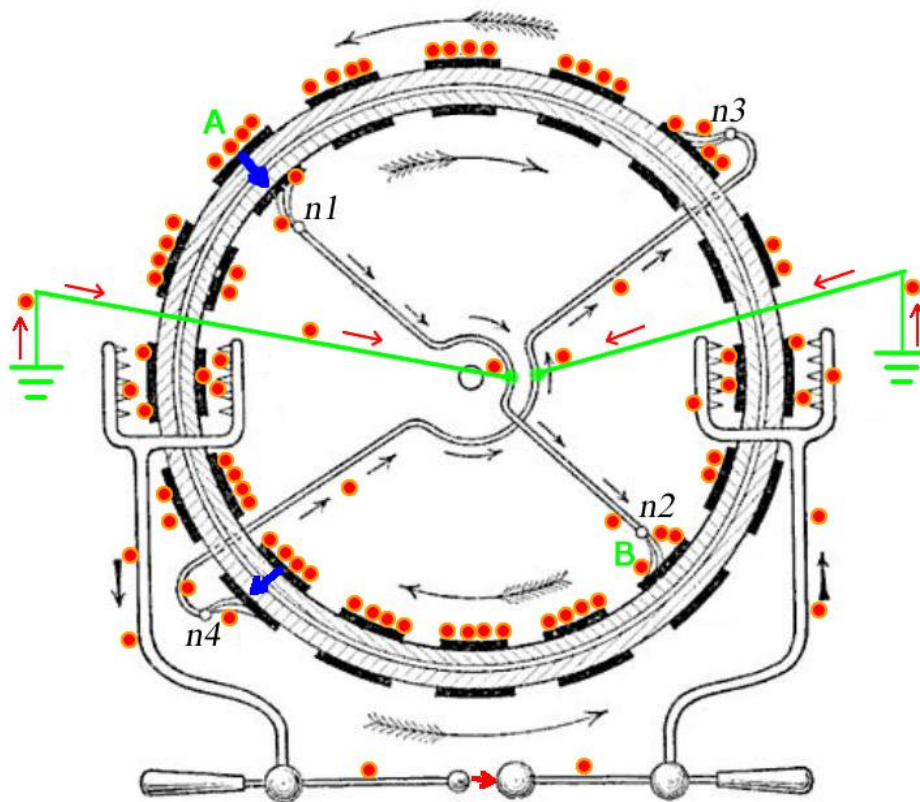
Подобного рода электрофорная машина может рассматриваться как генератор электрической энергии.

## 6. Электрофор, «прокачивающий» внутреннюю энергию

В настоящее время наиболее распространенной конструкцией механического электрофорного устройства являются модификации «машины влияния» Джеймса Уимшерста (Уимшерста, Вимшурста) – James Wimshurst influence machine, изобретенная в 1883 г.

На рис. 8 приведена схема работы машины Уимшерста, для удобства изложения диски машины изображены как внешний и внутренний. Красные шарики привнесены в рис 8 автором статьи. Количество шариков на сегментах (металлических пластинах) условно обозначает заряженность сегмента. 0 шариков – дефицитная заряженность, 2 шарика – нормальная заряженность, 3 и более шарика – избыточная заряженность.

Рис. 8. Схема работы электрофорной машины Уимшерста (Вимшурста) с точки зрения унитарной концепции электричества \*



\* Схема машины Уимшерста взята из: [Kennedy, 1903].

Как было показано выше в экспериментах Франклина, при приближении к нормально заряженному телу избыточно заряженного тела, электро-кванты нормально заряженного тела отталкиваются в дальнюю его часть.

На рис. 8 это показано – электро-кванты переходят по проводнику от сегмента у щетки  $n1$  к сегменту у щетки  $n2$ , и от сегмента у  $n4$  к сегменту  $n3$ . Это происходит вследствие того, что щетки  $n1 - n2$ , с соединяющим их проводником, и два сегмента диска, к которым они прикасаются, на момент прикосания становятся единым телом. Аналогично с щетками  $n4 - n3$  и сегментами, к которым они прикасаются.

На сегменте « $A$ » внешнего диска образовано избыточное количество электро-квантов. Поле этих электро-квантов отталкивает электро-кванты с тела « $n1-n2 + 2$  сегмента» – на сегмент « $B$ » внутреннего диска. На рис. это «отталкивание» изображено синей стрелкой. Одновременно дефицитно заряженное тело проводника  $n1-n2$  притягивает электро-кванты с заземления, которые также переходят на сегмент « $B$ ». То есть заряженность сегмента « $B$ » становится пропорциональной заряженности «отталкивающего» сегмента « $A$ ». В итоге сегмент « $B$ » становится избыточно заряженным. Его избыточное электричество снимается вилкой электро-сборником (она на рис. изображена слева) и передается на искровой разрядник. После съема электро-квантов сегмент становится нормально заряженным, и далее прикасается к щетке  $n1$ . Цикл повторяется.

Аналогичные процессы идут на внешнем диске.

Если электрофорную машину не подключать к заземлению, она сможет «прокачивать» электроэнергию по кругу, см. рис. Однако в этом случае электрофорная машина не сможет быть источником электроэнергии, т.к. ее собственный потенциал статического электричества быстро исчерпается.

## Ссылки \ References

- Баранов М. И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 5: Электротехника // Электротехніка і Електромеханіка. 2011. No. 6. С. 3-14.
- Baranov M.I. Anthology of Outstanding Achievements in Science and Technology. Part 5: Electrical engineering // Elektrotekhnikа і Elektromekhanika. 2011. No. 6. P. 3-14. (In Russ)
- Ильясов Ф. Н. Кванты электрической энергии – о концепции электричества Бенджамина Франклина. М.: ИЦ Орион. 2019, ноябрь. (Препринт)
- Iliassov, Farkhad N. Quanta of electrical energy - on the concept of electricity Benjamin Franklin. Moscow: IC Orion. 2019. (Preprint) (In Russ)
- Лакуръ П. Аппель Я. Историческая физика. Одесса: Blancoizdatel'stvo M. Шпенцера. 1908.
- Lakur P. Appel J. Historical Physics. Odessa: Blancoizdatel'stvo M. Spenser. 1908. (In Russ)
- Крыжановский Л. Н. Электростатическая индукция и электрофор в опытах XVIII в. // Электричество. 1992. No, 4. С. 60-62. (<http://old-journals.ru/article/a-9-3.html>: 2020-01-06)
- Kryzhanovsky L. N. Electrostatic induction and electrophore in experiments of the 18th century. // Elektrichestvo. 1992. No 4. P. 60-62. (In Russ)

- Франклин В. Опыты и наблюдения над электричеством. М.: Изд-во АН СССР. 1956.
- Benjamin Franklin's Experiments. A new edition of Franklin's Experiments and Observations on Electricity, edited by I. Bernard Cohen. Cambridge, Massachusetts, 1941. (Russ. Ed.)
- Эпинус Ф. У. Т. Теория электричества и магнетизма. М.: Изд-во АН СССР. 1951.
- Aepinus, Franz. Theory of electricity and magnetism. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1951. (Russ. ed.)
- De Queiroz, Antonio Carlos M. Electrostatic Machines. 1996-2018.  
<http://www.coe.ufrj.br/~acmq/electrostatic.html> (2020-01-14)
- Hare, Robert. A Compendium of the Course of Chemical Instruction in the Medical Department of the University of Pennsylvania. 4th Ed. Part 1. J.G. Auner, Philadelphia. 1840.
- Jones, Tomas B. Electrophorus and Accessories. 2005.  
<http://www.ece.rochester.edu/~jones/demos/electrophorus.html> [2020-01-09]
- Kennedy, Rankin. Electrical Installations: Of Electric Light, Power, Traction and Industrial Electrical Machinery. Vol V. London: Blackwood. 1903.
- Thompson, Sylvanus P. Elementary lessons in electricity and magnetism. MacMillan & Co., London, 1898. <http://en.bookfi.net/book/562633> (2020-01-14)