

Innovative methods in didactics

Case study: Teaching electrostatics

Grzegorz Karwasz
Didactics of Physics Division UMK, Toruń, Head

a/a 2020/2021

„Electricity and magnetism”

Navigation icons and flags:

- Mechanika (Icon: Pendulum)
- Optyka (Icon: Telescope)
- Termodynamika (Icon: Thermometer)
- Elektryczność i magnetyzm (Icon: Lightning bolt)
- Flags: UK, France, Germany, Italy

Grid of experiment images (2 rows, 4 columns):

- Row 1: Two charged spheres, a coin on a magnet, a glowing tube, a glass with a ring.
- Row 2: A green disk with a magnet, a compass, a blue device, a colorful structure.
- Row 3: A yellow disk on a stand, a green device, a black device, a black device.
- Row 4: A circuit board, a circuit board, a circuit board, a circuit board.
- Row 5: A circuit board, a circuit board, a circuit board, a circuit board.

Right sidebar: Elektryczność i magnetyzm

- Elektryczne bombki
- Klatka Faradaya
- Ziarenka ryżu
- Woltomierz Volty
- Wahadło chaotyczne
- Bączek z węzłem
- Znikopis magnetyczny
- Magnetyczna gwiazda
- Unoszące się magnesy
- Zakochane kręcioły
- Lewitujące hantle

dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1

„Pstryczek-elektryczek” (Click on el-click)
„Niech to piorun trzaśnie!” (Make it thunder blast!)



G. Karwasz & Maria Karwasz, Brzeg, 26.03.2011

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/786

„Pstryczek-elektryczek” „Niech to piorun trzaśnie!”



G. Karwasz & Maria Karwasz, Brzeg, 26.03.2011

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/786

„Pstryczek-elektryczek” (kids poetry) „Niech to piorun trzaśnie!” (Damn it!)



G. Karwasz & Maria Karwasz, Brzeg, 26.03.2011

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/786

Electron, i.e. amber

- „Already ancient Greeks – for sure not only them – believed in magic properties of amber
- A story says, that Jewish Ark killed a boy who touched it. The ark, made of wood, was lined inside and outside with gold plates (so forming an electric condenser). Priests, walking on high wooden sandals were electrically isolated, and by polishing gold with wool electrified the ark. The boy was bare, so he was killed by the electrical shock.
- Thunder is an electrical discharge (more precisely: a series of fast discharges in two directions) and the difference of the electrostatic potential is millions of volt, if not more.

Didactically, I call such stories a „hook” – to draw the attention of the listener
Such hooks must be interesting, *pretty* reliable, and possibly practical.

Electron, i.e. amber

Today we need not use the amber (or wooden sticks biled for hours in oil, like Volta did).



Plenty of synthetic „plastics” (almost all of them) are very good isolators.



Foto: Maria Karwasz <https://alessandrovolta.it/wp-content/uploads/2011/07/pag57.png>

Thunder, spark, welding arc

https://physics.aps.org/articles/v12/29?utm_campaign=weekly&utm_medium=email&utm_source=emailalert

Physics ABOUT BROWSE PRESS COLLECTIONS Search articles

Focus: Muons Reveal Record-Breaking Thunderstorm Voltage

March 15, 2019 • Physics 12, 29 **March 15, 2019 • Physics 12, 29**

A thunderstorm probed with atmospheric muons had an electric potential exceeding one billion volts, much higher than values measured previously.



Measurement of the Electrical Properties of a Thundercloud Through Muon Imaging by the GRAPES-3 Experiment

B. Hariharan, A. Chandra, S. R. Dugad, S. K. Gupta, P. Jagadeesan, A. Jain, P. K. Mohanty, S. D. Morris, P. K. Nayak, P. S. Rakshe, K. Ramesh, B. S. Rao, L. V. Reddy, M. Zuberi, Y. Hayashi, S. Kawakami, S. Ahmad, H. Kojima, A. Oshima, S. Shibata, Y. Muraki, and K. Tanaka (GRAPES-3 Collaboration)

Phys. Rev. Lett. 122, 105101 (2019)

Published March 15, 2019

Features

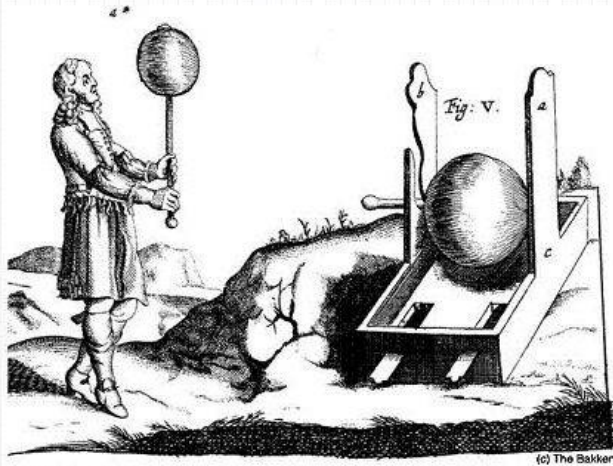
How to Get Raves for Your Reviews

At a celebration for the 90th anniversary of

Researchers have documented a thunderstorm producing an electric potential of about **1.3 billion volts (GV)**, 10 times greater than the largest value ever reported.

Kula siarkowa

W 1660 Otto von Guericke konstruuje pierwszą maszynę elektrostatyczną: kula z siarki obracana na żelaznej osi i pocierana dłonią. Dopiero w 1772 roku powstaje maszyna elektrostatyczna, w której ładunek jest zbierany w metalowym cylindrze a do pocierania służy układ grzebieni.



Po odkryciu w 1729 roku przez Stephena Graya, że elektryczność przepływa między różnymi ciałami, elektryzowanie się nawzajem stało się ulubioną rozrywką salonów arystokratycznej Europy. Mali chłopcy byli wieszani na jedwabnych pasach w celu elektrycznego "naładowania". Pocierani byli suchym płótnem tak długo, aż włosy na głowie im się jeżyły.

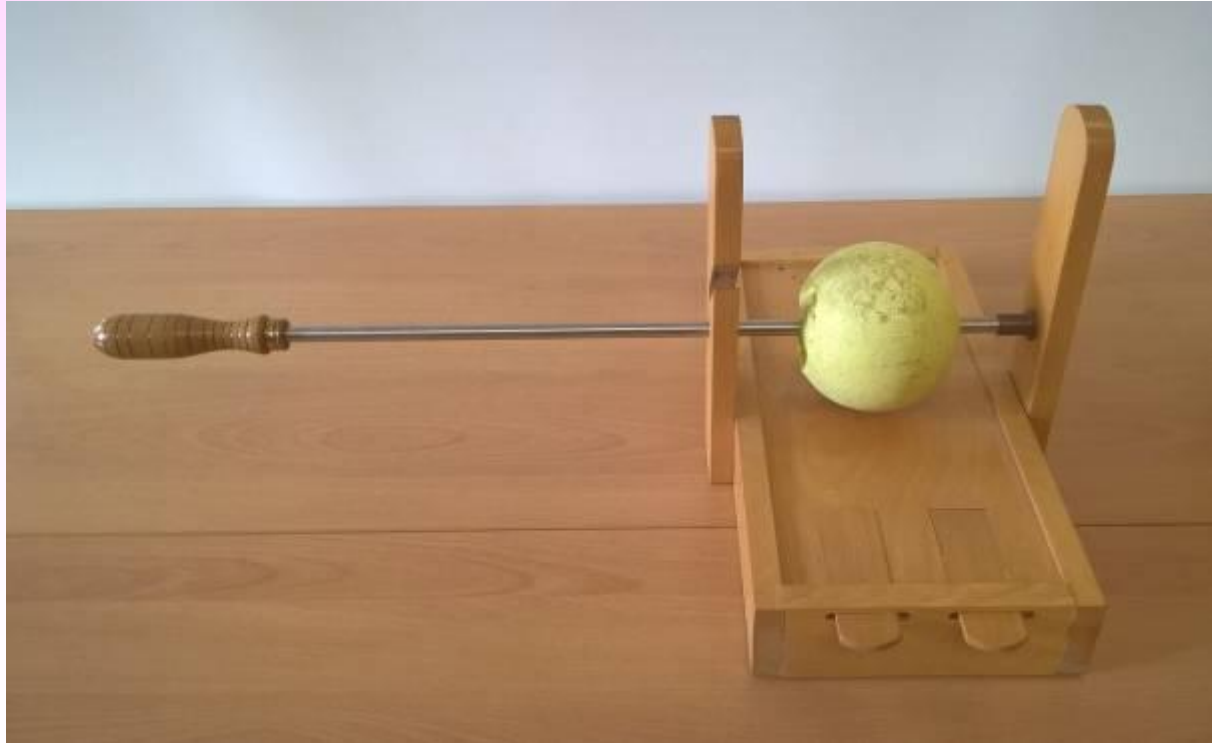
Sulphur ball

In 1660 Otto von Guericke made first electrostatic machine made of a sulphur ball rubbed by hand.

In XVIIIth century aristocratic courts were playing by hanging boys/ girls on silk strips and electrifying them by rubbing with cloths. Then – sparks were observed.

Similar sparks we observed removing a pullover made of wool or synthetics, particularly with clean hair

Sulphur ball



The sulphur sphere, rubbed by (a dry) hand, attracts small pieces of paper.

Electricity in XVII century was free-time playing between European aristocrats



Rys. 1. Salonowe zabawy w XVII wieku. Pani, zawieszona na izolujących linach elektryzuje się dotykając prawą dłoń maszyną elektrostatyczną von Guericke. Pan, podając jej rękę, przeżywa mały wstrząs (elektryczny)

Already **Tales from Milet** around 500 BC noticed particular feature of amber (Greek: *electron*).

W XVII century well known were experiments with sulphur or glass balls: the „electricity” was formed by rubbing, up to great sparks between the girl (suspended in air with silk ribbons) and the nobile boy.

Robert Symmer (1707-1763) observed the electricity on his black and white (wool? silk? stockings) worn one over other.

Benjamin Franklin collected the electrical energy from thunders, in condensers (so-called Leyda bottles)

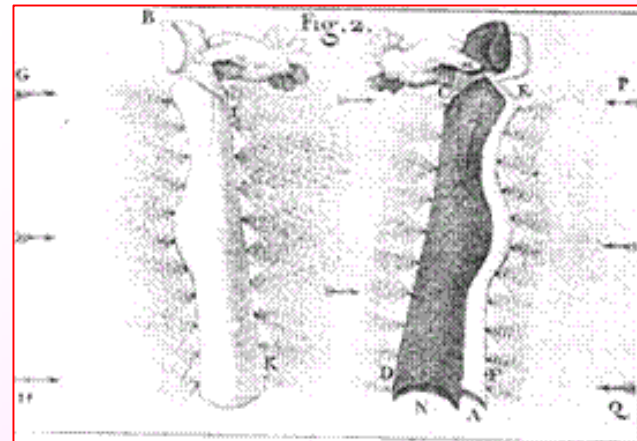
But the way to understand electrical phenomena was still long

The experiment of Symmer with two attracting or repelling stockings showed that electrical charges are of two types.

From times of Volta we call them positive (Ag electrode in his pile) and negative (Sn electrode). Why only two? We do not know

Symmer's stockings (1759) were important to show two types of electrical charges, and their interaction

https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Symmer



Try it with wool, silk, nylon, pile etc.

Trzy fakty, dziś oczywiste, nie były takie w XVII wieku Three facts, today obvious were not such in XVII century

1. Że ładunki są dwóch rodzajów, i tylko dwóch
That charges are of two, and only two types

2. Że ładunki powstają (np. przez jonizację atomu $Ar \rightarrow Ar^+ + e^-$) zawsze parami.

That charges can be separated in a process of ionization

Innymi słowy, sumy ładunków dodatnich i ujemnych w całym wszechświecie są identyczne

In other words, the sum of all charges in the Universe is zero

3. Siły elektryczne działają na nieskończone odległości (inaczej niż tzw. oddziaływania „silne” lub „słabe” w jądrze atomowym).

Electrical forces act at infinity (differently from „weak” or „strong in the nucleus

Innymi słowy, to te oddziaływania są najsilniejsze w atomie: to one nie pozwalają rozpędzonemu ($1/137$ prędkości światła) elektronowi oddalić się od jądra.

In other words, these are the strongest interaction in an *atom*: they do not allow the electron, running with $1/137$ c to separate from the nucleus.

Wiązania chemiczne to są siły elektrostatyczne

Chemical bonds are electrostatic ones

Siły elektryczne (a raczej elektrostatyczne) są potężne: to one trzymają materię „razem”.

Electrical (or better: electrostatic) forces are strong: they keep the matter together.

Chemicy mówią o różnego rodzaju wiązaniach: kowalencyjnych, jonowych, wodorowych, i tzw. van der Waalsa. We wszystkich przypadkach są to siły elektrostatyczne (> 99%).

Chemists say about „bonds” co-valent, ionic, hydrogen, van der Waals. In all cases they are electrostatic (>99%)

Amerykański podręcznik (R. Feynmana) podaje przykład wieżowca w Nowym Jorku, o wysokości prawie 300 m, który w czasie silnych wiatrów odchyła się o niecały metr.

Feynman speaks about the 300m-high sky-scraper in N-Y that during strongest winds oscillates less than 1 meter.

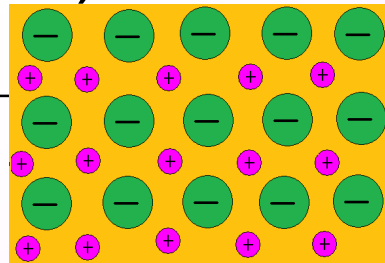
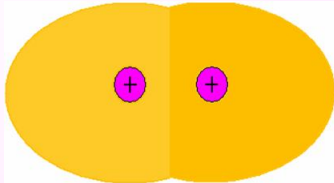
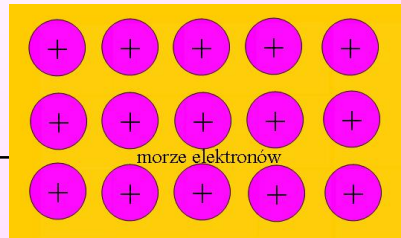
CaCO_3 molecules forming concrete are bond electrically

Cząsteczki CaCO_3 są związane w kryształ kalcytu (cement) poprzez siły elektrostatyczne.



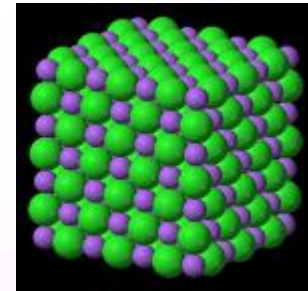
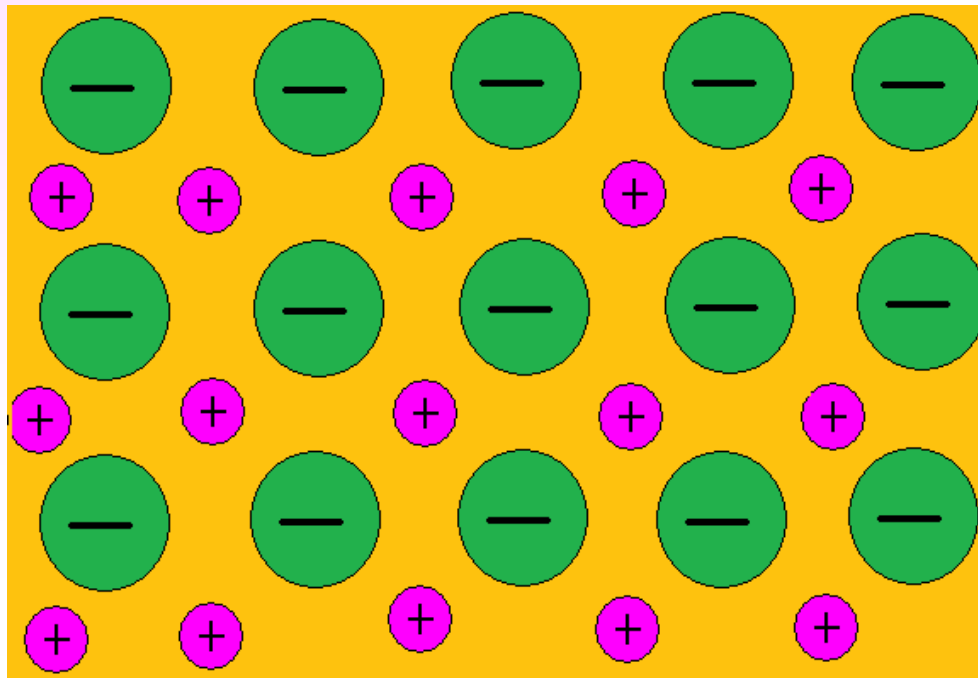
Foto: WIKI

Inter-atomic bonds

Type	Energy (kJ/mol)	
Ionic (e.g. Na^+Cl^- , directional, fragile)	600-1550	
Co-valent (e.g.. w diamond, H_2)	500-1250	
Metallic (plastic, high conductivity)	100-850	
van der Waals (e.g. among chains in polymers)	<40	

Ionic bond: pure electrostatic, point-like interaction

e.g. Na^+Cl^-

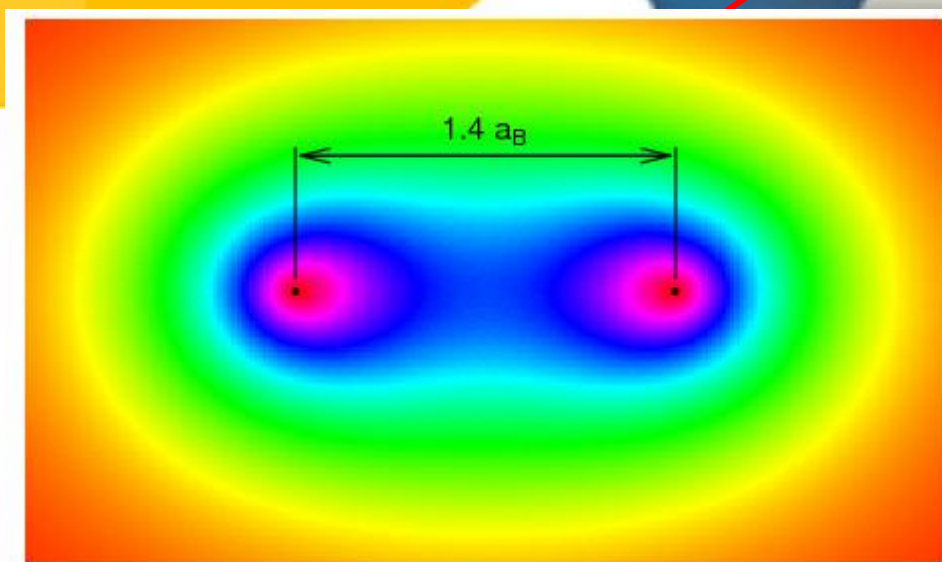
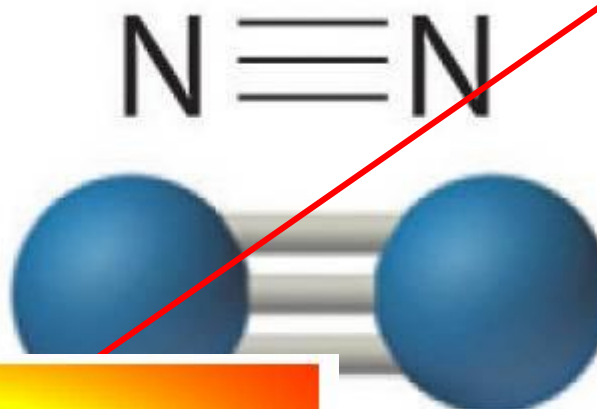
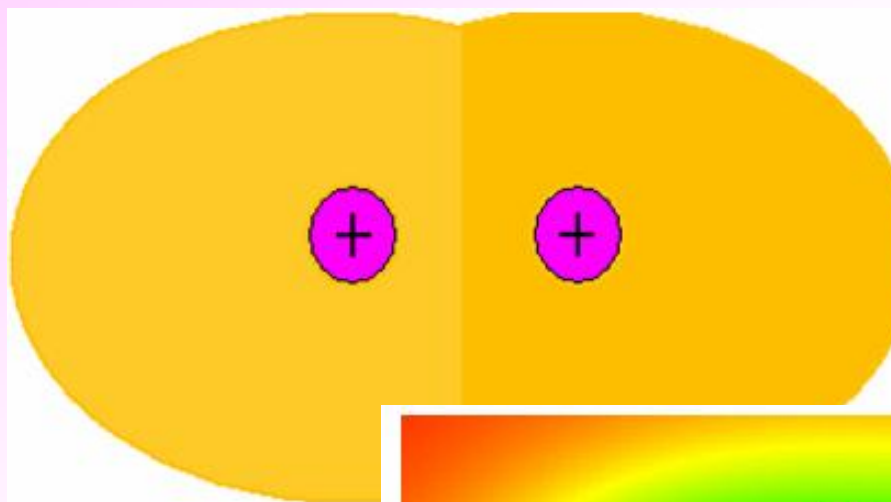


We draw Na^+ smaller to show that Na atoms lost one electron

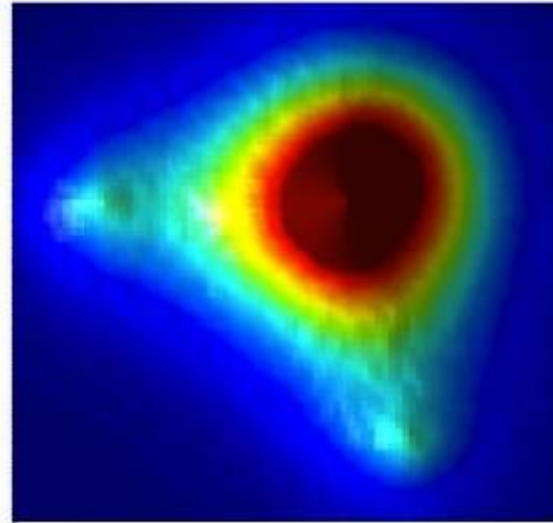
We draw Cl^- bigger, but these are not very good representations

Co-valent

np. H₂



Molecular bond (H_2O)

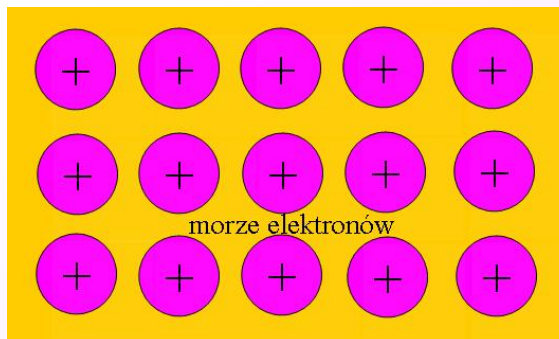


Density of electronic charge
Is this covalent?
or ionic?

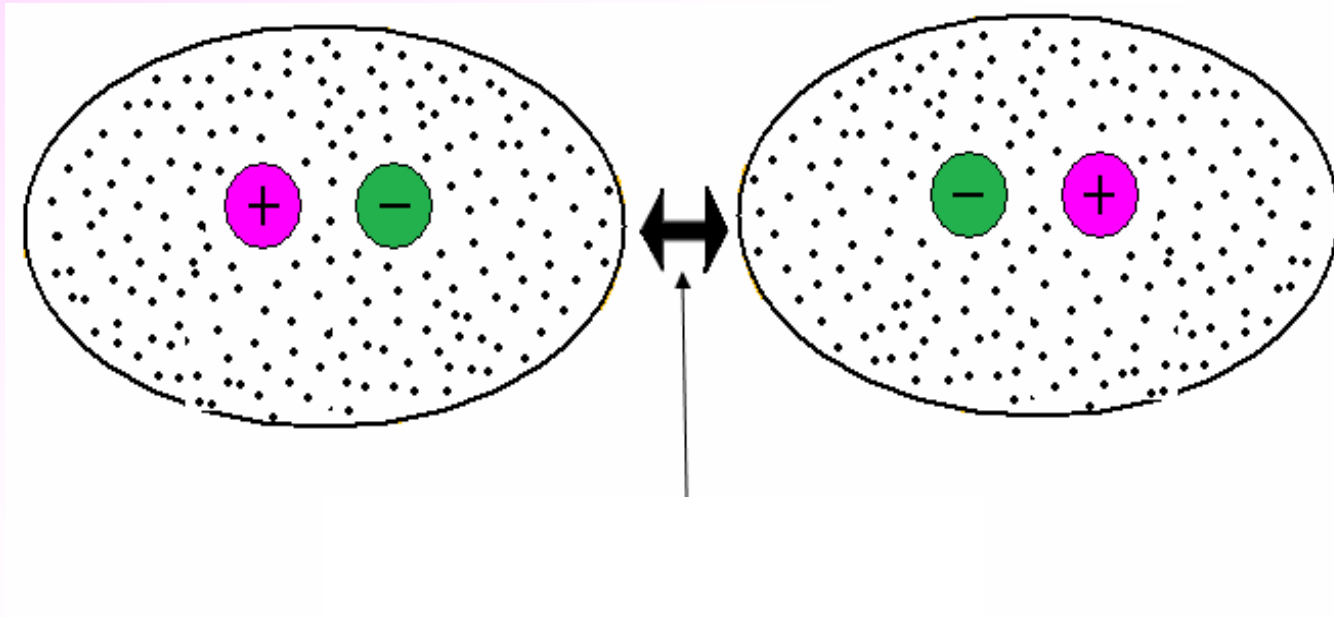
Without doubt strong and
important for life.

P. Souvatzis, https://www.researchgate.net/publication/259182003_Uquantchem_Supplementary/figures?lo=1

Metallic bond



van der Waals bond (i.e. mutual polarization)



The shift of charges in the neighbouring atom due to the mutual electrostatic interaction.

In this is formed, for example, weakly bonded Ar_2 molecule (0.08 eV)

Dimers of formic acid

Total Energy = -236967.26

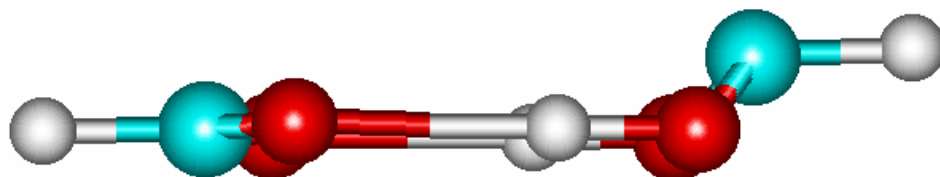
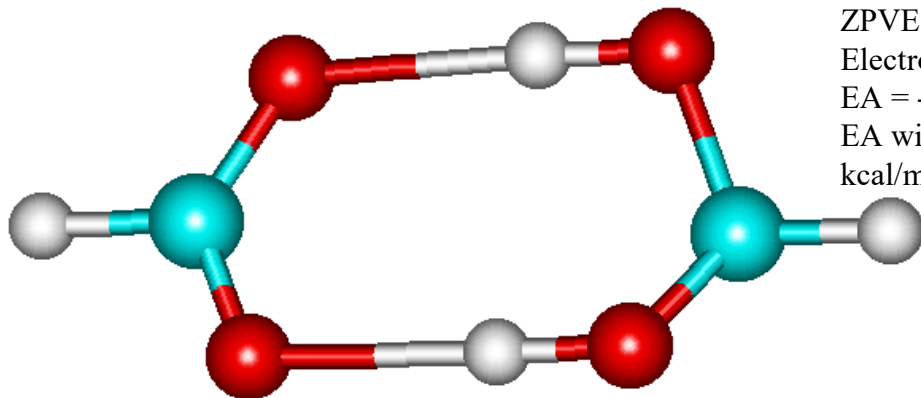
kcal/mol

ZPVE = 45.93 kcal/mol

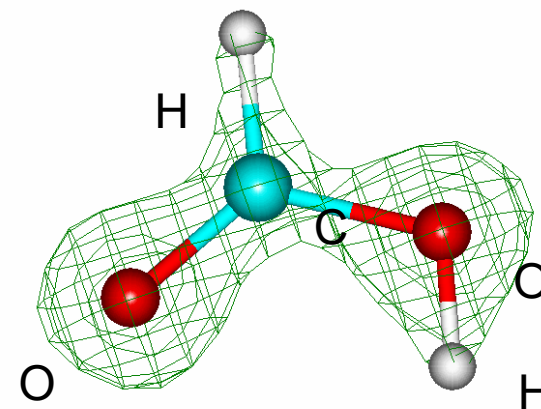
Electron affinity

EA = -21 kcal/mol

EA with ZPVE corr. = -18,68
kcal/mol



Electron density



The bond is formed via exchanging the hydrogen atom (or more precisely: bare proton, of the similar dimensions of electron). Chemists call this bond – **hydrogen** one „

Note a low density of electrons around H atom.

Low energy electron driven reactions in single formic acid molecules (HCOOH) and their homogeneous clusters, I Martin, T Skalicky, J Langer, H Abdoul-Carime, G Karwasz, E Illenberger, ...
Physical Chemistry Chemical Physics 7 (10), 2212-2216

Interatomic bonds - summary

Type of bond	Substance	Energy [kJ/mol]	Energy [eV/ion. atom]	Melting temp. [°C]
Ion	NaCl	640	3.3	801
	MgO	1000	5.2	2800
Covalent	Si	450	4.7	1410
	C (diamond)	713	7.4	>3550
Metallic	Al	324	3.4	660
	W	849	8.8	3410
van der Waals	Ar ₂	7.7	0.08	-189
	Cl ₂	31	0.32	-101
Hydrogen	NH ₃	35	0.36	-78
	H ₂ O	51	0.52	0

G. Karwasz, Introduction to Material Science, lectures

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/ObrazyJB/BIPWM/PDF/BiWM03A_wiazania.pdf

In experiments with sulphur ball, stockings, pullover, ebonit sticks ...

Separation of charges undergoes via rubbing (tribo-electric effect)

For reasons not totally understood yet, on one material more electrons get accumulated than on the other*



Electrostatic *voltages* may be very high: 10 kV and more !

* Some people say that glass is electrized positive and plastic negative, but this is not so crucial to know.

Work in progress...

Faraday Discussions

Cite this: DOI: 10.1039/c3fd00118k



PAPER

View Article Online
View Journal

Triboelectricity in insulating polymers: evidence for a mechanochemical mechanism

Lia Beraldo da Silveira Balestrin,^a Douglas Del Duque,^a Douglas Soares da Silva^a and Fernando Galembeck^{ab}

Received 4th December 2013, Accepted 17th February 2014

DOI: 10.1039/c3fd00118k

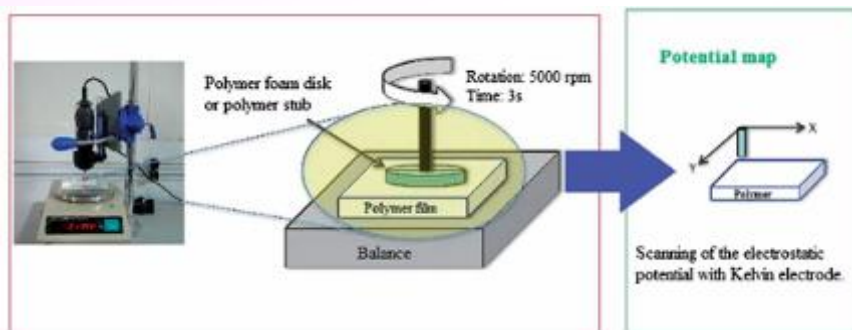


Fig. 1 Experimental sketch of a tribocharging experiment.

Faraday Discuss.

This journal is © The Royal Society of Chemistry 2014

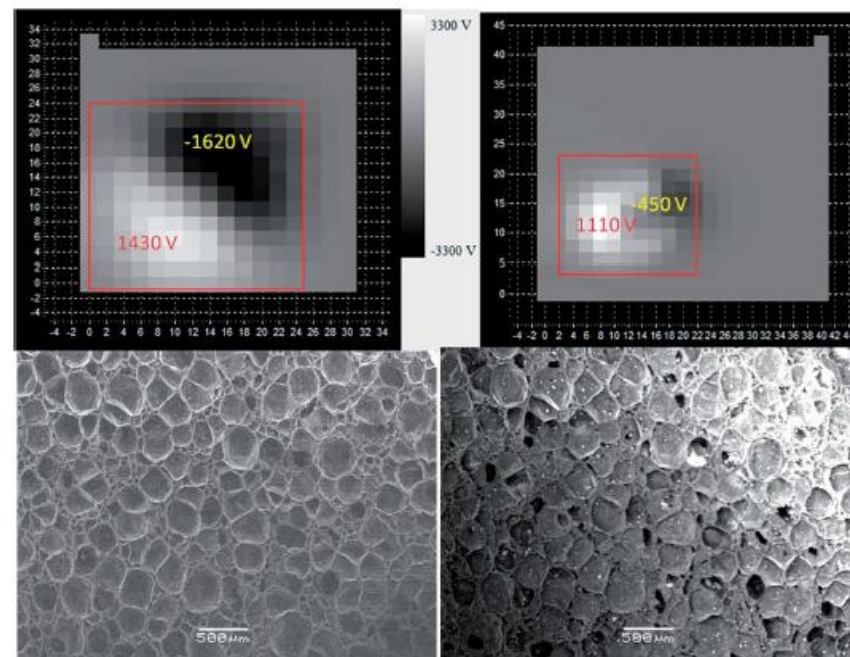
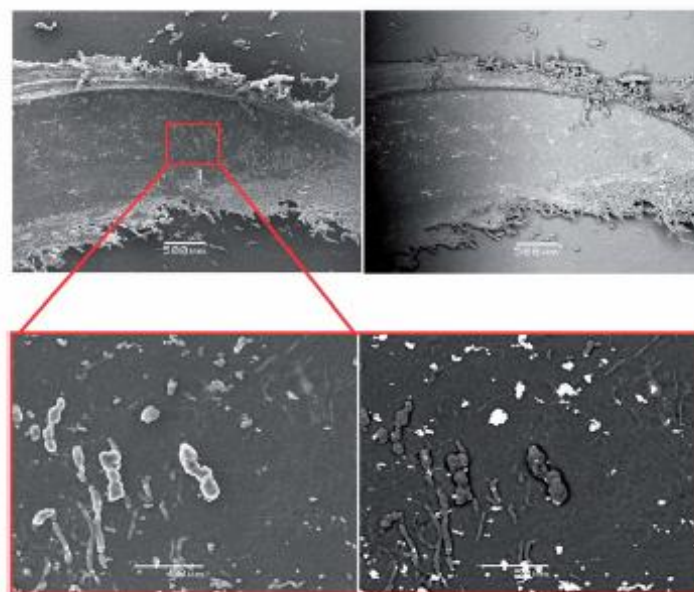


Fig. 2 (Top) Electrostatic potential maps of PTFE film (left) sheared with LDPE foam slabs (right). The electrostatic potential of the positive and negative regions of each material is printed sheared LDPE

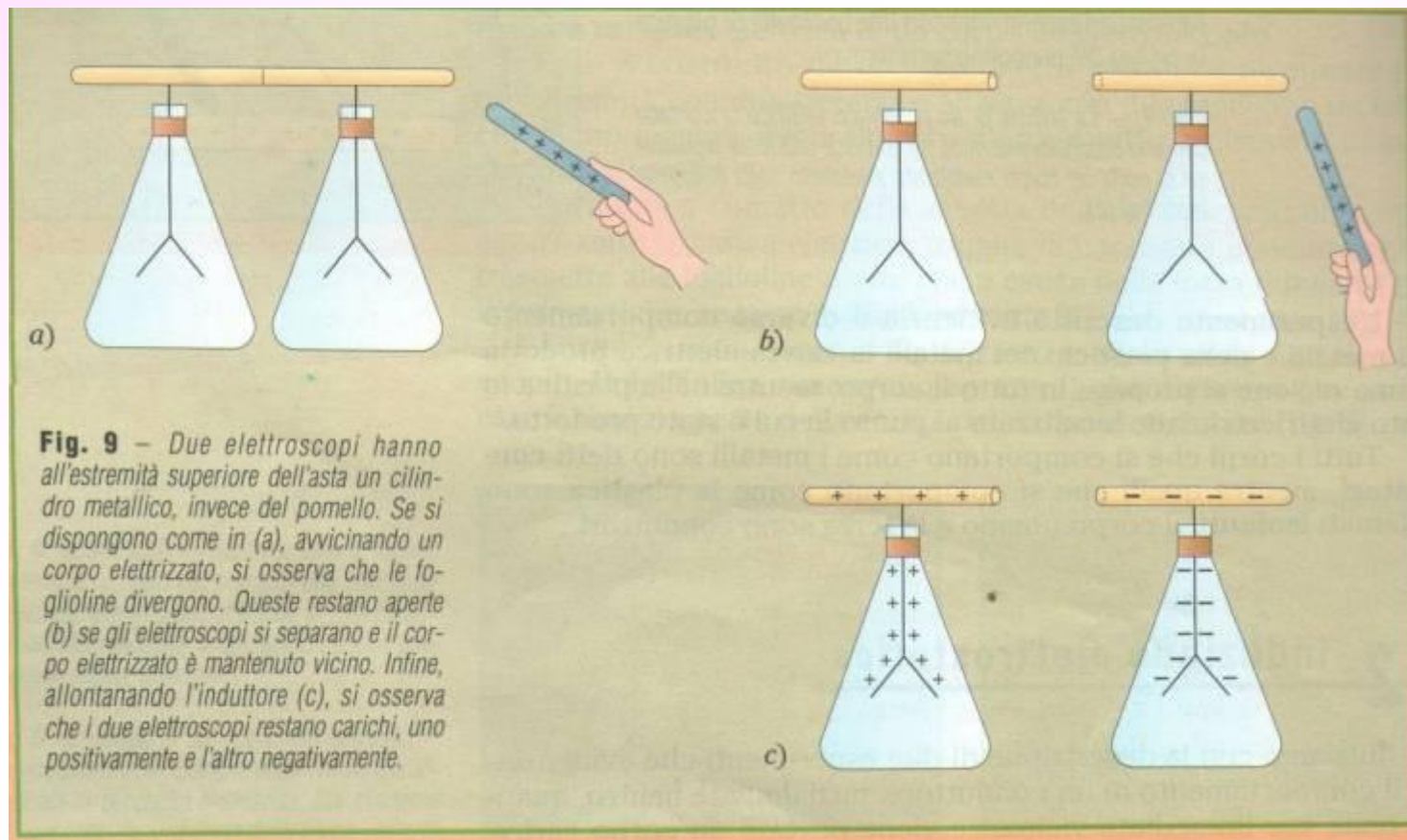


„Electrising” by induction

Textbooks (Italian) say about:

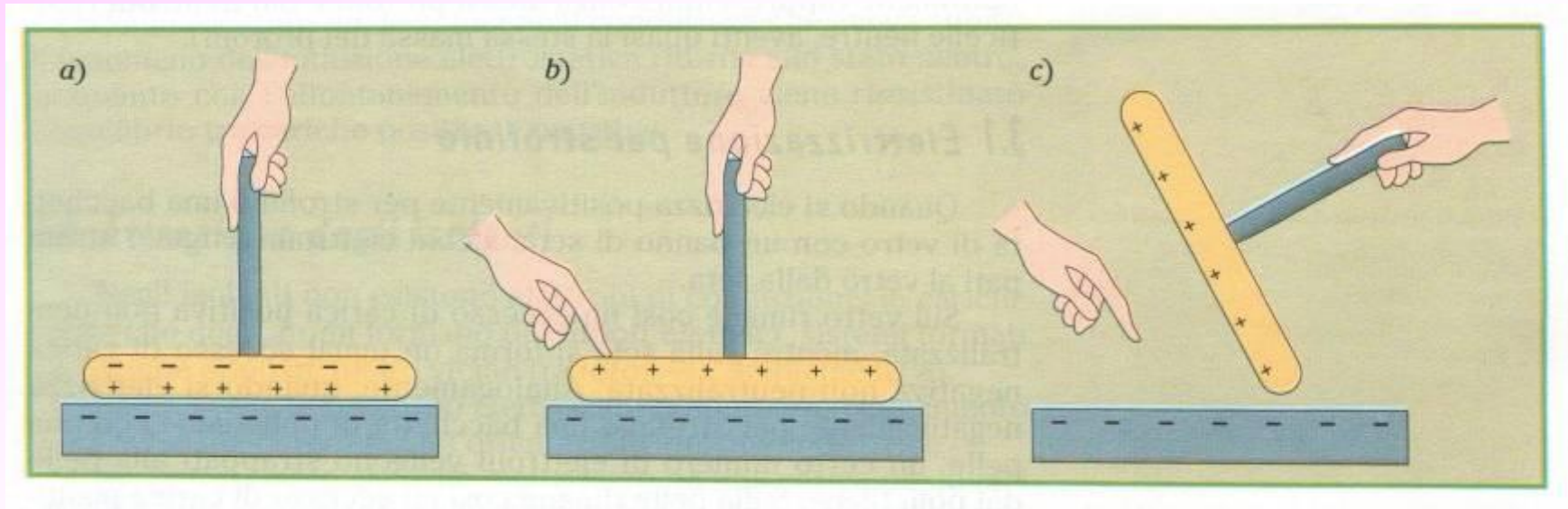
„electrifying” via rubbing
electrifying by touching
electrifying by induction.

Clearly, in some way the electrical charges must move



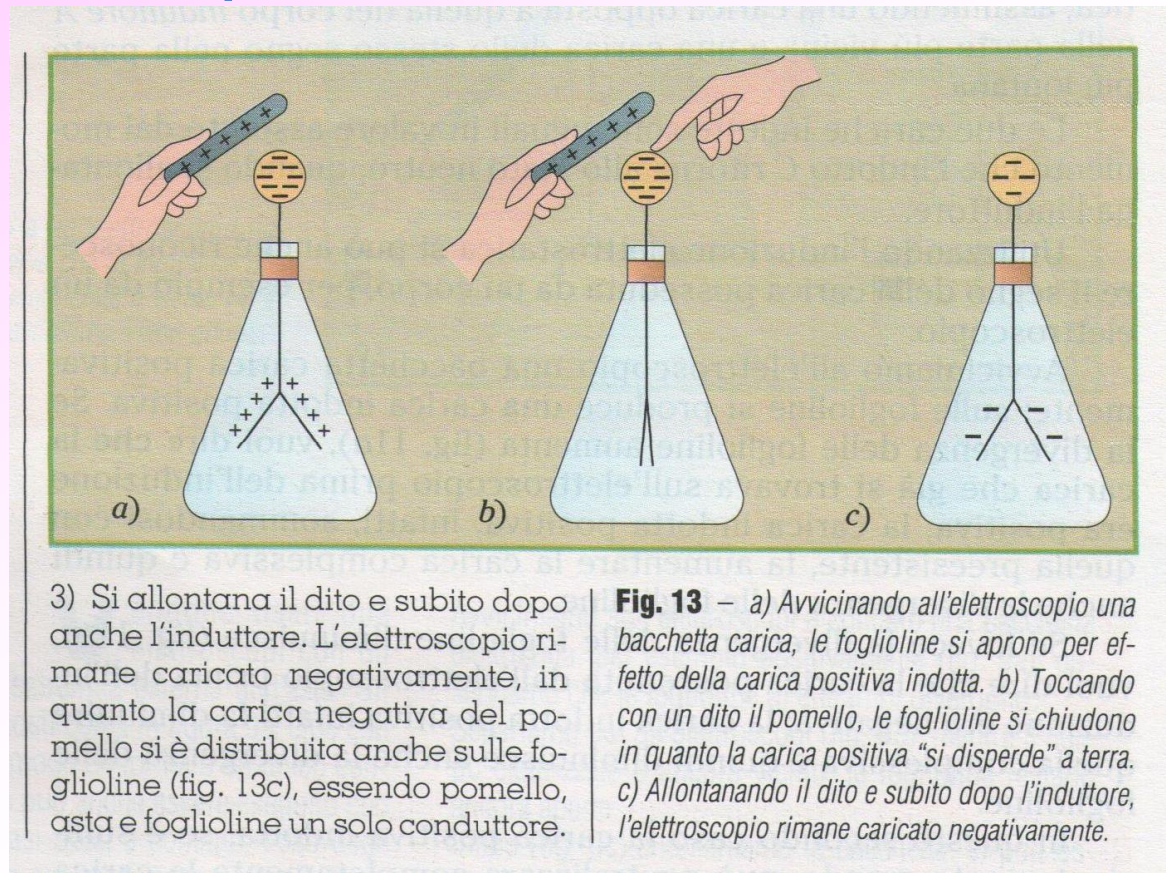
Electrophore of Volta (perpetuum mobile?)

Volta invented smth like a perpetuum mobile: electrifying for infinity, without the need of further rubbing



Obviously, this is not a parpetuum mobile: the energy needed to separate the positive and the negative charge on two (attracting each other) plates is furnished by our hand.

Another experiment, difficult to understand



Intuitively, it is not so easy to understand why this is the positive charge that flows (in fig. b) towards earth.

One should consider the solution on the electrostatic field around the stick in presence of two conductors – the electroscope and the hand

Źródło: A. Caforio, A. Ferilli, *Nuova Fisica*, Le Monnier

As writes Richard Feynmann,

It is quite difficult (without a computer and appropriate programme) to draw the distribution of the electrical field around an arbitrary distribution of charges. Much easier is to draw an angel.



Co fizyk mówi o aniołach?

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz, dr Kamil Fedus
Zakład Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika

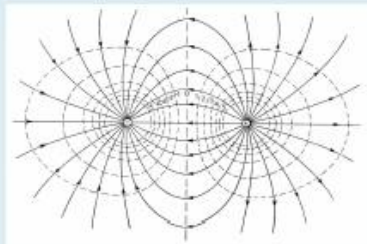


„Wyobrażenie sobie pola elektromagnetycznego wymaga wyobraźni znacznie wyższego stopnia, niż żeby pojąć niewidzialne anioły.

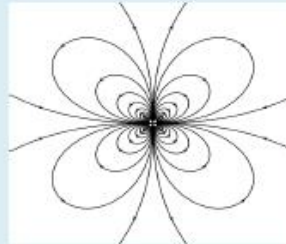
Jeżeli chcemy sobie wyobrazić niewidzialne anioły, wszystko co trzeba zrobić, to zmienić ich właściwości odrobinę – zrobić je trochę widzialnymi, a wtedy możemy zobaczyć kształty ich skrzydeł i ciał i aureoli. Skoro udaje się wyobrazić widzialnego anioła, całą abstrakcja polega na wzięciu prawie niewidzialnych aniołów i wyobrażeniu sobie, że są one zupełnie niewidoczne.”

Richard Feynman (1918-1988), wybitny fizyk teoretyk, laureat nagrody Nobla, „Feynmana wykłady z fizyki”, tom 2.1, s.184

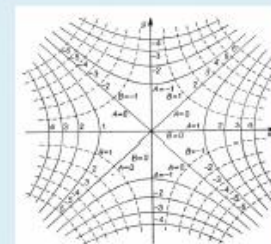
Pojęcie pola elektromagnetycznego jest naprawdę skomplikowane. Musimy wyobrazić sobie przestrzeń, zupełnie pustą, która jednak pusta nie jest. W niej wyrysować rozkład ładunków elektrycznych a następnie obliczyć niewidoczne linie pola z równania Poissona. Ale i malowanie aniołów wymaga wyobraźni.



Dipole



4 identical charges



quadrupole (2+ i 2-)

Christmas (Coulomb's) experiment

Oddziaływanie dwóch naładowanych elektrycznie kulek może być rozważane jak oddziaływanie dwóch ładunków punktowych

$$F = k q_1 q_2 / r^2$$

Elektryczne bombki

Taki zapalacz, który trzeba mocno naciskać, nazywamy piezoelektrycznym. Działa on poprzez ściskanie kryształu kwarcu, czyli zwykłego, przezroczystego piasku a wytwarza całkiem spore ładunki elektryczne. Zapalacz taki i dwie bombki zawieszone na gałązce posłużą nam do choinkowego doświadczenia. Pokażemy, jak dwa ładunki różnego znaku się przyciągają.

Bombki zawieszamy obok siebie, w odległości około 1 cm, na cienkim (np. o średnicy 0,1 mm) drucie. Z drugiej strony druty podłączamy do dwóch biegunów zapalacza (trzeba przedtem zdjąć metalowy kapturek). Naciśnięcie zapalacza powoduje zbliżanie się bombek, a właściwie ich szybkie zderzenie.



Oczywiście, do tego samego pokazu można użyć maszyny elektrostatycznej i styropianowych kulek zawiniętych w aluminiową folię lub pokrytych grafitem koloidalnym, ale nie będzie to już doświadczenie choinkowe.

[więcej](#)

dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/elmag/choinka-en.html

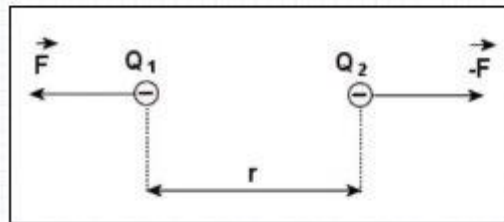
Christmas experiment, explained

Elektryczne bombki

Oddziaływanie bombek można opisać prawem Coulomba:

$$F = k \cdot q_1 q_2 / r^2,$$

gdzie q_1 i q_2 oznaczają wartości ładunków, a r odległość między nimi, $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.



Co prawda, prawo Coulomba dotyczy ładunków punktowych, ale ładunek rozłożony na sferycznej powierzchni bombek można przybliżyć za pomocą ładunków punktowych, umieszczonych w środku bombek.

Obliczmy siłę z jaką oddziałują bombki. Ładunek zgromadzony na powierzchni bombek można obliczyć z ich pojemności elektrycznej. Pojemność elektryczna kuli wyraża się wzorem $C = R/k$, gdzie R jest promieniem kuli. Znaczenie "pojemności" jest następujące: pojemność przewodnika wynosi 1 farad (F), jeśli ładunek elektryczny 1 C zgromadzony na nim wytwarza potencjał 1V.

Zapalacz dostarcza napięcia rzędu 10 kV, ale pojemność bombek jest bardzo mała (dla bombek o średnicy 4 cm wynosi około $0,4 \cdot 10^{-11}$ F). W efekcie ładunek na każdej z bombek jest mały ($4 \cdot 10^{-8}$ C). Siła, z jaką przyciągają się bombki odległe o 5 cm jest również bardzo mała (5,7 mN), podczas gdy wychylenie o $1,5^\circ$ od pionu (tj. o 0,5 cm bombki zawieszona na 20 cm drucie) bombki o masie 5 g wymaga siły 1,2 do kwadratu ich "zbliżenia" ($F_c \sim 1/r^2$) podczas gdy siła przeciwdziałająca, wynikająca z odchylenia mN. Dlatego, dla zaobserwowania zderzenia, bombki muszą być naprawdę blisko siebie.

Podłączając trzecią bombkę do jednego z biegunów obserwujemy jak dwie bombki tego samego znaku odpychają się (bombkę znaku przeciwnego należy umieścić dalej, aby siła przyciągania była mała; obecność bombki przeciwnego znaku jest niezbędna dla wypływu ładunku z zapalacza).



Smaller balls are better (they must be metallized inside)



Fot. 8. Świeca umieszczona między metalowymi płytami w jednorodnym polu elektrycznym, w przypadku dwu różnych polaryzacji – płomień odchyła się zawsze w kierunku elektrody ujemnej

The flame (made of positive, heavy ions and light electrons) is attracted by the negative plate.

The behaviour of the flame close to a sharp electrode is more complex:

- for weak fields it is attracted by negatively charged needle and repelled by positively.
- For great fields it is repelled also by negatively charged needle: air is ionized by corona effect.

Stara, poczciwa maszyna elektrostatyczna

■ MAGDA SADOWSKA, GRZEGORZ KARWASZ

„Old, nice (electrical) crock”



Fot. 9. Młynek Franklina zrobiony z igły i kawałka aluminium. Ostre zakończenia młynka są odpychane przez jony w powietrzu. Kierunek obrotu młynka nie zależy od jego polaryzacji (dodatniej czy ujemnej)



Fot. 10. Płomień świecy w pobliżu ostrza podłączonego do dodatniego bieguna maszyny elektrostatycznej

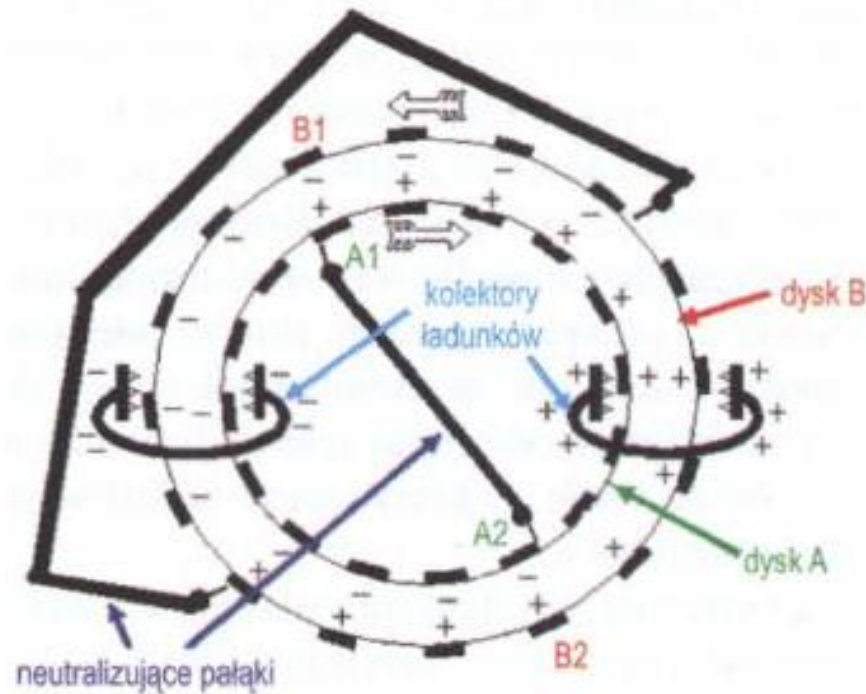


Fot. 11. Badanie właściwości płomienia świecy w pobliżu ostrza połączonego do ujemnego bieguna maszyny elektrostatycznej a) w słabym polu, b) w silnym polu

Stara, poczciwa maszyna (elektrostatyczna)



„Old, nice (electrical) crock”

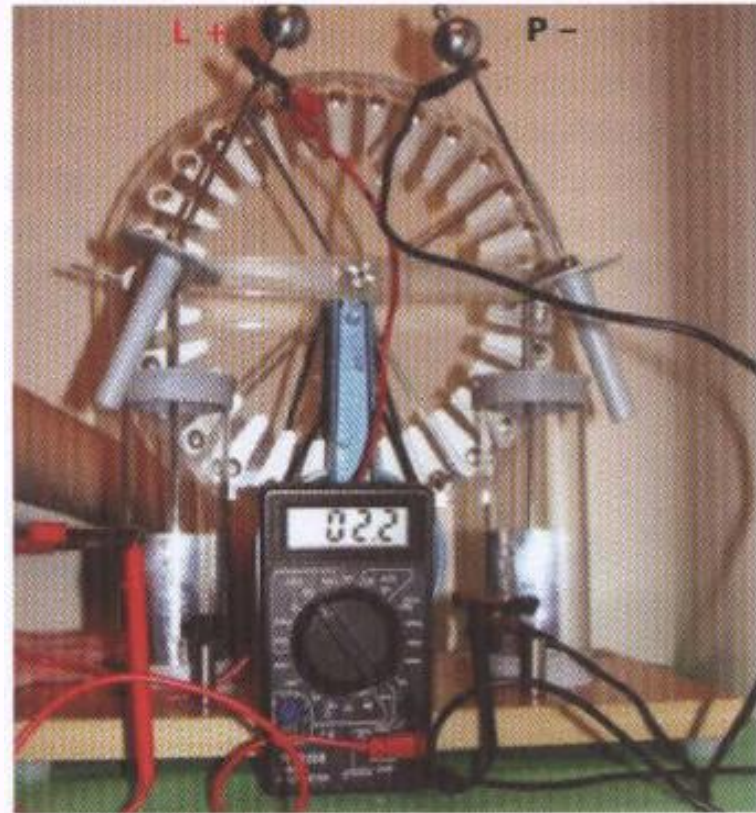


Rys. 2. Schemat rozmieszczenia ładunków w maszynie elektrostatycznej Wimshurst'a [4]. Jeżeli na jednej z pinezek, A1, powstanie ładunek dodatni, to przez indukcję na pinezce B1 naprzeciw (tj. na drugim dysku), powstanie ładunek ujemny

James Wimshurst (1878)

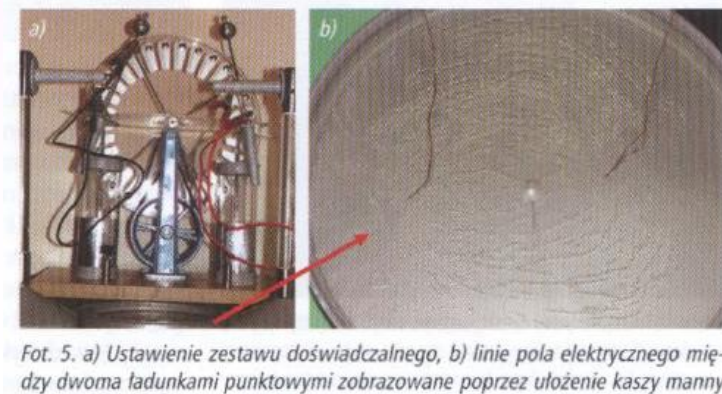
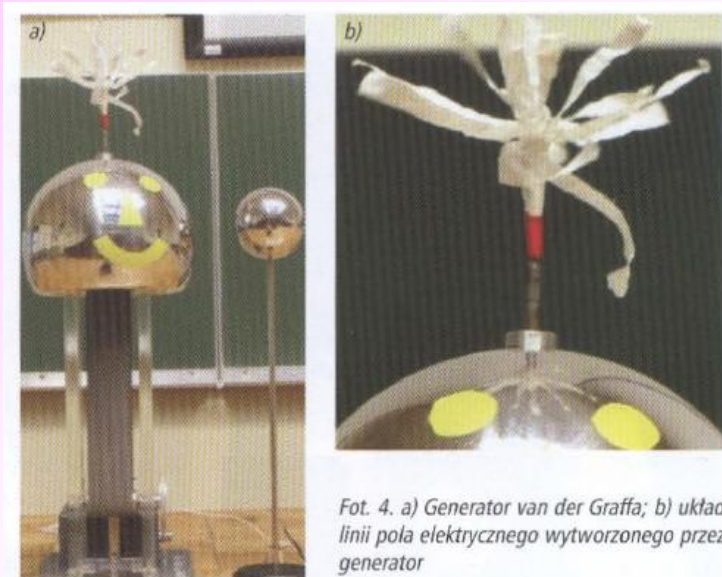
Stara, poczciwa maszyna (elektrostatyczna)

„Old, nice (electrical) crock”

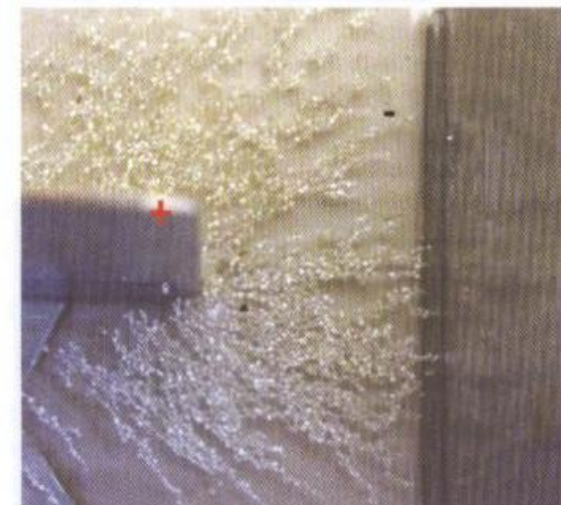


You never know which of the two poles is (spontaneously) charged positively and which negatively. A trial to measure the charged machine would finish with burning the voltmeter. But the voltmeter can be connected before the machine starts to turn. The voltage measure is low, because the machine is discharging in continuation via this voltmeter (and charges are not so huge).

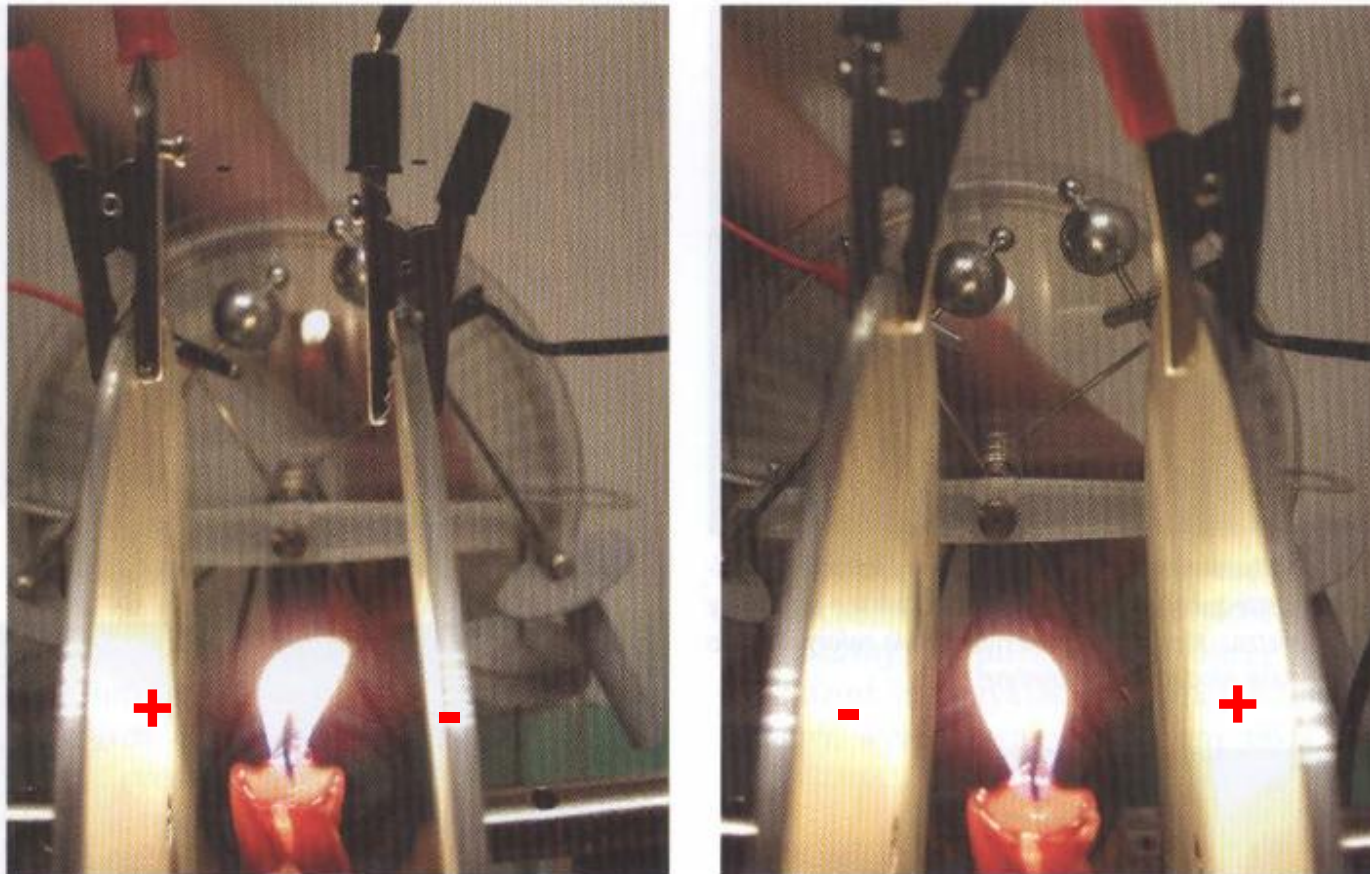
Electric field, i.e. the space where electrical forces (potentially) act



Around the point charge this are radial lines
In-between two opposite charges these are „bows”.



The flame of a candle is an example of plasma, i.e. ionized gas: it conducts electricity



Fot. 8. Świeca umieszczona między metalowymi płytami w jednorodnym polu elektrycznym, w przypadku dwu różnych polaryzacji – płomień odchyła się zawsze w kierunku elektrody ujemnej

In the flame there are ions (e.g.. CO_2^+) – these are they which „pull” the flame towards the negative electrodej.

The behaviour of the flame near a sharp needle is even more complex



Fot. 9. Młynek Franklina zrobiony z igły i kawałka aluminium. Ostre zakończenia młynka są odpychane przez jony w powietrzu. Kierunek obrotu młynka nie zależy od jego polaryzacji (dodatniej czy ujemnej)



Fot. 10. Płomień świecy w pobliżu ostrza połączonego do dodatniego bieguna maszyny elektrostatycznej



Fot. 11. Badanie właściwości płomienia świecy w pobliżu ostrza połączonego do ujemnego bieguna maszyny elektrostatycznej a) w słabym polu, b) w silnym polu

czy jest połączony do dodatniego czy

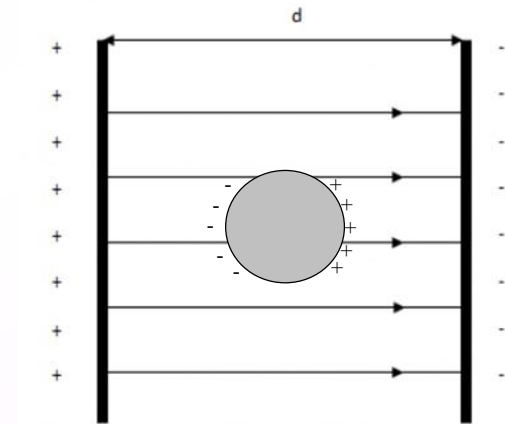
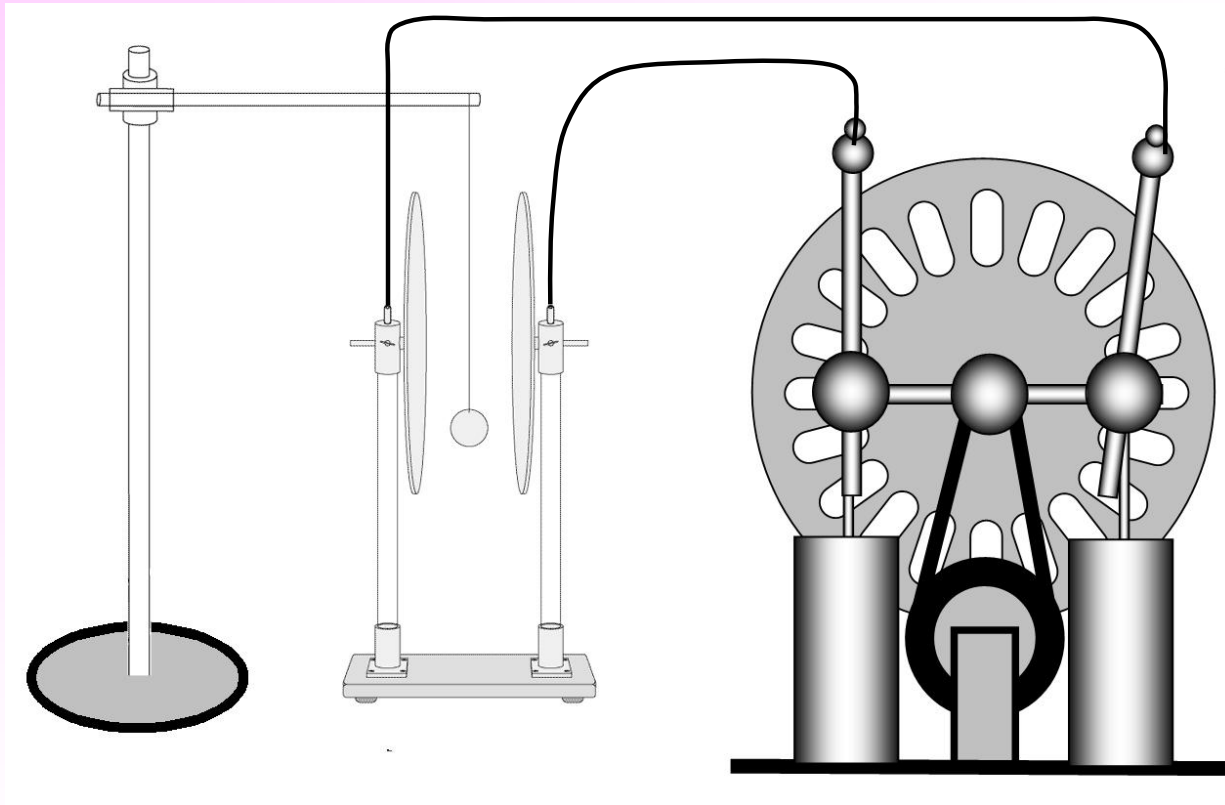
See explanation on slide No. 29

Dodatnio naładowane ostrze odpycha płomień.

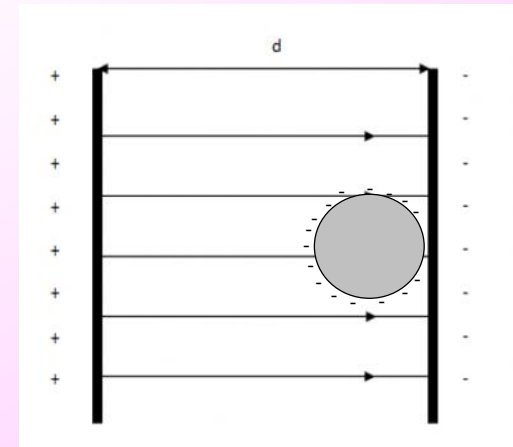
Ujemnie naładowane – przyciąga.

Ale w silnym polu zachodzi jonizacja N_2 i jony N_2^+ i CO_2^+ się odpychają.

Electrostatic knocking



„it does not work”

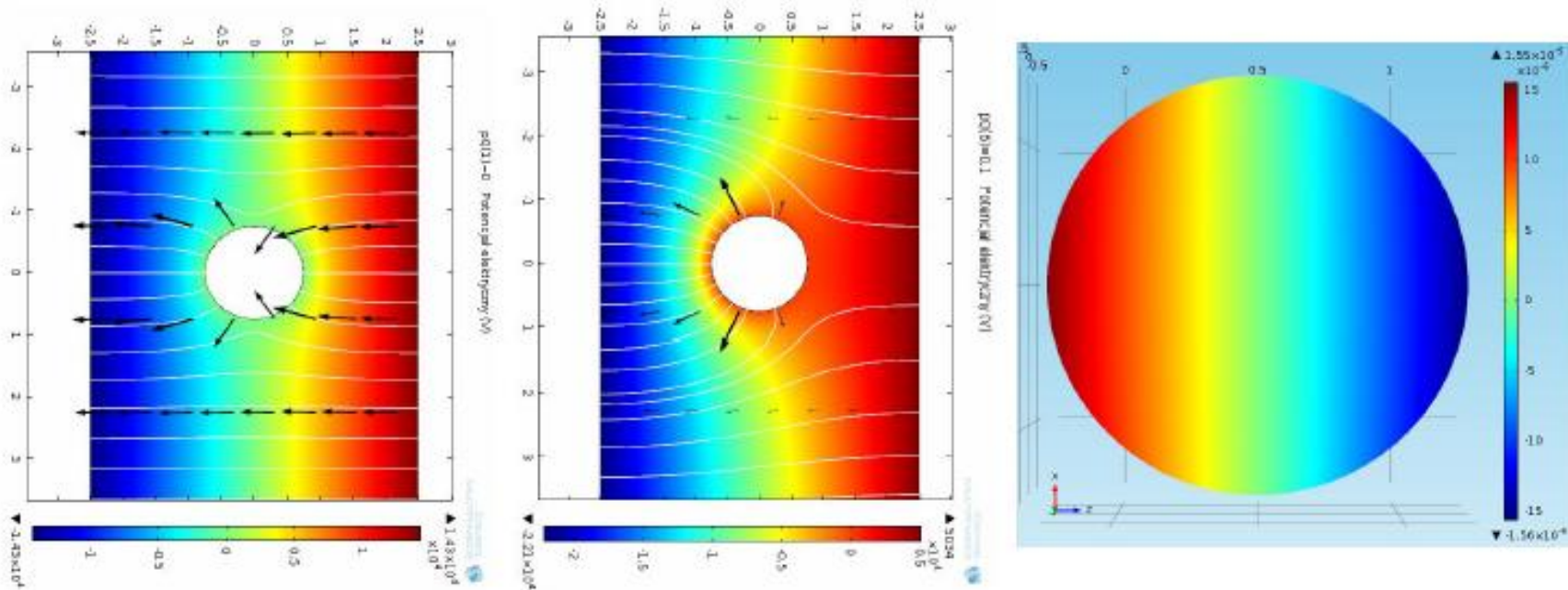


Now it collects the charge

Collaboration: mgr Krzysztof Służewski

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/fotki/Pokazy_2016/5.jpg

Electrostatic knocking – charge distribution (simulation)

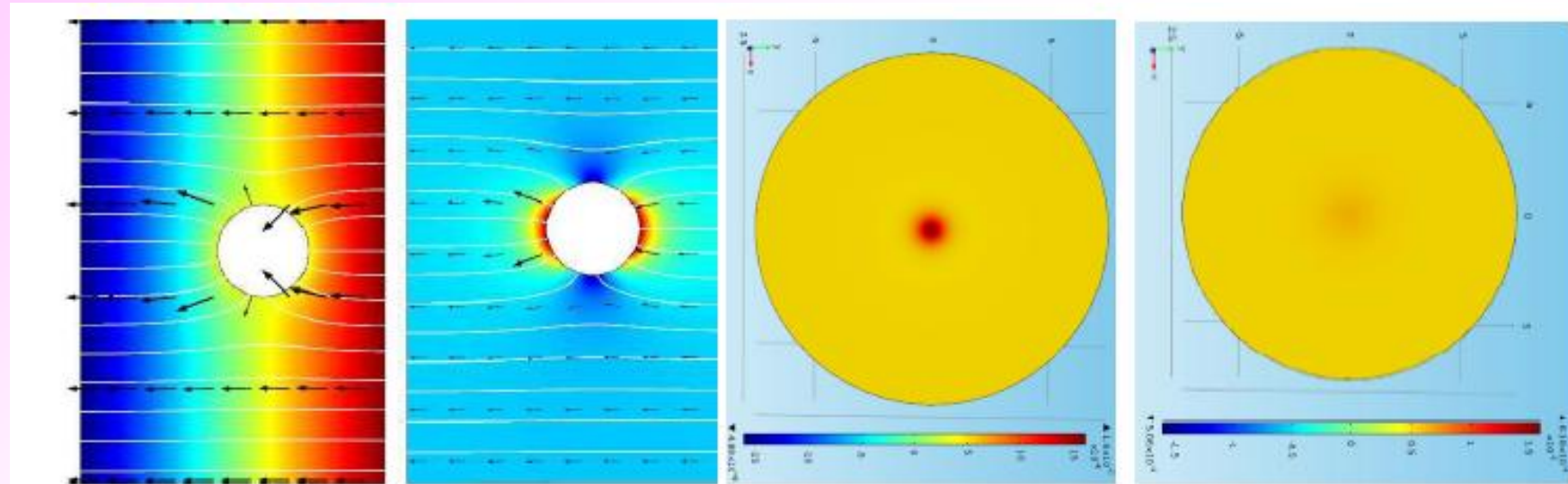


Ryc. 3. Model matematyczny ruchu kulki w polu elektrycznym między dwoma naładowanymi elektrycznie metalowymi płytami – kulka w położeniu centralnym. a) potencjał elektryczny (kolor) i pole elektryczne (białe linie i strzałki) dla kulki nienaladowanej, b) dla kulki naładowanej; c) rozkład (gęstość) ładunków na kulce (rysunek w innej skali niż a)). Obliczenia dr H. Nowakowska.

Symmetric case: a) ball not charged, b) ball charged
c) distribution of the charge on the ball

Calculation: dr inż. Helena Nowakowska

Electrostatic knocking – charge distribution (simulation)

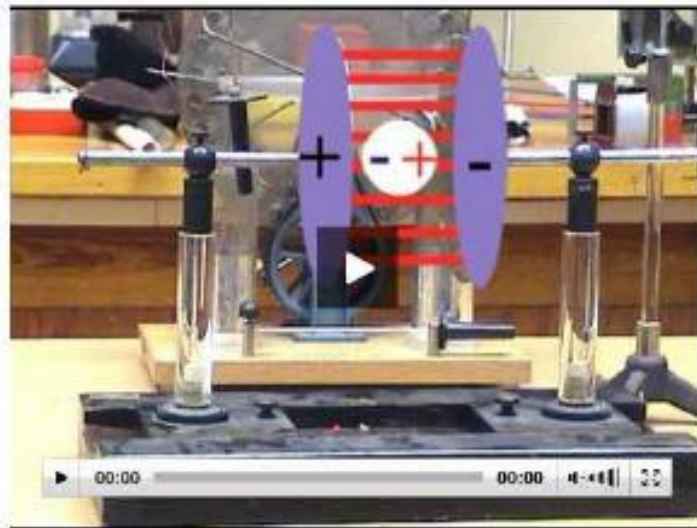


Ryc. 4. Model matematyczny metalowej kulki w polu elektrycznym między dwoma naładowanymi elektrycznie metalowymi płytami – kulka przesunięta od centrum o 1,5 cm: a) potencjał elektryczny (kolor) i pole elektryczne (białe linie i strzałki) dla kulki nienaładowanej; rozkład potencjału i

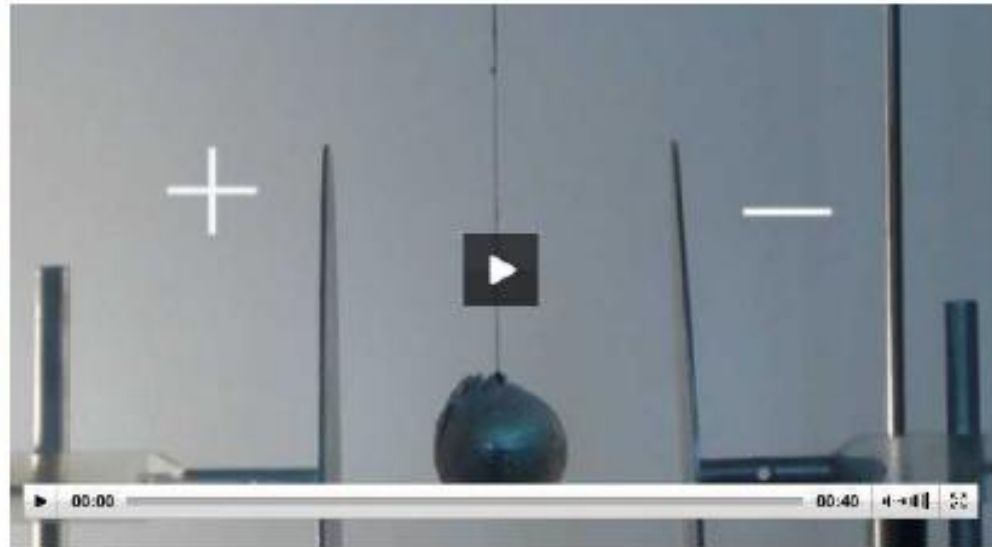
Calculations show how the presence of the even non-charged ball changes the distribution of charges on the two plates

bliszą okładkę; c) rozkład ładunku na bliższej okładce; d) rozkład ładunków na okładce, gdy kulka jest w położeniu centralnym – ładunek indukowany w środku płytki (tzn. przesunięty ku środkowi z pozostałych części płytki) wskutek sąsiedztwa metalowej (nienaładowanej) kulki jest mniejszy, gdy kulka jest dalej. Obliczenia i rysunki dr H. Nowakowska.

Electrostatic knocking (multimedia)



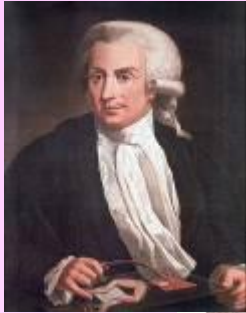
Kulka w polu elektrycznym



Rys. 5. “Stop-klatki” z filmów z doświadczeń w “kołatką”: a) schemat, b) pileczka ping-pongowa dość niedbale owinięta folią aluminiową, w obecności powietrza odchyła się nieco w kierunku elektrody ujemnej nawet, gdy jest w położeniu centralnym; powodem jest wyladowanie “koronowe” na ostrzach uformowanych przez załamania folii.

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/495

Autor: mgr Krzysztof Służewski

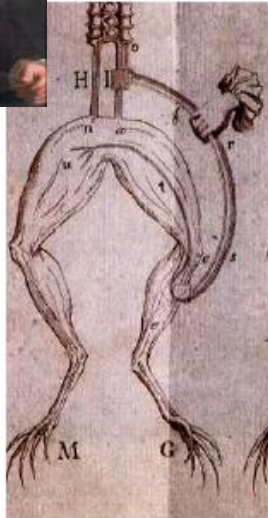


N 96, Wiosna 2007

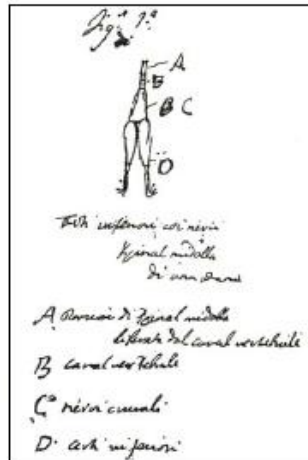
35

Galvani and (dead) frogs

G. Karwasz, A. Karbowski,
Na końcu języka Volty



Rys. 1. Schemat doświadczenia Volty ilustrujący połączenie dwóch różnych metali do nerwów i mięśnia żaby [2]



Rys. 2. Oryginalny szkic Galwaniego z 1782 roku [3]

Kończyny dolne z nerwami oraz rdzeń kręgowy żaby:
A – rdzeń kręgowy
B – kanał nerwowy
C – nerw kulszowy
D – kończyny dolne

Bringing an electrical charge from electrostatic machine causes contractions .

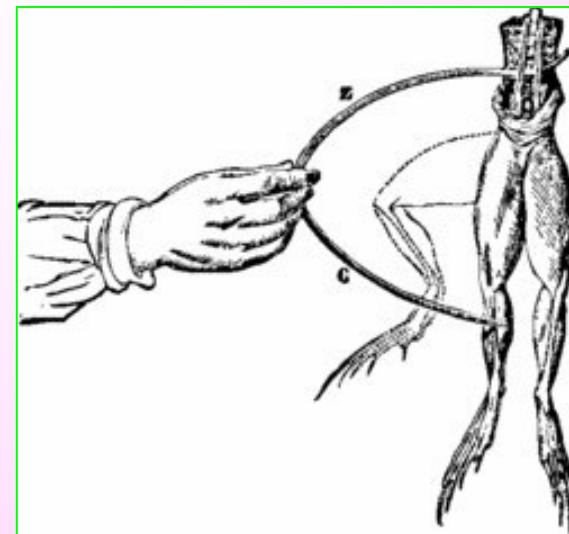
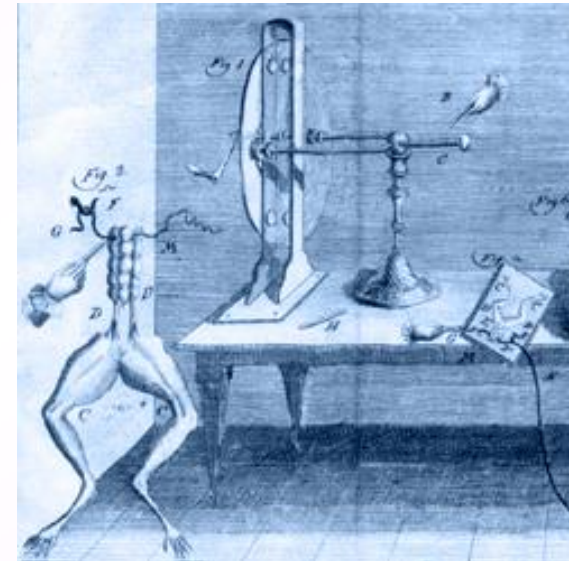
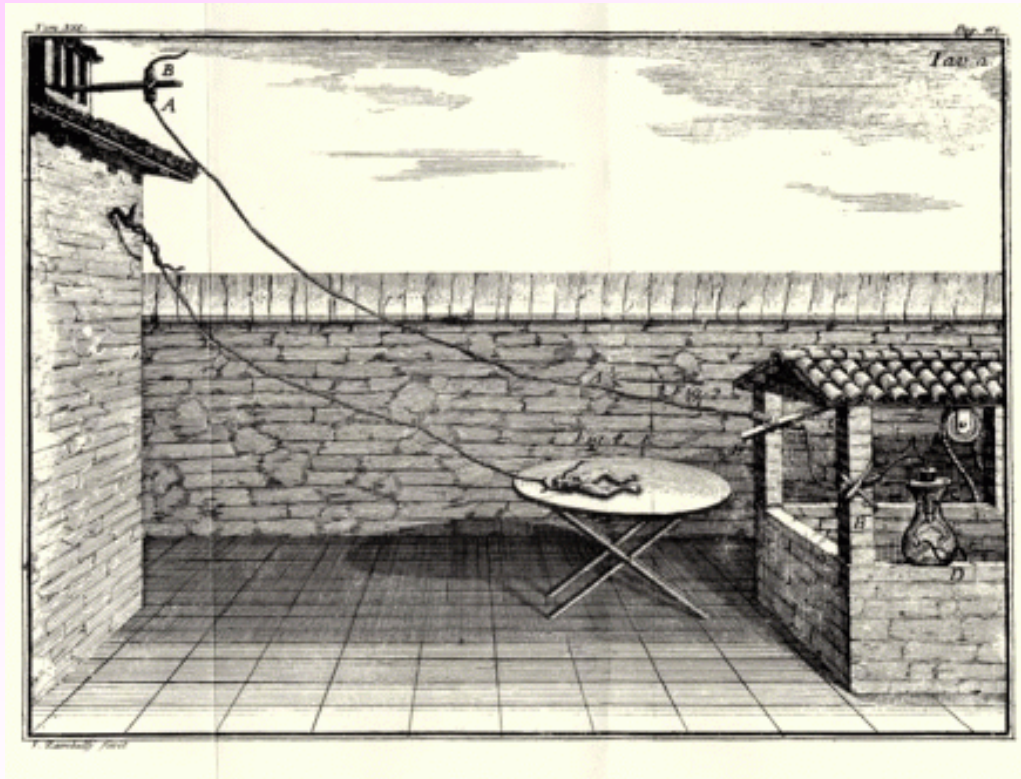
Instructions by Galvani how prepare frog's muscles

Luigi Galvani, worked in Bologna. Was a physician and surgeon). Making experiment on (freshly killed) frogs he noticed (we suppose*) that touching by silver knife frog's nerves placed on tin plate, frog's legs moved.

He supposed the „animal electricity” is a third form of electricity (not from water neither glass). His discoveries were revolutionary, but Alessandro Volta (coming from Pavia, which was a different state at that time) explained that not animals but metals are sources of electricity.

*Galvani wrote that dead frogs moved when a spark occurred from the electrical machine (or from a thunder) Strong electrical fields could have influenced the frog's muscles.

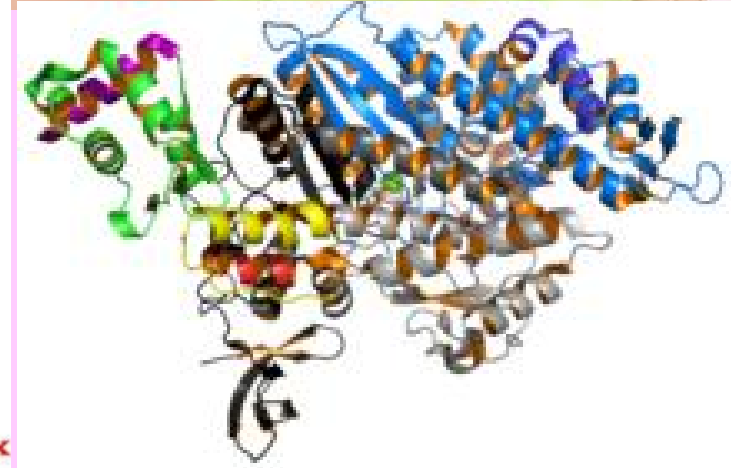
Galvani or Volta?



Galvani „On animal electricity”

<http://www.lundici.it/2013/02/rane-danzanti-pile-pavesi-e-il-bolognese-victor-frankenstein/>
<https://kadimex.pl/produkt/defibrylator-philips-heartstart-model-frx/>

Galvani or Volta?



<http://www.lundici.it/2013/02/rane-danzanti-pile-pavesi-e-il-bolognese-victor-frankenstein/>
<https://kadimex.pl/produkt/defibrylator-philips-heartstart-model-frx>
<https://cdn.medme.pl/zdjecie/5889,840,440,1/badanie+eeg+glowy+dziecka.jpg/>

State of myosin VI from PDB
2V26 before the power stroke

Volta, and the current flew...

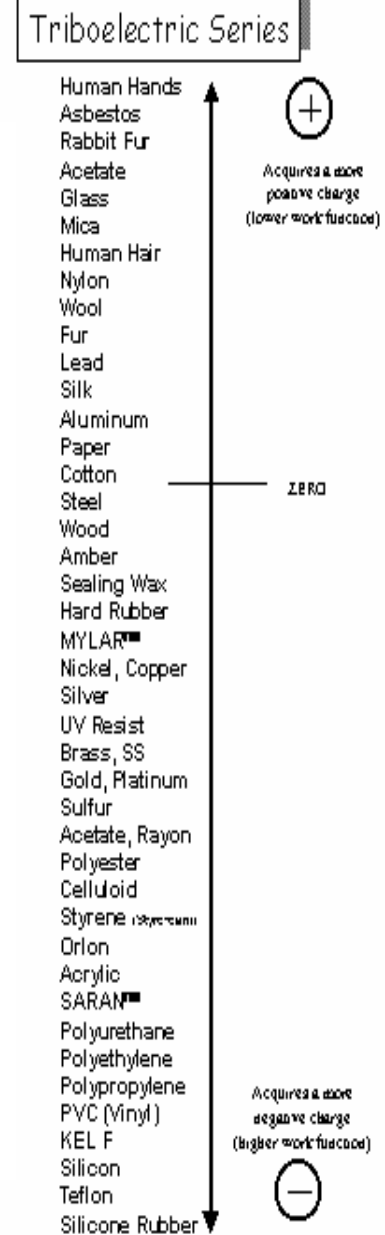


Interactive exhibition „Volta’s pile” ,
PAP, Słupsk, 2001
dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/zrodla/ogniwa.html

Alessandro Volta, school inspector from Como, and later professor of physics in Pavia started systematic studies of different (electrical) materials.

He placed all materials, from glass to silk, sulphur and resin into a certain series.

As first he measured the force acting between two parallel plates electrically charged. In this way he defined the *electrical* potential, now measured in volts.



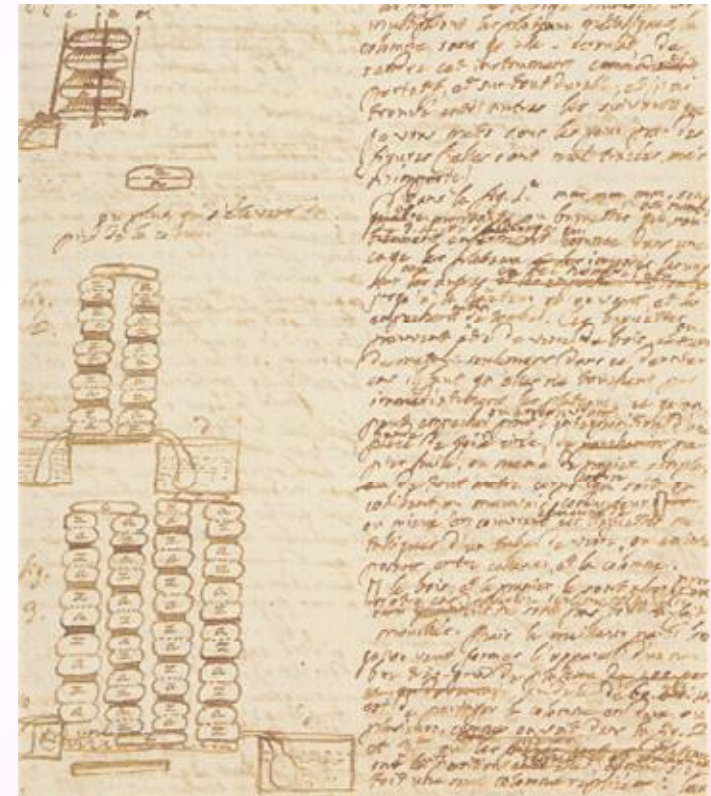
In 1799 Volta constructed a pile of Sn and Ag coins...



Original pile of Volta, from his Mausoleum in Como (photo GK).

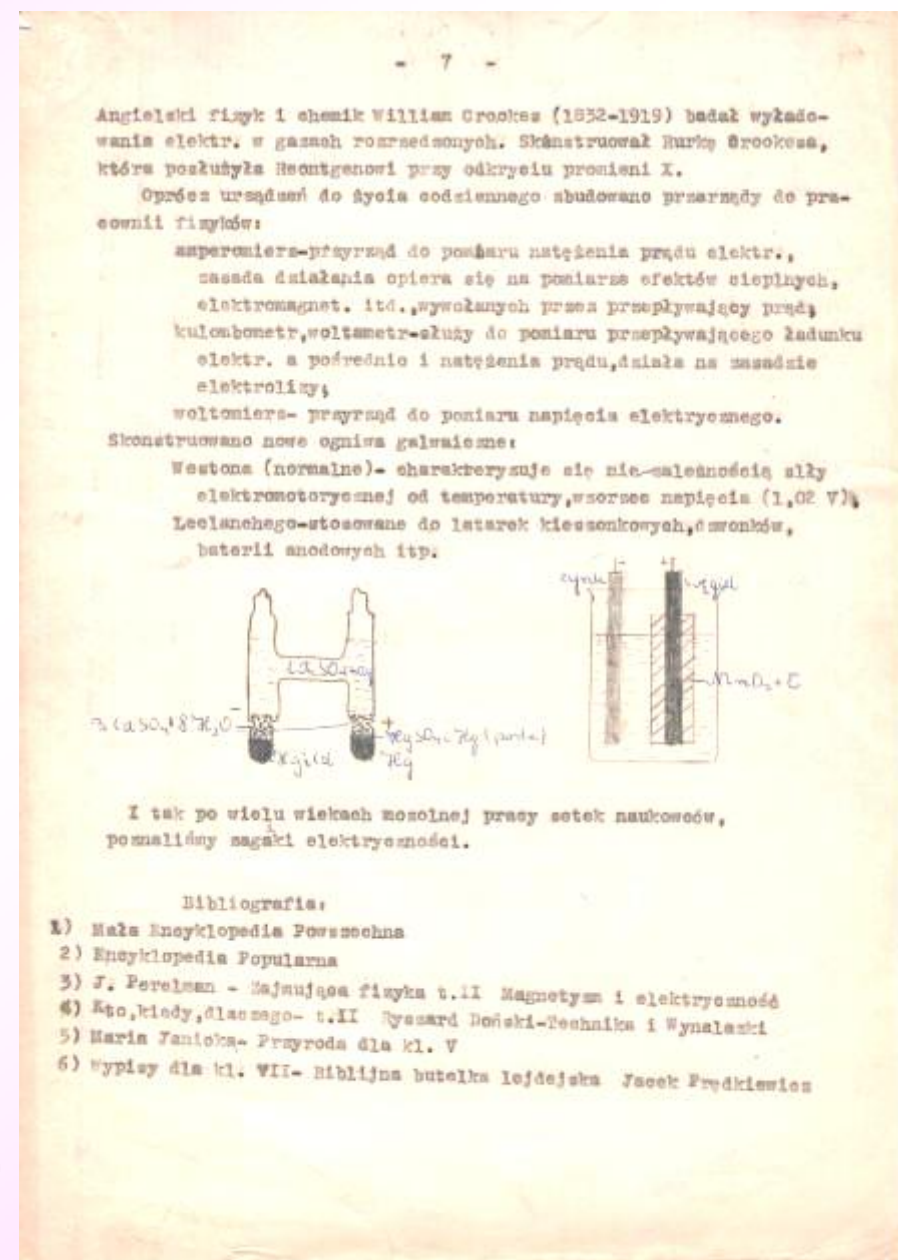
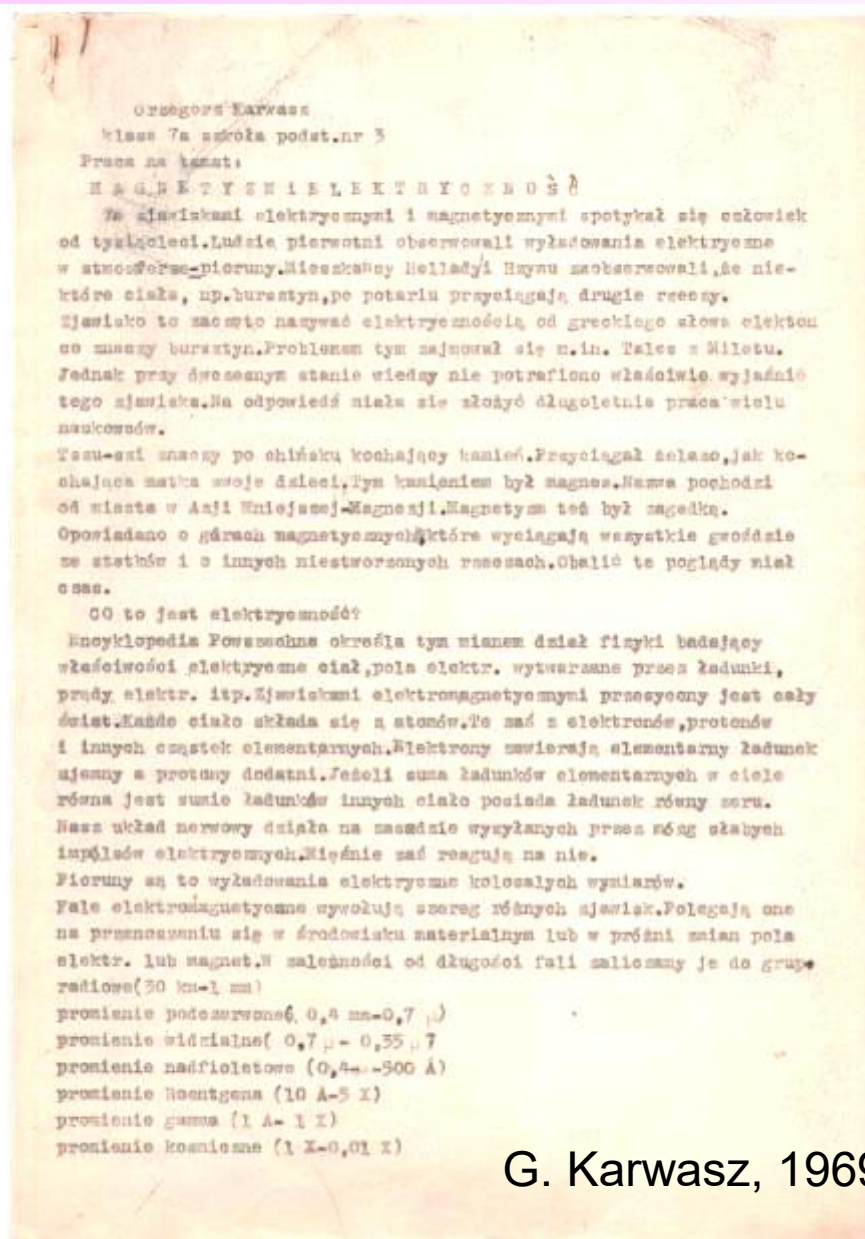


Conversion of „chemical energy” into electrical one in Volta's pile is extremely efficient. This clock works from 25 years with the same Ag mini-pile: the liquid crystal display consumes little energy.

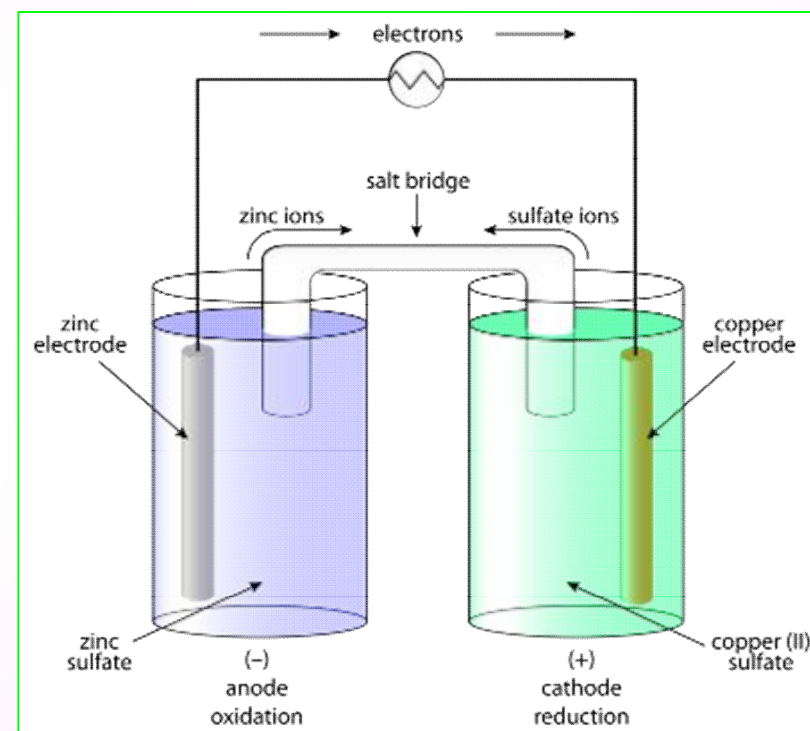
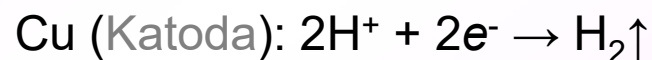
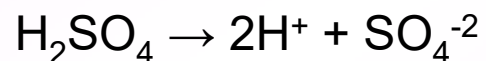


Letter of Volta from March 1800 r., in which he described his „pile” of coins: every second pair is separated by a piece of paper wetted with salty water.

Pile by Weston, Daniel, Leclanche



Flow of ions and electrons, dissociation, oxidation (loosing electrons) and reduction (gaining electrons) on electrodes



Volta's series: still to be understood

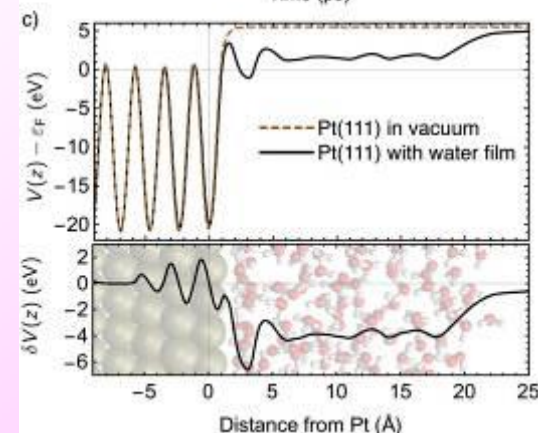
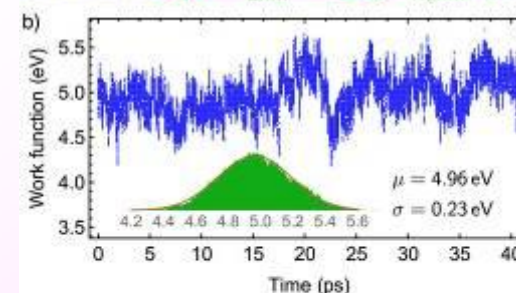
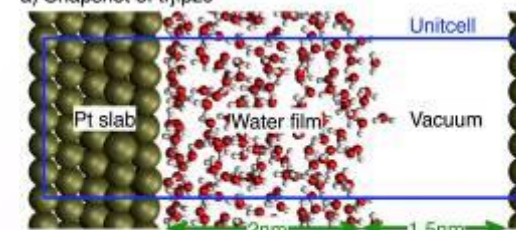
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}(\text{s})$	-3,04
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	-0,828
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0,762
$\text{PbO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s}) + 2\text{OH}^-$	-0,576
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0,41
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$	-0,14
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s})$	-0,13
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0,00
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$	0.14
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	0,34
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$	0,80
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-(\text{aq})$	2,87

The electric double layer at metal-water interfaces revisited based on a charge polarization scheme ^{EP}

Cite as: J. Chem. Phys. **149**, 084705 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5040056>
Submitted: 14 May 2018 . Accepted: 29 July 2018 . Published Online: 28 August 2018

Sung Sakong ^{ID}, and Axel Groß ^{ID}

a) Snapshot of trj.pzc



How Volta measured *voltage*? With volt-meter? In volts?



Volta not only invented electrochemical pile, but contributed also to electrostatics. He invented *electroscope* - two thin strips of metal inside a glass container: they repel when charged.

He invented also *electrophore*: a metal plate hold with an isolating stick. Put on an electrified dielectric and touched in a correct sequence seems to produce the electricity, i.e. the energy, from nothing: a *perpetuum mobile*. In practice the work is done while rising the plate, what generates the difference of potentials. [The electric field E between plates is uniform, and $\Delta V = \int E ds$. Bigger the distance, bigger the potential difference]



Electroscope of Volta used for measurement of the voltage from electrostatic machine.

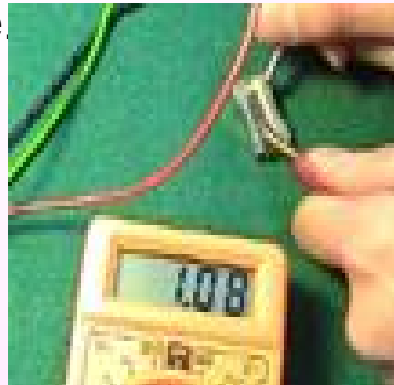
Home experiments



Home/ school experiments inspired by inventions of Volta (from left):

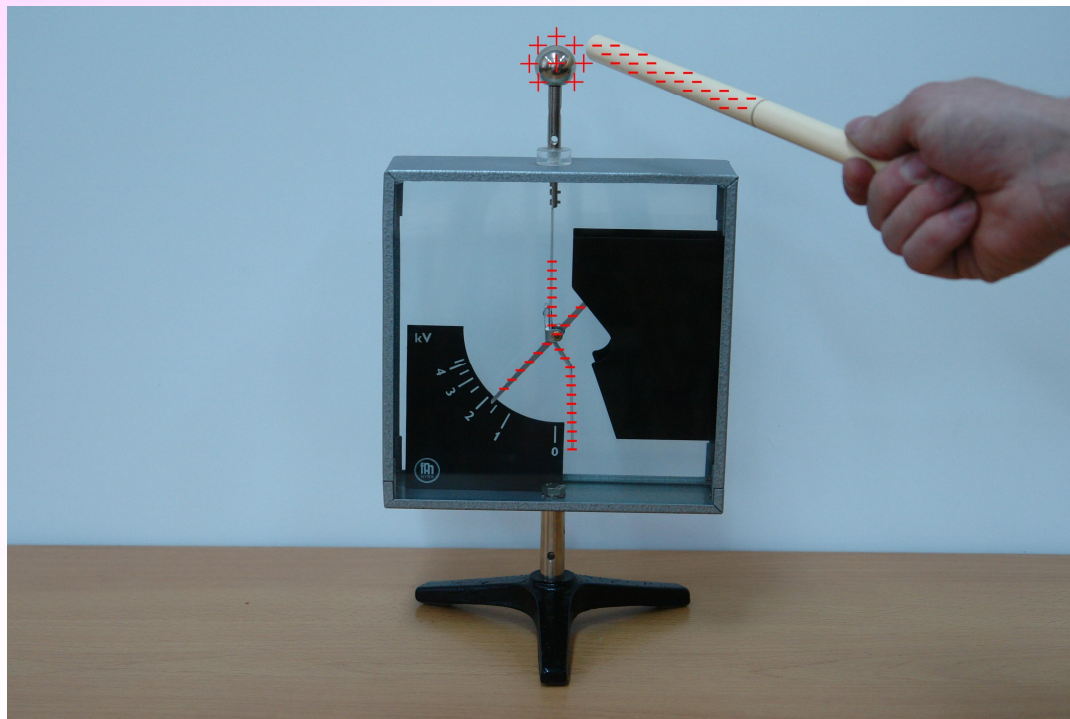
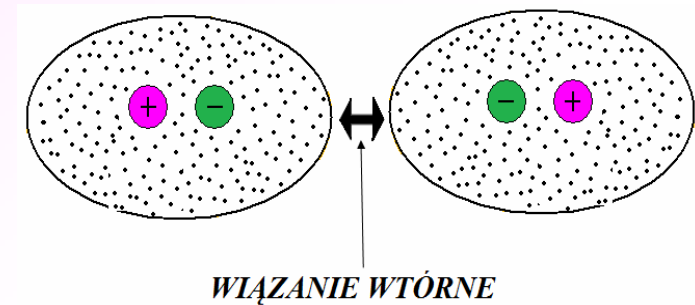
- electroscope - two Al. strips inside a glass
- two ends of silk scarf repel if taken from a wool coat
- a pile of previous Polish coins (Al & Ni) and pieces of paper wetted with salty water
- the same can be done with eurocents by covering half of them with Al. foil and „tasting” such a pile with own tongue.

Here on side: battery made of pencil sharpener: Al. and stainless steel



**Have a nice (and safe)
plays with electricity!**

„Training a can”
„Electrostatic cleaner”
„Electron”, etc.



Thank you for attention!

Andrzej Hamerla, student II roku fizyki, 2009 rok

<http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Elektrostatyka/Elektrostatyka.html>

Bibliography

- G. Karwasz et al.. *Physics and Toys, Electromagnetism*
dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/elmag/elmag-en.html
- A. Kamińska et al.. *Interactive exhibition „Volta’s pile”* , PAP, Słupsk, 2001
dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/zrodla/ogniwa.html
- G. Karwasz, A. Karbowski, *Na końcu języka (Volty)*, (On Volta’s tip of tongue), Foton 96, 2007, 34
- G. Karwasz, K. Wyborska, A. Kamińska, A. Karbowski, T. Bury, *[Samochód na wodę](#)* , (Water-driven car) Fizyka w Szkole z Astronomią, 303, nr 4 (LXIV) 2019, str. 10-15.
- M. Sadowska, G. Karwasz, *[Stara, poczciwa maszyna elektrostatyczna](#)*, Old, good (electrical) chap,, Fizyka w szkole, 5/2011 (2011) 40-50.
- G. Karwasz *[Od kuli plazmowej do plazmy termojądrowej](#)*, (From plasma ball to thermonuclear plasma) Fizyka w Szkole nr 360 (LXIV) nr 1 Styczeń-Luty 2019, 4-8.
- G. Karwasz, A. Karbowski, K. Wejer, *[O kuli plazmowej i wyładowaniach w gazach](#)*, (On plasma ball and electrical discharges in gases) Fizyka w Szkole 369 (2020), 12-16