الكهرمان و الزُّجاج
قصّة الكهرباء

ألّفه : جون بيار بوتي
نقّلته الى العربيّة : نسيمة زوبيري

الى أخي فلاديمير قولوبيف

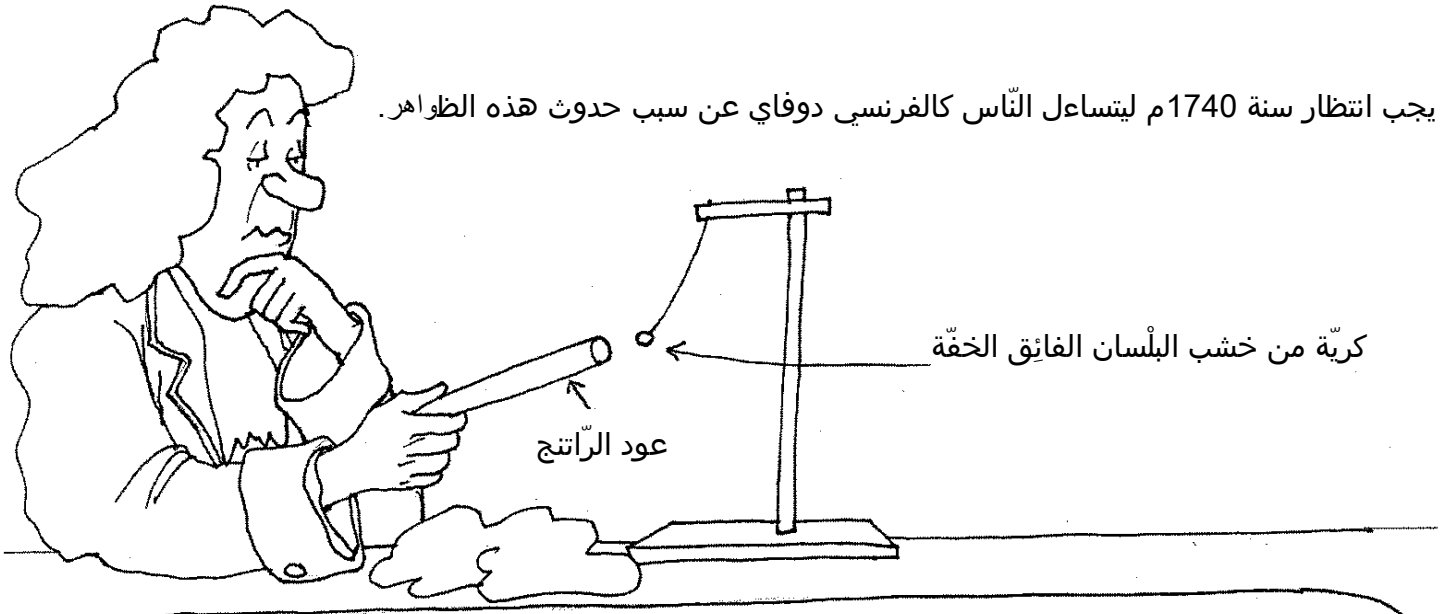
جدّي, انّها كارثة, أنا و أنسالم لا نفهم شيئا عن الكهرباء, الأمبيرات, الفولطات و الأومات, كلّ هذه المصطلحات تختلط في رأسينْا الصّغيرين

اذا أردتم يا أولادي فهم ماهية الكهرباء فعليكم العودة الى الماضي.

اعلموا يا أولاد انّ أصل كلمة كهرباء هو كلمة الكترون اليونانيّة التّي تعني كهرمان, و الكهرمان عبارة عن راتنج أُحفوري كان يتواجد شَمال القارّة الأُروبيّة على شكل تكتّلات صغيرةشفّافة صفراء اللّون كان يستعملها القُدامى في صنع مجوهراتهم.

هذه الأخيرةتجذب اليها الأشياء
الصّغيرة كالغصيْنات و نتفات الرّيش.
وكلّ هذا سيبقى سرًّا غامضا طوال ألفَيْ
سنة و مجرّد لعبةِ تسلية للأطفال.
لديّ كنزة صوفيّة و لكن أين يمكنني ايجادُ الكهرمان؟
يكفي أن تفركيها جيّدًا.
لا داعي للكهرمان, مسطرة زجاجيّة
من مقلمتي ستفي بالغرض.
لتجذب قِطع الورق الصّغيرة.

كان يجب انتظار سنة 1740م ليتساءل النّاس كالفرنسي دوفاي عن سبب حدوث هذه الظواهر.



أخذ النّاس يفركون كل ما يجدونه أمامهم من أجل المحاولة, ولاحظوا ان الكهرمان والرّاتنج ليسا الوحيديْن اللّذيعن يحدِثان تكهربًا و انّما حتّى الزّجاج و الكبريت يكتسبان هذه الخاصية , و بدأ عندئذ صنع الآلات التي توضع فيها مجالات أو أقراص الرّاتنج, الكبريت أو الزّجاج التي تتم كهربتها بفركها على وسائد جلديّة بالمناوبة عن طريق مقبض الآلة.

توجد العديد من المواد التي يمكن كهربتها بالاحتكاك مع الهواء. عندما يكون الطّقس جافًا مثلاً. تُشحن عجلات السّيارات و يمككنا الاحساس بصدمة كهربائية بمجرد لمس المقبض, و القطط أيضا يمكنها شحن فروها بالاحتكاك(*) فالقطّ المشحون كهربائياً و المعزول بوسائدِ أطرافه يحسّ حتماً بصدمةكهربائيّة عندما يلعق شيئًا أو أحدًا
أحسنت فِعلاً
شفّارات دوّارة المروحيّة المكوَّنة من موادصناعيّة تُشحَن بشكلٍ متواصل بأكثر من 100000 فولط , لهذا فعندما يريد الطّيّار انقاذ غريقٍ ما, يرمي بحبل الى الماء أوّلاً و يقفز الغطّاسون الى الماء من المروحيّة متفاديين أن يكونوا الواصلة التي من خلالها تفرّغ المروحيّة شحنتها.
قط كثير الفرو يمكنه ان يشحن 50000 فولط , هو بذلك.
يمكنه انتاج شرارات كهربائيّة جميلة في العتمة. انّ الرجّة و لو كانت محسوسة عند القطّ الاّ أنّها لا تؤذي جسمه لأنّ الشّدّة الكهربائيّة فيها تبقى ضعيفة.

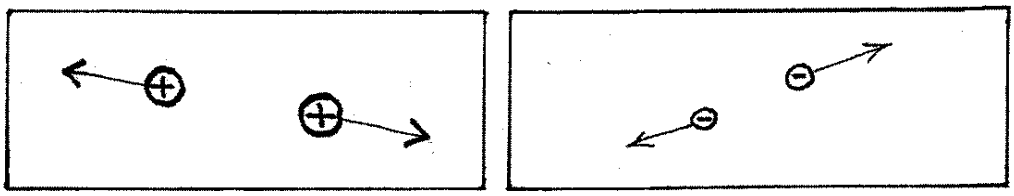
(*)

يمكننا انشاء ظاهرة كهربائيّةمذهِلة للغاية بالغلق على أنفسنا داخل غرفة مظلمة و بصحبتنا لفافة من الشّريط اللاّصق الّذي نبدأ سحبه بقوّة.
بقوّة ؟
عندما نسحب الشّريط بقوّة يظهر بصيصٌ ساطع مائل الى الزّرقة في المكان الّذي يحدث فيه الانفصال.
انّ هذا البصيص شديد الى درجة أنّه يمنعنا من القراءة
هذا لا يمثّل وسيلة اقتصاديّة فعلاً للاضاءة.
بعض المواد فقط يمكن كهربتها بالفرك, يمكننا السّعي جاهدين في فرك كلّ المواد الممكنة من دون الحصول على أدنى نتيجة.

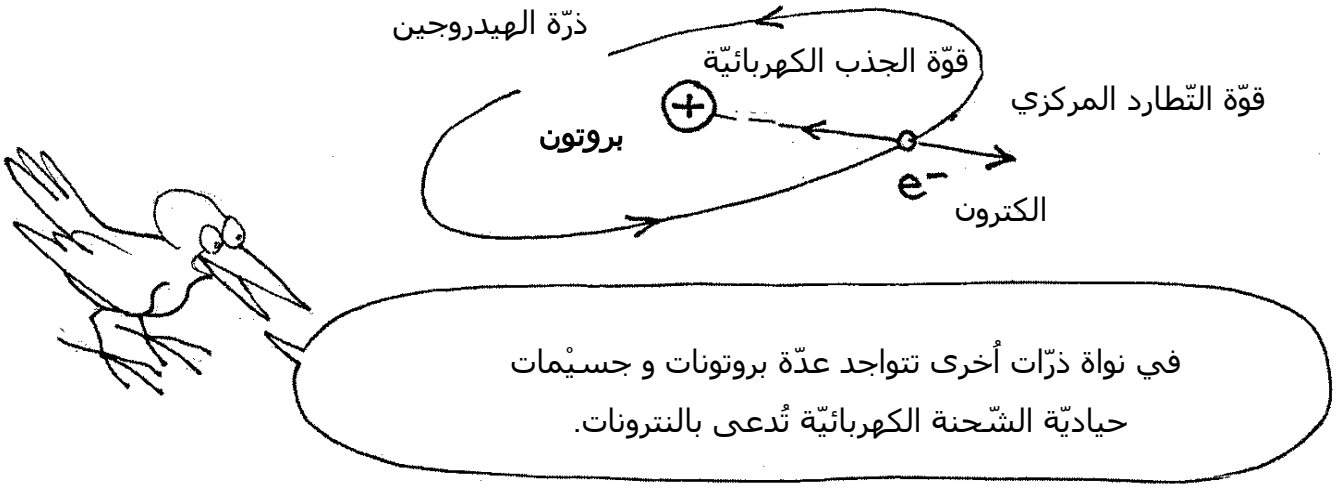
و لكن تمّ اكتشاف أنّ هذه المعادن لا تبقى من دون ردّة فعل عندما تكون قريبة من شيء مشحون بالكهرباء بفعل الرّاتنج أو الزّجاج.

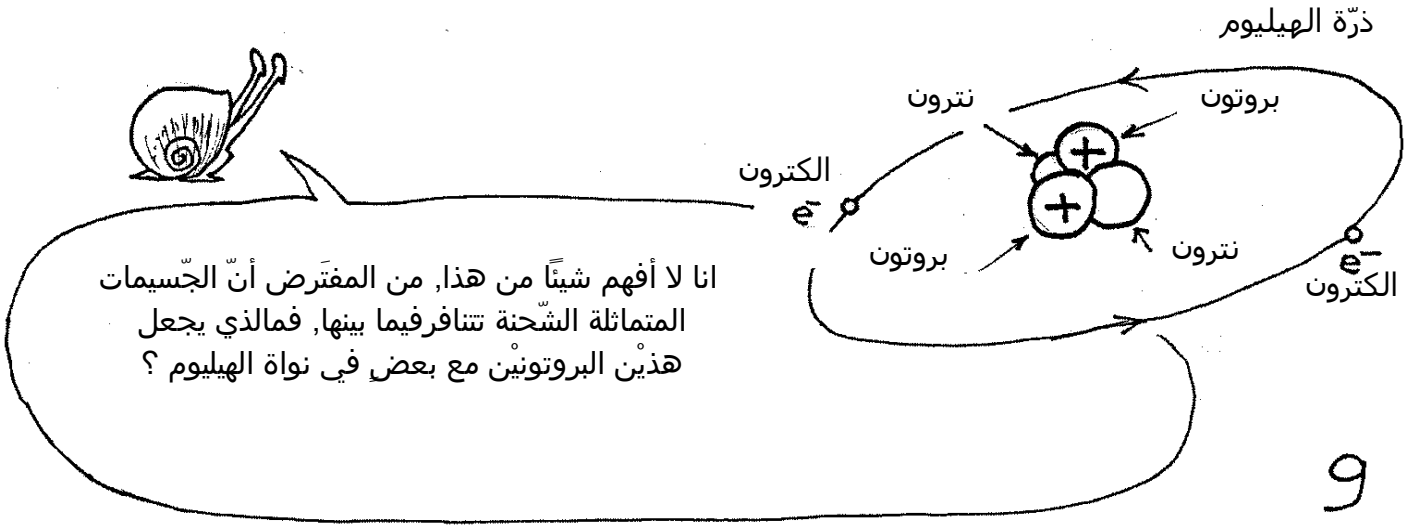
كان يجب انتظار سنة 1905 حتى يبيّن النيّوزيلاندي أرنست روذرفورد انّ المادة عبارة عن ذرّات, ثمّ تلاه الدّنماركي نيالس بوهر الّذي وصف هذه الأخيرة بأنّها مركّبة من نواة مشحونة ايجابيًّا و حولها يدور الكترون واحد أو عدّة الكترونات محمّلة بشحنات كهربائية سالبة.

الشّحنات المتماثِلة تتنافر



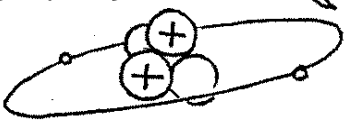
انّ الشّحنات المتمايزة تتجاذب فيما بينها و هذا يسمح لنا بالحصول على ذرّة الهدروجين حيث الالكترون يدور حول نواة مركّبة من بروتون واحد. قوّة الجذب الكهربائية (بين الشّحنات المتضادّة) تخلق توازنًا مقابل قوة التّطارد المركزي.



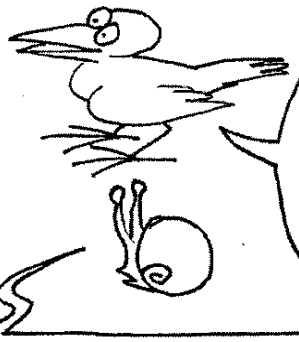


الجزيئات التي تُكَوِّن نواة الذّرات تسمى النَّويّات, و تماسكها في الذّرة يعود الى القوّة النّوويّة الجاذبة التي تصبح أكثر أهميّة من القوّة النّاتجة عن الشّحنات الكهربائية و ذلك في المسافات القصيرة.

نواة الهيليوم



بروتونيْن و نترونيْن

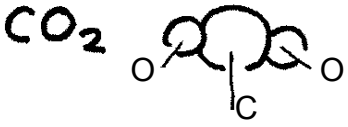


في نواة الذّرّة و بصفة عامة, يوجد دائماً نفس عدد البروتونات مقارنةً بعدد النّترونات الخالية من الشّحنات الكهربائية.

و لكن في الوقت نفسه يوجد دائماً نفس عدد البروتونات ذات الشّحنة الموجبة مقارنةً مع عدد الالكترونات ذات الشّحنة السّالبة وهذا ما يجعل كلّ الذّرّات حياديّةً كهربائيّاً.

في الغازات و السّوائل تتجمّع الذّرّات لتُشكِّل جزيْئات مكوَّنة من ذرّتيْن على الأقل. مثلاً, جزيْء الأكسجين يحوي ذرّتيْن من الأكسجين أو غازثاني أكسيد الكربون الذي يحوي ذرّتين من الأكسجين و ذرّة من الكربون كمانجد أيضًا جزيْء الماء الّذي يحوي ذرّة أكسجين و ذرّتين من الهيدروجين.

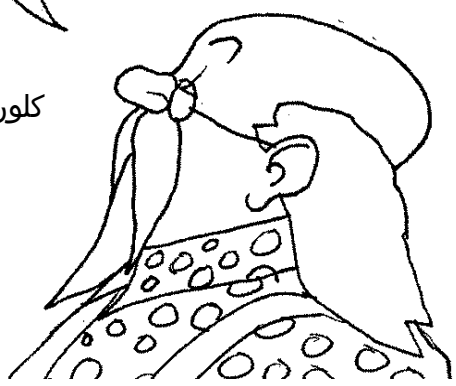
أكسجين



ثاني أكسيد الكربون

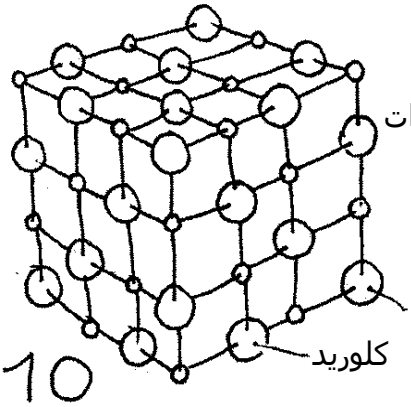
ماء

في السّوائل أو الغازات, تتنقل الجزيئات من حالة الى حالة بصفة حرّة و لكن مع الحفاظ على طبيعتها الحياديّة كهربائيًّا. في الحالة الصّلبة تبقى النّواة ثابتة وفي المعادن فانّ جزءاً من الالكترونات يتنقل بحريّةبين الذّرات الثابتة.



ملح الطّعّام

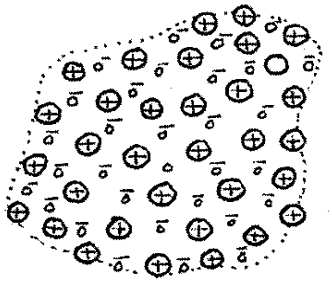
كلوريد الصّوديوم حيث تنتظم الذّرات في شكل مكعّب.



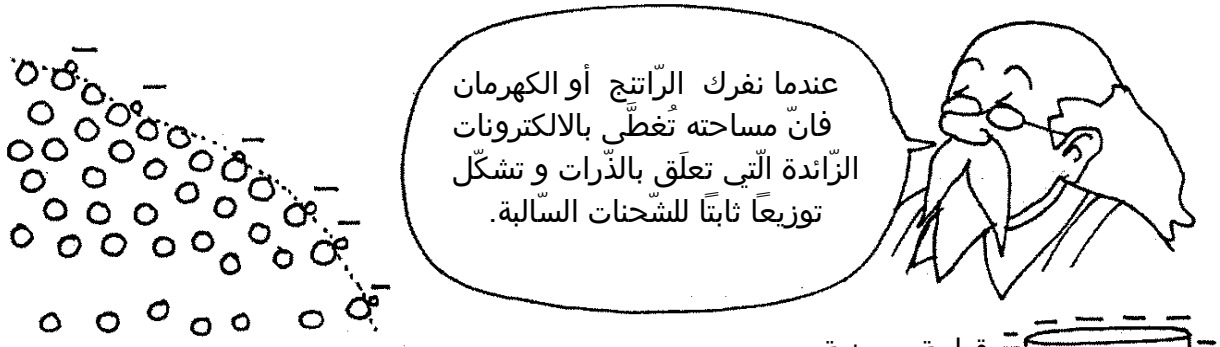
صوديوم

كلوريد

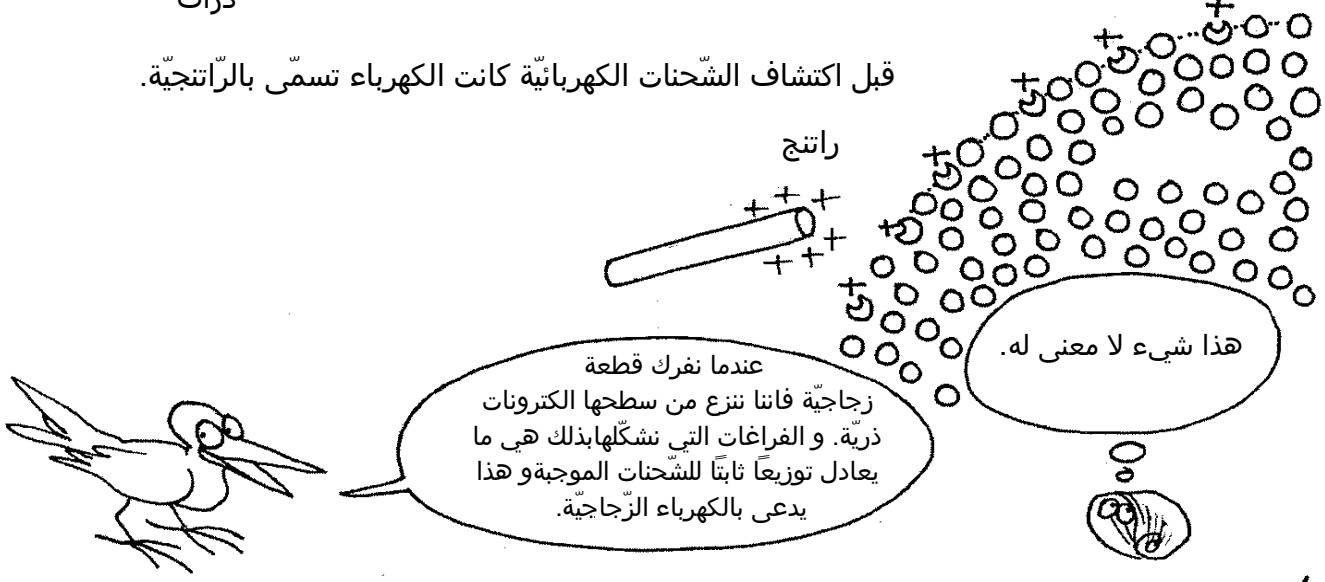
في المعادن, (الحالة الصّلبة) تكون الذّرات ثابتة اتّجاه بعضها حيث تتنقّل بعض الالكترونات بنفس طريقة تنقّل النّحل في الخليّة, و عندما تبقى قطعة من المعدن معزولة فانّ كثافة الشّحنات الايجابيّة المحتواة في النّواة تعادل كثافة الشّحنات السّلبية المتواجدة في الالكترونات و لِذا فالنّتيجة عبارة عن وسط حياديّ تماماً كهربائيًّا.



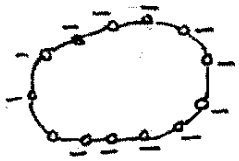
.

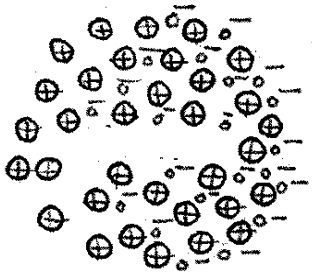


قبل اكتشاف الشّحنات الكهربائيّة كانت الكهرباء تسمّى بالرّاتنجيّة.

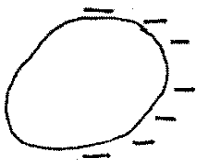


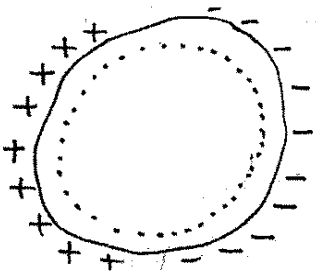
اذا قرّبنا قطعةً من الرّاتنج مشحونة سلبيّاً من قطعة معدنيّة
فانّ الكترونات هذه الأخيرة تتنافر مع الكترونات الرّاتنج.



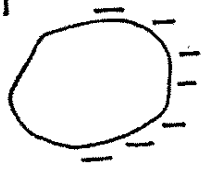


و نلاحظ انّ ظواهر التّكهرب النّاتجة تتمركز على مستوى السّطح الخارجي في حين يبقى الجسم المعدني حياديّ الشّحنة. تحت تأثير الشّحنات السّالبة المحمّلة في كتلة الرّاتنج, كلّ شيء يحدث كما لو أنّ الوجه الآخر من الكتلة المعدنيّة يتغطّى بشحنات معدنيّة في حين نجد الوجه المعاكس مغطّى بالشّحنات السّالبة.

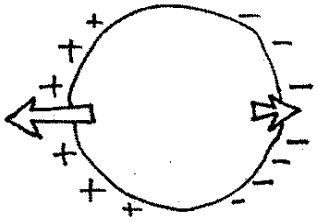




الشّحنات المتمايزة تتجاذب فيما بينها, أما الشّحنات المتماثلة فتتنافر عن بعضها.
هذه القوى متناسبة مع التّربيع العكسي للمسافة التي تفصل بينها.



تجاذب



تنافر

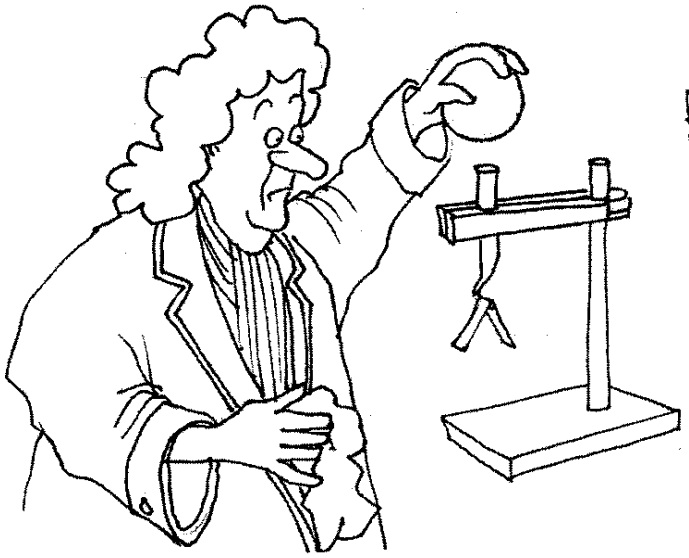
لكون الشّحنات الموجبة أقرب الى الرّاتنج من الشّحنات السّالبة فانّ هذه الأخيرة تجذب الكتلة المعدنيّة اليها قليلاً.

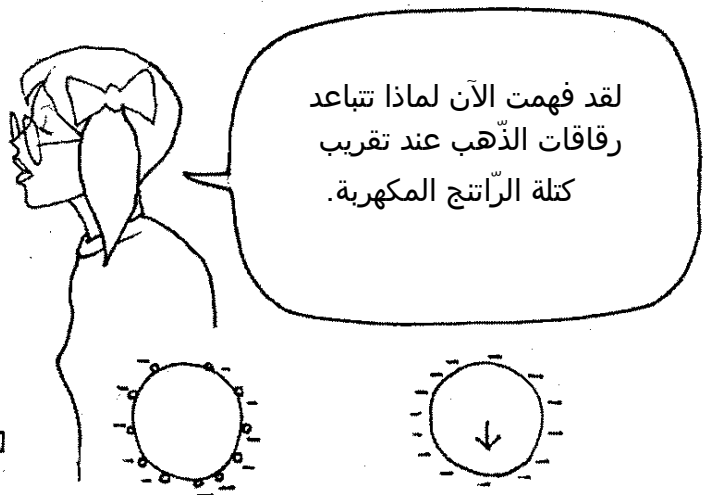
راتنج

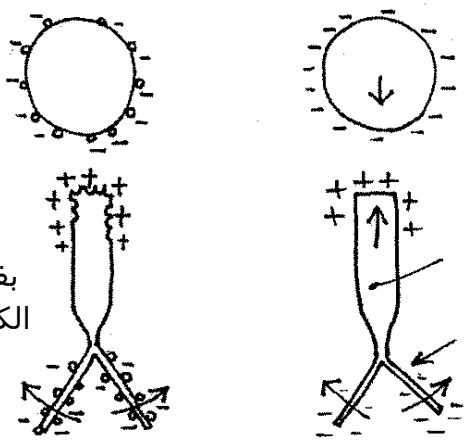
معدن

حيادي

في تلك الحالة كانت كتلة الزّجاج ستجذب الكترونات المعدن التي كانت ستتجمّع على سطح الجهة الأخرى تاركةً الجهة المعاكسة و النّتيجة الّتي ستتحصّل عليها تبقى دائما متمثّلة في انجذاب ضئيل.

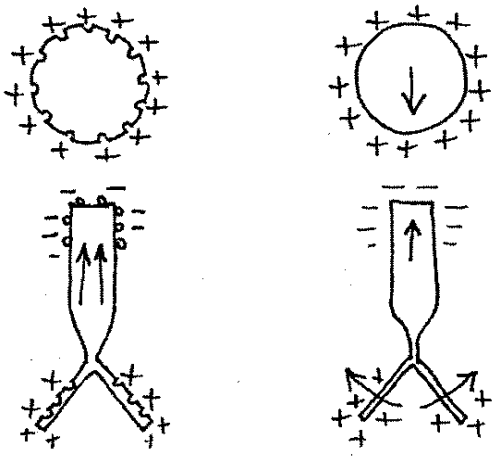


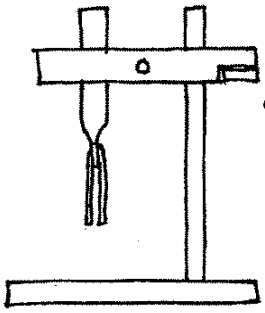




بفعل التّكهرب المفتعل تقوم الشّحنات المتواجدة على السّطح بدفع الكترونات المعدن نحو وريقات الذّهب, و لأن الشّحنات المتماثلة تتنافر عن بعضها فإن وريقات الذّهب تتباعد كنتيجة لذلك.

يتجاذب الرّاتنج و المعدن قليلاً في حين ترتفع وريْقات الذّهب لأنّ وزنها ضئيلٌ جدًا
نفس الشّيء يحدث تقريبًا عندما نقرّب كتلةً زجاجيّة مشحونة بالكهرباء بحيث نكون قد نزعنا الالكترونات من سطحها مسبقًا.

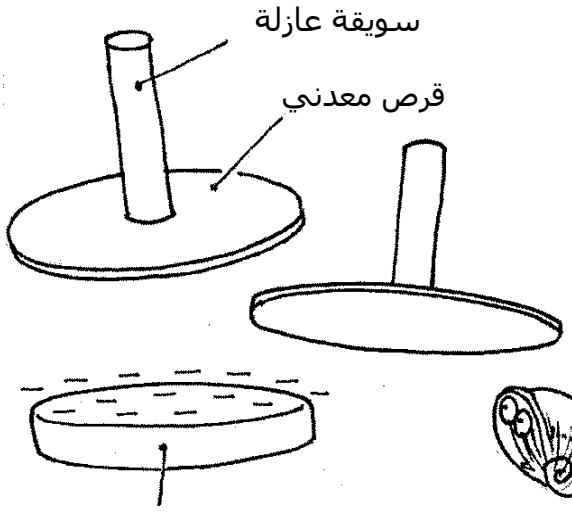




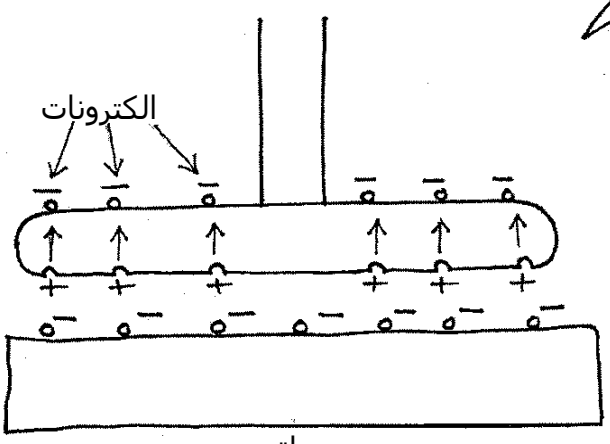
و لكن عندما نبعد الكتلات المكهربة, ترجع الالكترونات الى أماكنها
كما تختفي الظّاهرة و تصبح قطعة المعدن حياديّة كهربائيًّا.

و كيف نشحن قطعةً معدنيّة ؟

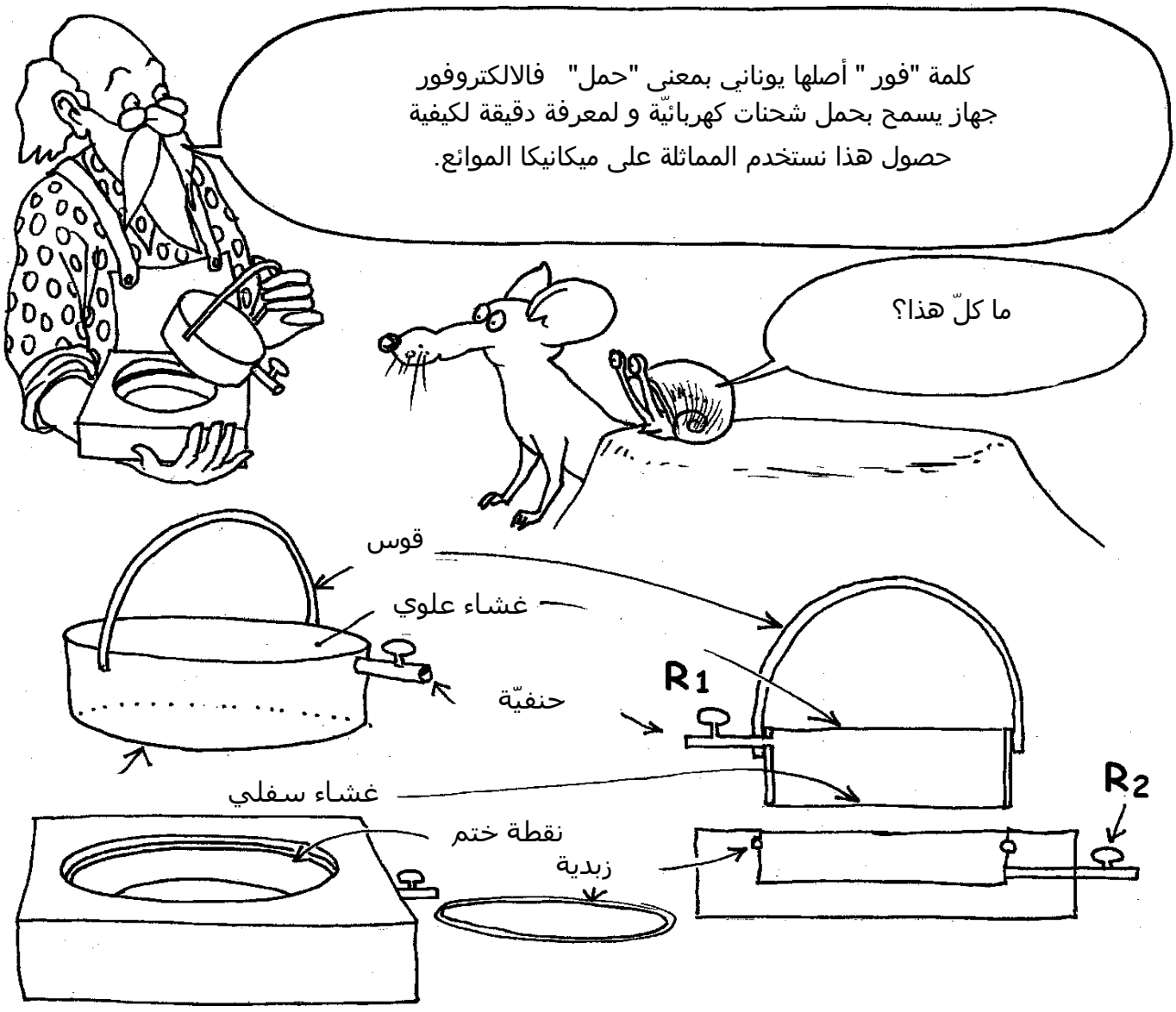
مولّد الكهربيّة الرّاكدة « الالكتروفور »



هذا الجهازالبسيط اختُرع سنة 1800 من طرف
الايطالي فولطا بتقريب قرص معدنيّ من صفيحة
راتنج مكهربة منتجًا تكهربًا مفتعلاً

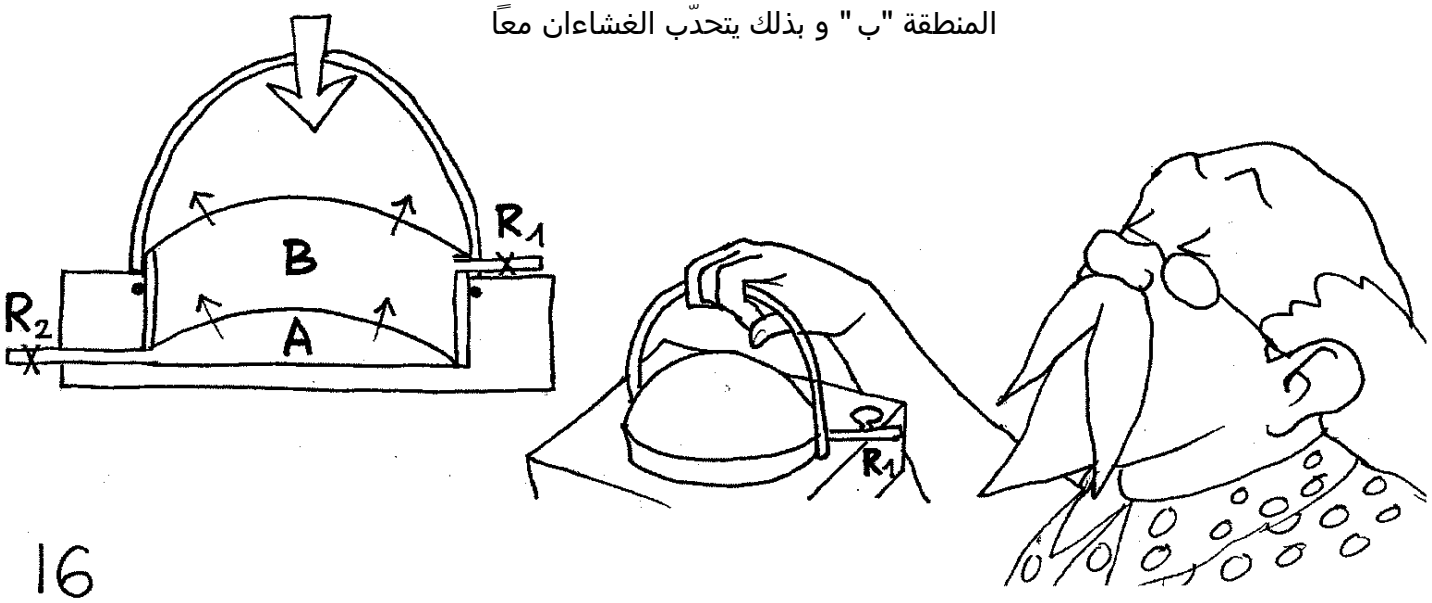


مدفوعة بالاكترونات المتواجدة على
سطح صفيحة الرّاتنج,تترك الكترونات
المعدن الجهة السّفلية للقرص لتتنقل
نحو الجهة العلويّة.



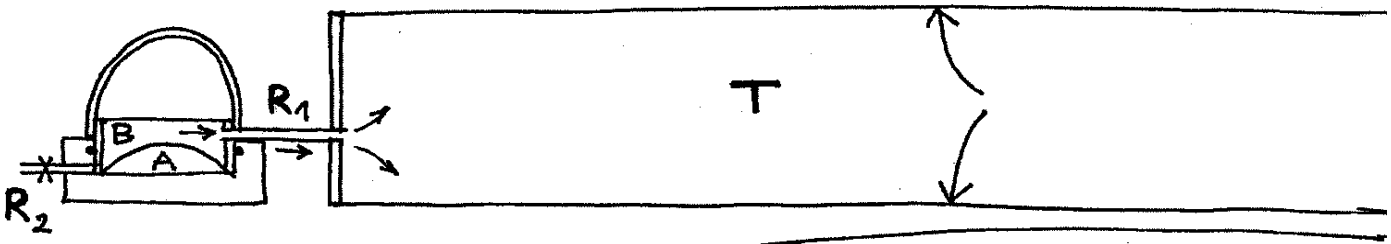
الباروفور, أصله من كلمة"باروس" بمعنى حوض و "فور" بمعنى حمل فاشتقاقيًّا يعني نقل الضّغط

عندما نضع الباروفور في مكانه يسجن الهواء في المنطقة "أ", و زيادة الضّغط هاته تنعكس في المنطقة "ب" و بذلك يتحدّب الغشاءان معًا

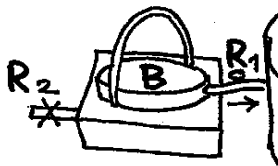


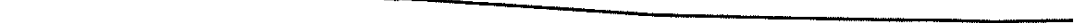
الأنسجة

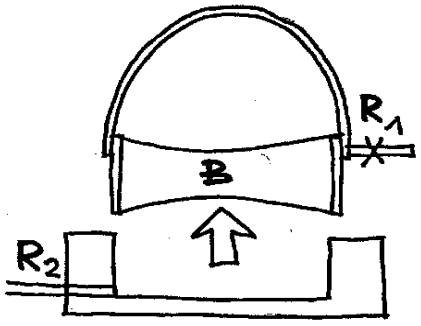
الحجم "ت" "شبه لا نهائي "مقارنة بالحجم " ب " عبر الحنفية ر1



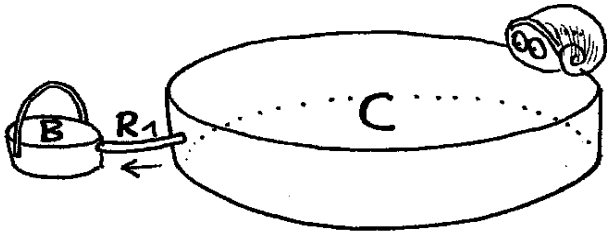
ثم نوصل الحجم « ب » المحدود بالنّسيجين عبر الوعاء الكبير « ت » و الّذي بدوره أيضًا محدود بنسيجين كبيرين, يخضع الحجم في البداية للضّغط الجوي. الضّغطين في "ت" و "ب" سيتساويان في النّهاية تقريبًا مع الضّغط الجوّي كما أنّ النّسيج العلوي للباروفور يصبح شبه مسطّح ثم نغلق الحنفيّة "ر1" و نستخرج الباروفور من مكانه و بالتّالي نتحصل على التّالي.



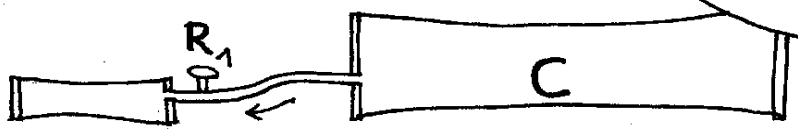




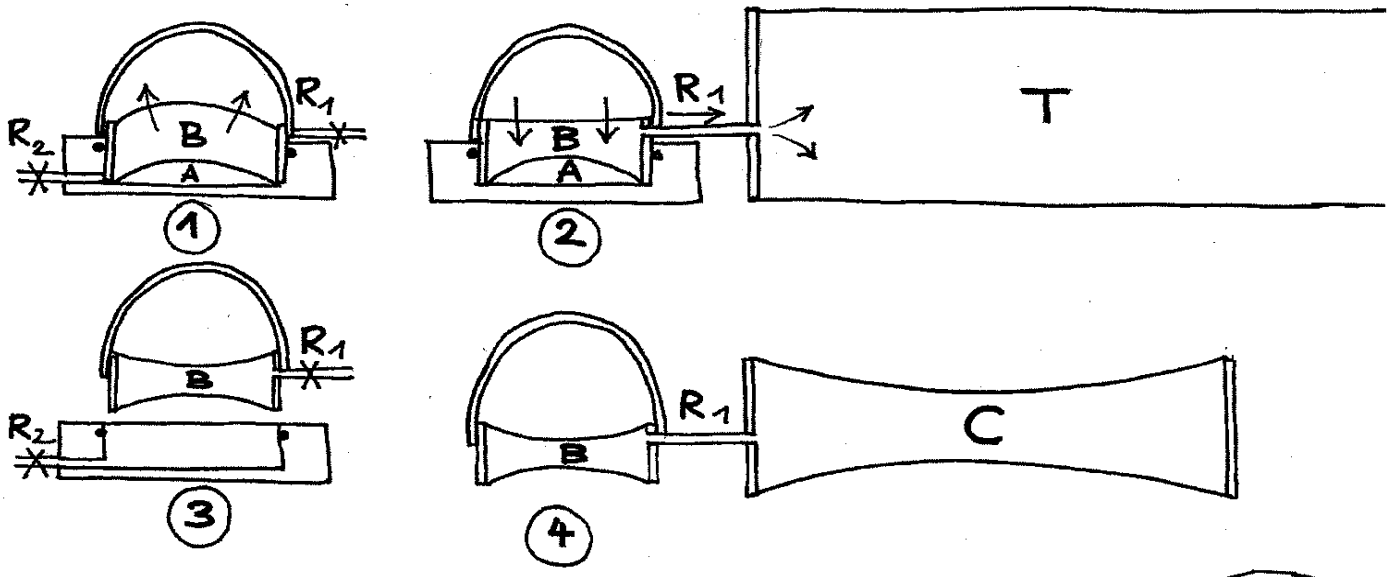
الحجم « ب » في انشراح مقارنة بالضّغط الجوّي المحيط,يمكننا نقل الهواء المنشرح حيثما نشاء و استعماله لتخفيض خفيف في ضغط قدرة حجم محدود نسمّيه "س " هذه المرة.



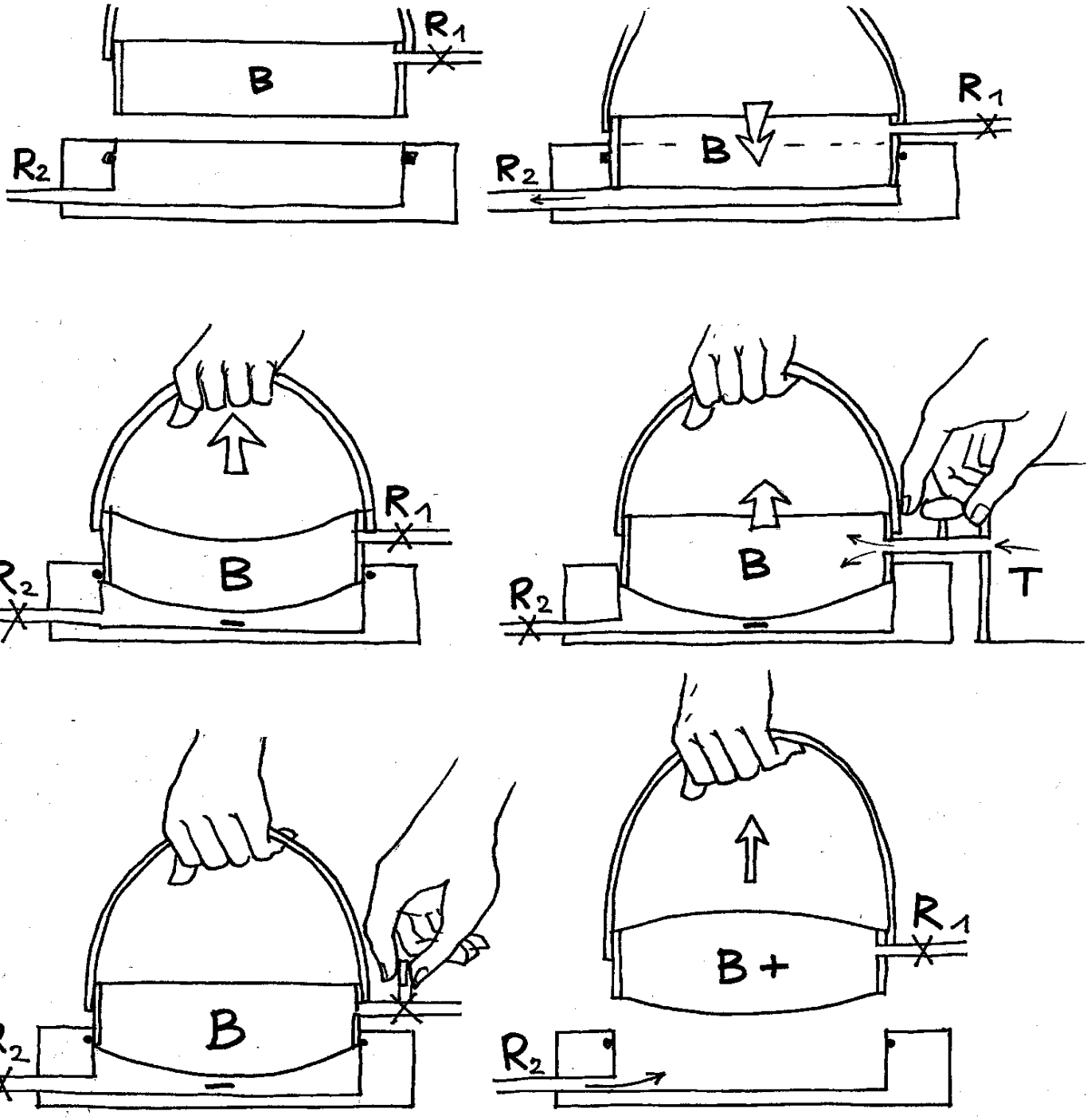
يتساوى الضّغطين في النّهاية و بالتّالي يسببّ الباروفور "ب" ضغطًا خفيفًا في القدرة س" المعبّأة بالهواء مما يؤدي لتقعّر نسيجيْها بعض الشّيء.

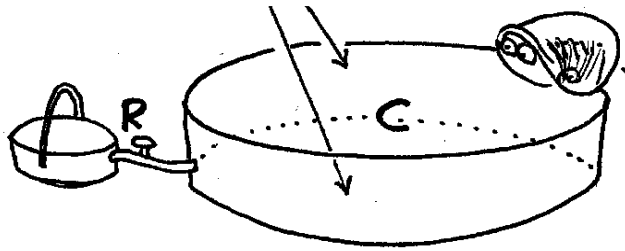


يمكننا القيام بالعمليّة مجدّدًا و في كل مرّة نستخلص قليلاً من هواء القدرة « س » و لكن بتراجع في الكميّة, و بعد عدد من العمليّات نلاحظ أنّ الأمر سيصبح غير مجدٍ لأنّ الضّغوط صارت متساوية.

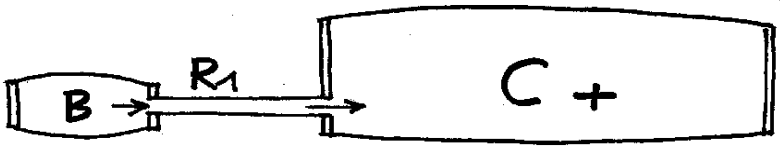


عندما يخضع الباروفور للضّغط المحيط بهلا يطبّق أيّ ضغط على الأغشية, و عندماننتهي من المناورات المختلفة نكون قد أنشأنا انفراجًا في الضّميمة " ب " و لكن ما تزال هناك توتّرات في الأنسجةو نَصِف هذه التّوتّرات بالسّلبيّة.بالاستعانة بالباروفور سنضع الآن الضّميمة "ب" بين النّسيجيْن في ضغط زائد و نقول أنّهما في توتّر موجب ثم نفتح الحنفيّة "ر2" و نضع الباروفور في مسكنها , بعدها نفتح و نضع الضّميمة "ب" في اتّصال مع الضّميمة الكبرى و نغلق الحنفيّة "ر2" مع الحنفيّة "ر1" و بعدها نفتح الحنفيّة "ر2" و نستخلص الباروفور

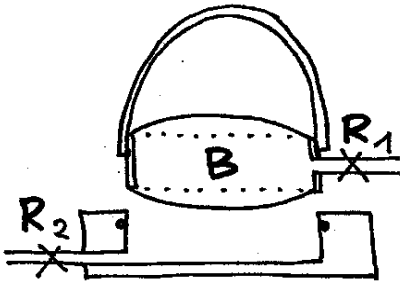


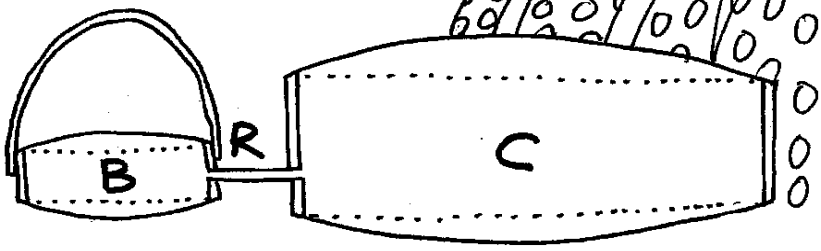


بتساوي الضّغطين يسمح الباروفور 'ب' بانشاء ضغط زائد خفيف في القدرة 'س' المملوءة بالهواء بحيث يتحدّب غشاءيها قليلا.

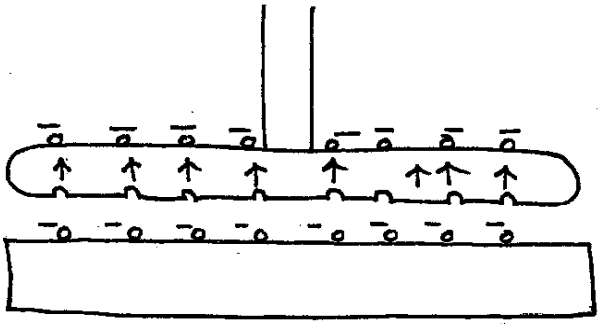


يمكننا القيام بهذه العملية مجدّداً بمساعدة مكبس يدوي الى أن يتساوى الضّغطين في 'ب' و 'س' و بالتّالي فالضّغط النّاتج في 'س' يصل الى حده فنقول أنّ القدرة 'س' أصبحت منقولة الى توتّر موجب حدي.

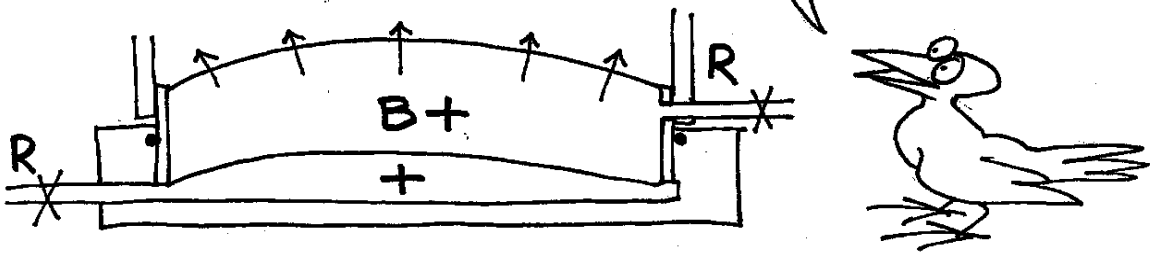




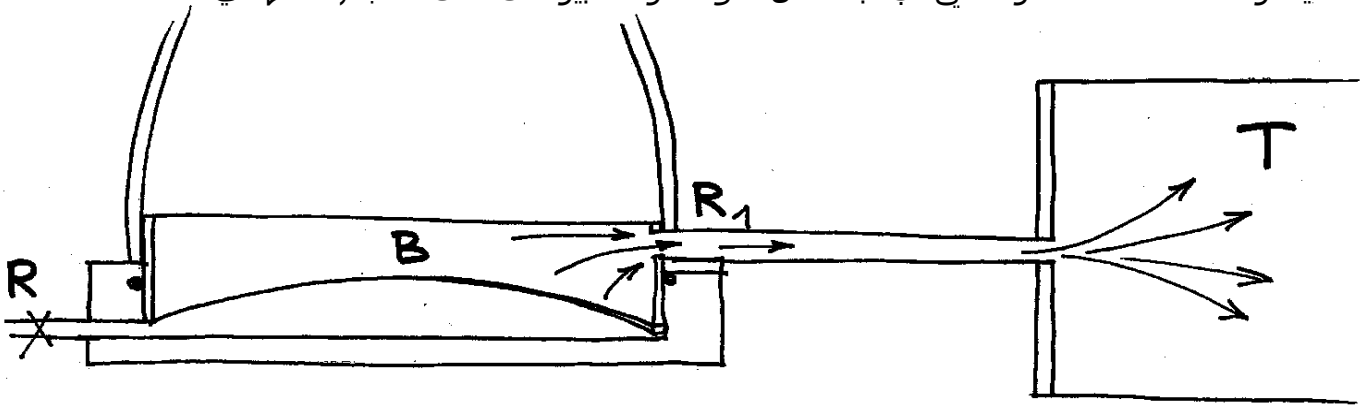
تصبح المضخّة فعالة عندما يصبح الضّغطين في'ب' و 'س' متساويين و التّوتّر في الأغشية متكافئاً.



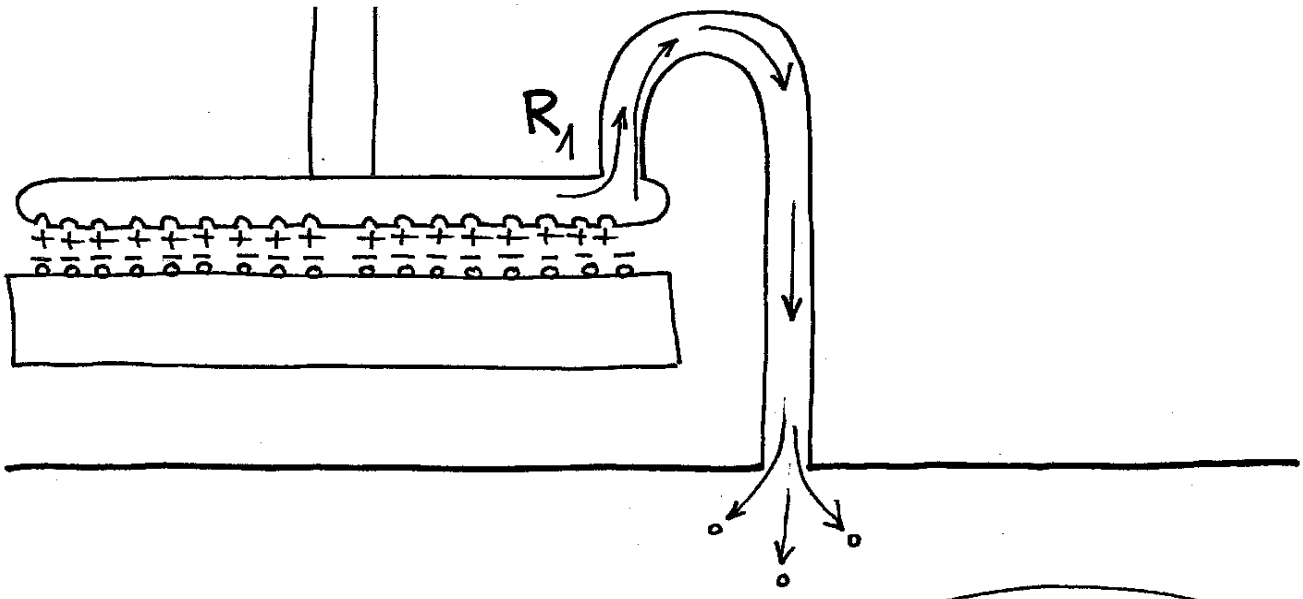
لنرجع الى مولد الكهربيّة الرّاكدة. الالكترونات المتواجدة على سطح الرّاتنج تدفع الكترونات المعدن نحو الجهة العلويّة للقرص.

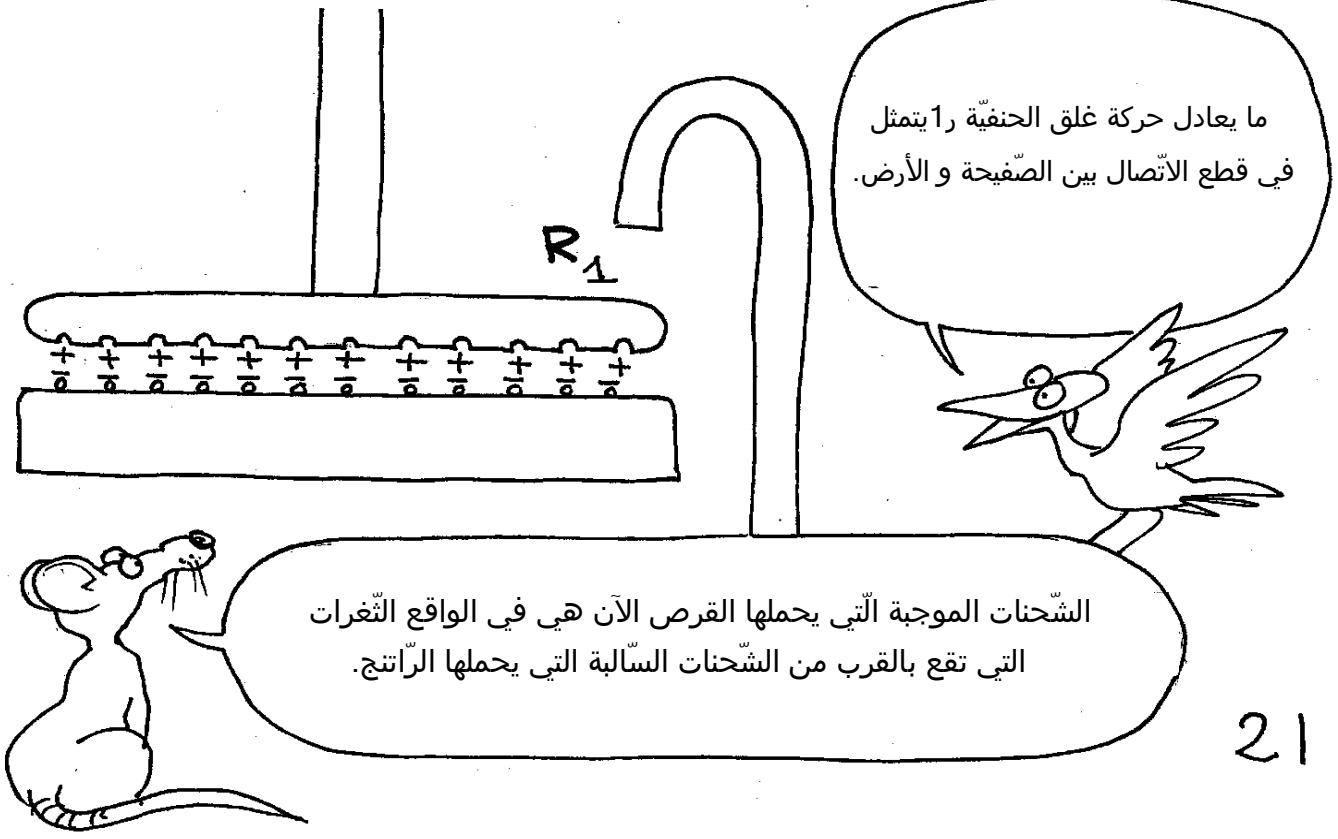


بفتح الحنفيّة ر1 سمحنا للضّغط الزّائد في "ب" بالانتقال نحو القدرة الكبيرة "ت" ذات الحجم اللاّنهائي.

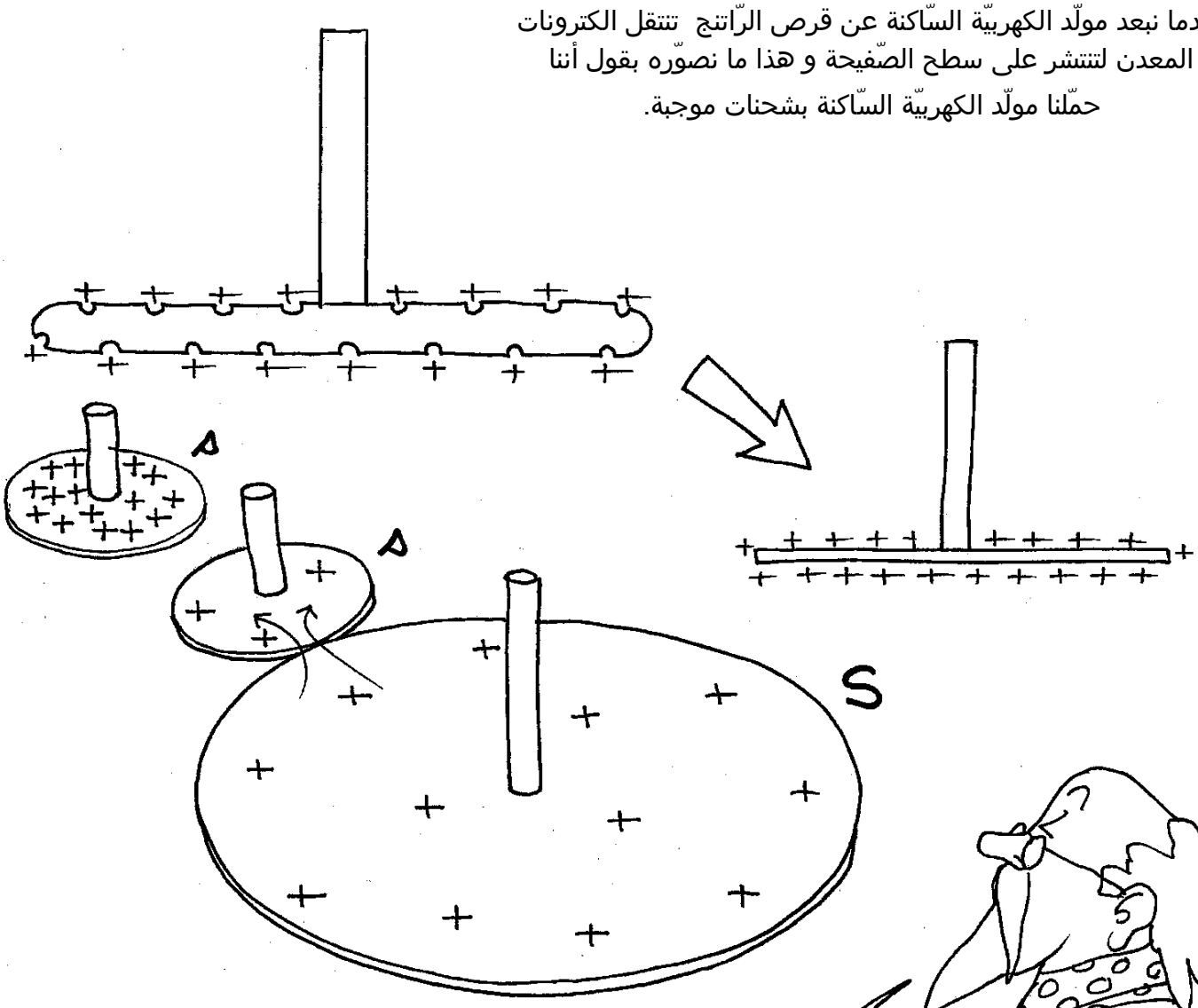


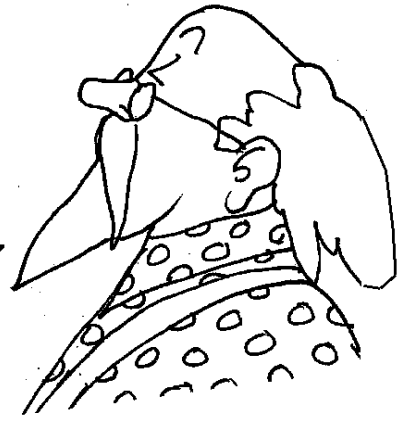
بنفس الطّريقة نضع صفيحة مولّد الكهربيّة السّاكنة في اتّصال مع هذه القدرة الكهربائيّة الكبيرة المتمثّلة في الأرض و بذلك نسمح للالكترونات بالانتشار في هذه المساحة.





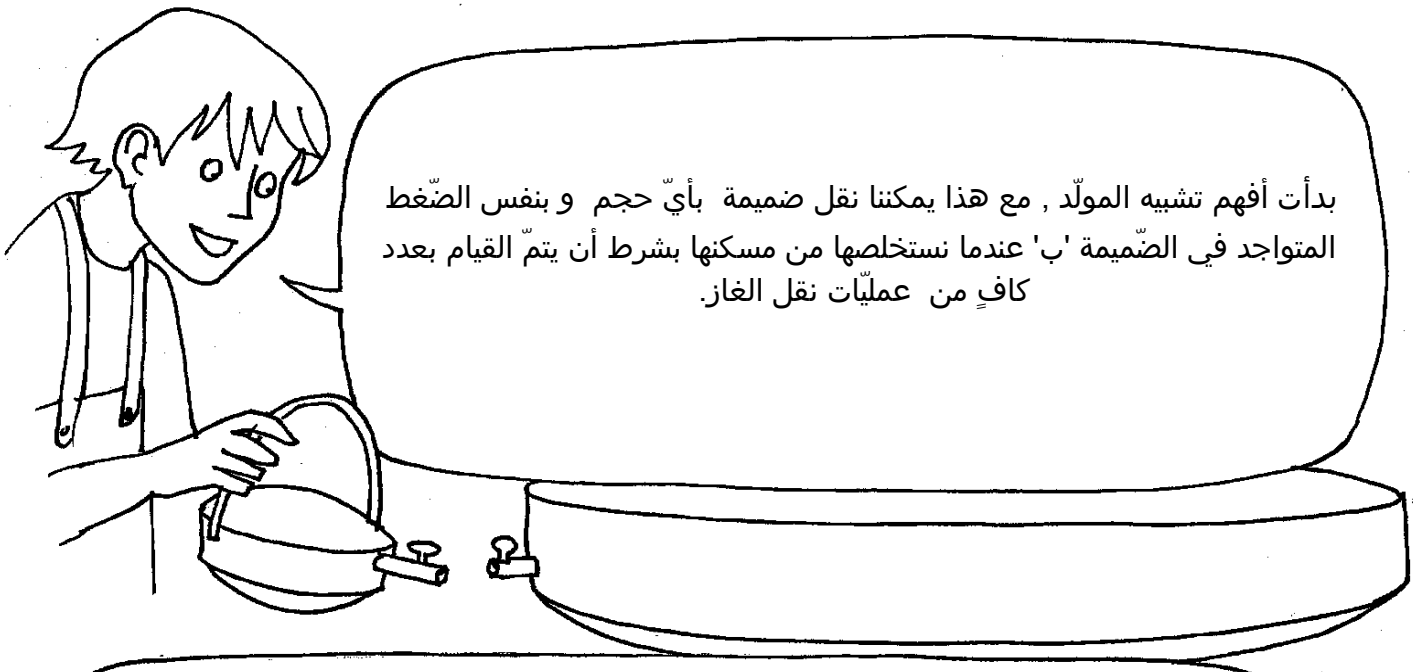
عندما نبعد مولّد الكهربيّة السّاكنة عن قرص الرّاتنج تنتقل الكترونات المعدن لتنتشر على سطح الصّفيحة و هذا ما نصوّره بقول أننا حمّلنا مولّد الكهربيّة السّاكنة بشحنات موجبة.





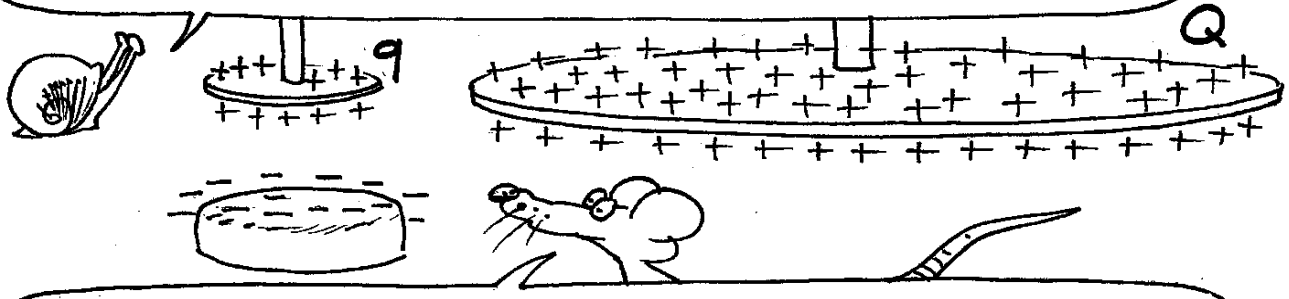
اذا وضعنا مولّد الكهربيّة السّاكنة ذو المساحة 'س' مع قدرة ذات سطح "س" فسوف يتبادل الجهازين الشّحنات الموجبة حيث أنّ كثافة الشّحنات في و حدات السّطح ستتساوى, في الحقيقة فانّ الكترونات القرص الكبير هي التي ستنتقّل نحو الصّغير, و بالقيام بالعمليّة مرّة أُخرى يمكننا تحقيق مداخلات بين الشّحنات ستتوقّف بتساوي الكثافة بين الشّحنات على سطح المولّد و شحنات القدرة المحمّلة.

هذا عجيب كالبقيّة.



بدأت أفهم تشبيه المولّد , مع هذا يمكننا نقل ضميمة بأيّ حجم و بنفس الضّغط المتواجد في الضّميمة 'ب' عندما نستخلصها من مسكنها بشرط أن يتمّ القيام بعدد كافٍ من عمليّات نقل الغاز.

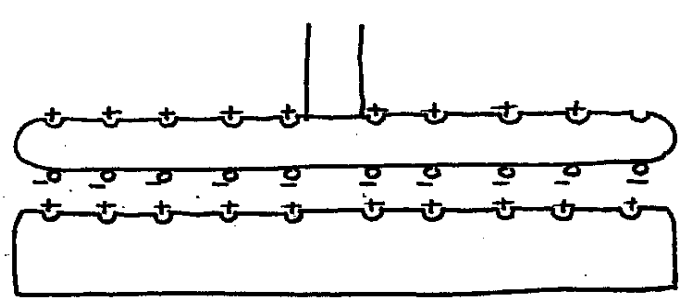
ولكن ما هو ما يعادل في الكهرباء السّاكنة؟



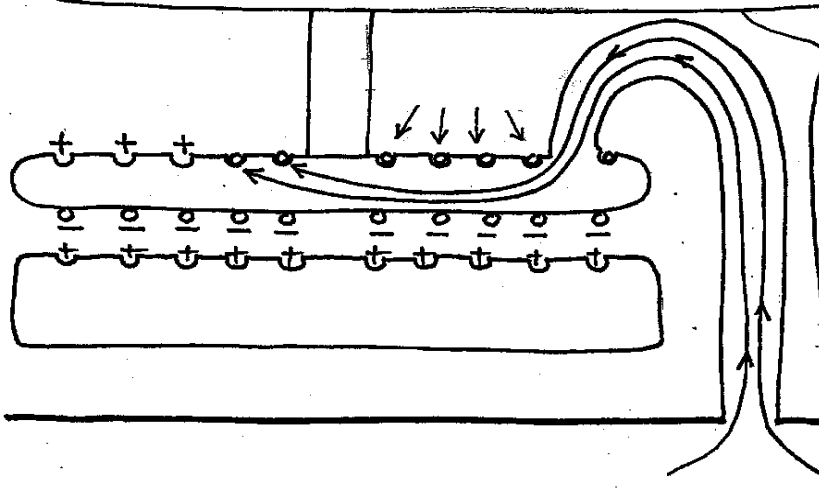
يمكن إنشاءنفس كثافة الشّحنة الكهربائيّة على السّطح 's' كتلك السّائدة على سطح المولّد ،و الّتي تعتمد على تكهرب كتلة الرّاتنج.

ولكن من أين تأتي هذه الشّحنات الكهربائيّة؟ انّها خدعة سحريّة حقيقيّة.

سوف تسمح هذه الخدعة، كما تسمّيها، للبشر بالانتقال من تجارب صغيرة للتّرفيه عن الأطفال إلى أُمور أخرى أكثر جديّة .

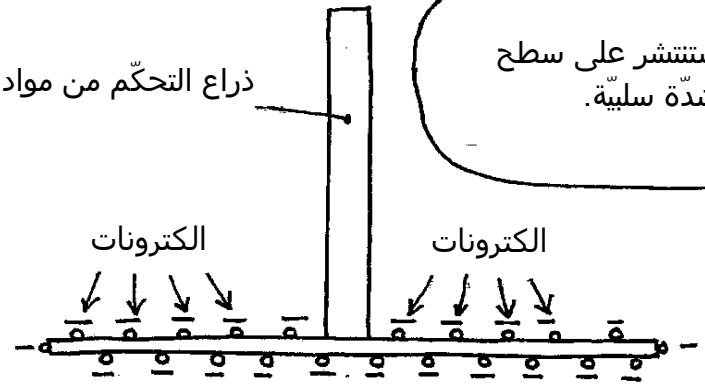


و ما الّذي يحصل عندما يستعمل مولّد الكهرباء السّاكنة مع قرص زجاجيّ سطحه يحتوي على ثغور و هو بالتّالي محمّل بشحنات موجبة؟



هذه المرّة عندما نصل القرص بالأرض فان الالكترونات المنجذبة نحو الثّغور الموجبة هي الّتي ستعلو نحوها لتملأها و تزيلها.

و ان أبعدنا المولّد بعدها فانّ الالكترونات ستنتشر على سطح القرص كلّه و يصبح محمّلا سلبيًا و بشدّة سلبيّة.



مهلاً, فأنا الآن لا أفهم شيئًا. المماثَلة مع المولّد لم تعد ملائمةً قطّ, المائع الكهربائيّ هو هذا النّوع من الغاز الالكتروني(*) . هنا لا يوجد شيء فالقرص يتواجد تحت ضغط كبير يجعله محمّلا بشدّة موجبة, أليس كذلك؟

(*)

(*)هذا التّعبير ملائمٌ تماماً

ملاحظة جيّدة عزيزي أنسالم, في الحقيقة لمّا بدأ الانسان اللّعب مع الكهرباء فقد فكّر مباشرة في المائع الكهربائيّ و لكنّ أحداً لم يكن يعلم في أيّ اتجاه يتدفّق هذا الأخير فأختيرَ له مسارٌ عشوائيّ مع احتمال خطأ من اثنين.

و لسوء الحظّ كانت النتيجة خاطئة.

و بعدها من المستحيل تصحيح الخطأ, و بالتّالي كما سنلاحظ فيما بعد فانّنا وجدنا أنفسنا مع اتّجاه ايجابي لتيّار كهربائيّ منعكس المسار مقارنة مع اتّجاه سير الالكترونات.

في القديم, لم نكن نعلم أنّ التيّار الكهربائيّ نتيجة لتدفّق الالكترونات فاذاً لكنّا قد زوّدنا هذا الأخير بشحنة موجبة و لكن بعد وقوع الخطأ جاء الحلّ متأخّرا.

لقد سمح المولّد بتركيز كميةّ من الشّحنات الكهربائيّة أكثر فأكثر أهميّة في مكثّفات ذات سطوح متزايدة (*). هذا يشبه عمليّة ملء حوض الحمّام باستعمال ملعقة صغيرة. كثيرٌ من الآلات التي لن نقوم بالتّطرّق اليها هنا و الّتي تقوم بنفس العمليّة قد اختُرعت انطلاقاً من هذا المبدأ.

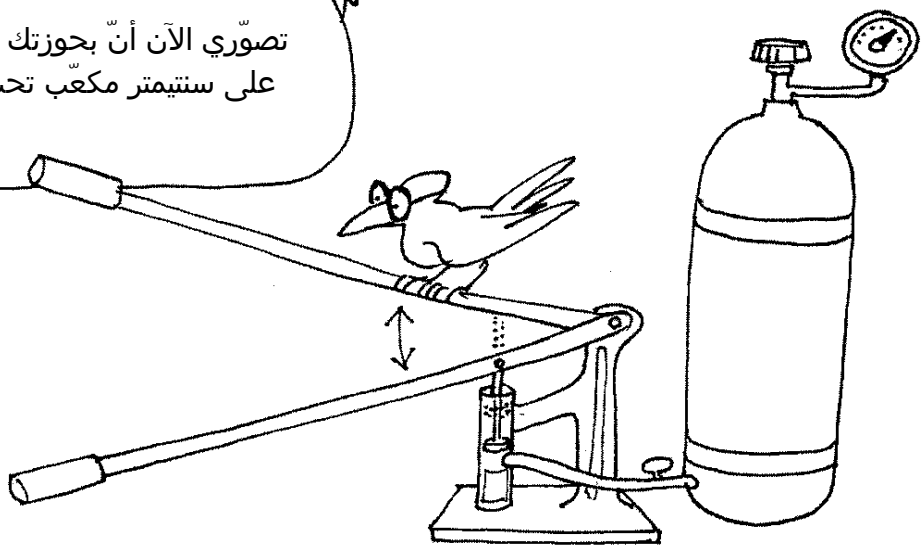
(*)

(*)احذروا من التّقليد فقد يؤدي الى الموت.

لماذا بالاستعانة بكتلة من الرّاتنج أو الزّجاج المفروك يمكننا الانتقال من لعبة أطفال بسيطة الى نظام كفيل بقتل حصان؟ اعترف أنني لا أفهم شيئًا.

لنعد الى مولّد الكهربيّة السّاكنة. بفضله يمكنكي نقل حجم صغير 'ب' تحت ضغط 'ض' .ثم تصاعديًا يمكنكي نقل حجم أكبر بكثير نسمّيه 'ج' وذلك بنفس الضّغط

تصوّري الآن أنّ بحوزتك مضخّة تسمح بالحصول على سنتيمتر مكعّب تحت ضغط مئة كيلوغرام.



بفضل هذه الأسطوانة الهوائيّة و بعد تكرير عمليّة الضّخ آلاف المرّات, يمكننا أن ننتج داخل قارورة الفولاذ هاته نفس الضّغط.

بهذه الطّريقة و بتكريس بعض الوقت يمكنني أن اصنع ما يعادل قنبلة كهربائيّة حيث تكون الشّدّة التي تقاس بالفولط هي ما يعادل الضّغط (و هو ما سيكون الحال عليه لو انفجرت قارورة الفولاذ)

الضّغط ايضًا عبارة عن كثافة طاقويّة بوحدات حجميّة.

في ذلك اليوم, انتهى الأمر بمئتي جندي من بواسل جنود الملك الفرنسي لويس الخامس عشر بتكبّد نتائج الصّدمة الكهربائية.

أُجريت هذه التّجربة من طرف رئيس دير يدعى نولي, سنة 1760.

فعل شدّة التّوتّر

بفعل الشِّدّة الكهربائية
تتركّز الشّحنات على الأطراف.
ماذا لو جعلت زجاجتي محاطة بورق معدنيّ؟
انّ فعل الكهرباء المسبَّبة
يعمل حتى من خلال الزّجاج.
ان أردت تجنُّب التسرّب الكهربائي
فعليّ تغيير القطب الكهربائي.
و كما فعلت مع مولّد الكهربيّة
الرّاكدة, سوف أُخلي الشّحنات الخارجيّة.
نحو الأرض

سوف نضاعف الشّحنات الكهربائيّة بالاستعانة بهذه الصّفيحة الخارجيّة, وبفضل ذلك خرج الى الوجود اوّل مكثّف كهرباءٍ في مدينة ليدن الهولنديّة سنة 1746.

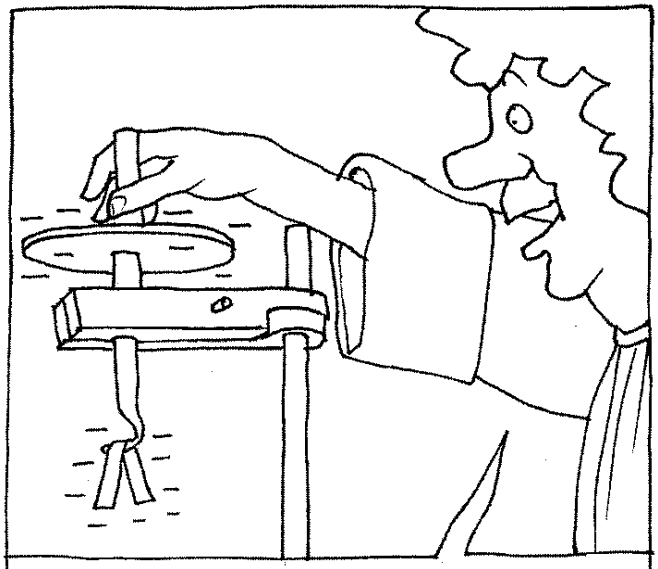
لقد تواصلت التّجارب بطريقة مثيرة أكثر فأكثر, و قداستُنتِج بسرعة أنّ الشّحن بنفس الطّريقة و بالشّدّة ذاتها يمُدُّ كِلا المجالين الفارغ و المملوء بنفس الشّحنة الكهربائيّة.

هذا أمر عاديّ لتواجد الشّحنات الكهربائيّة على السّطح, ما يجعلها تدفع بعضها البعض.

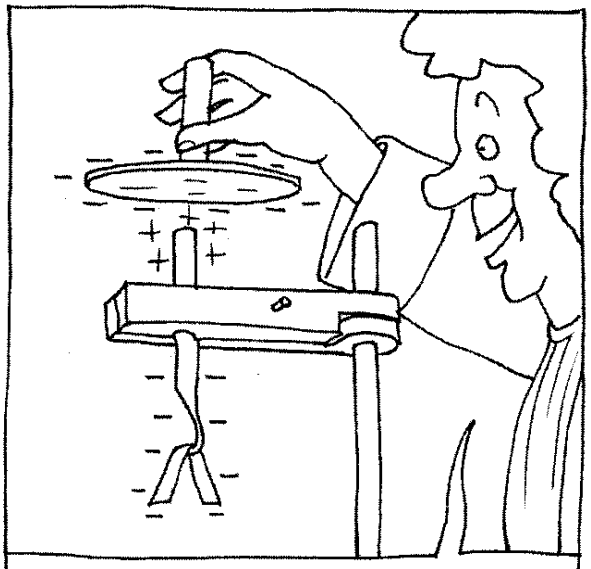
وريْقة ذهبية

مجال نحاسي

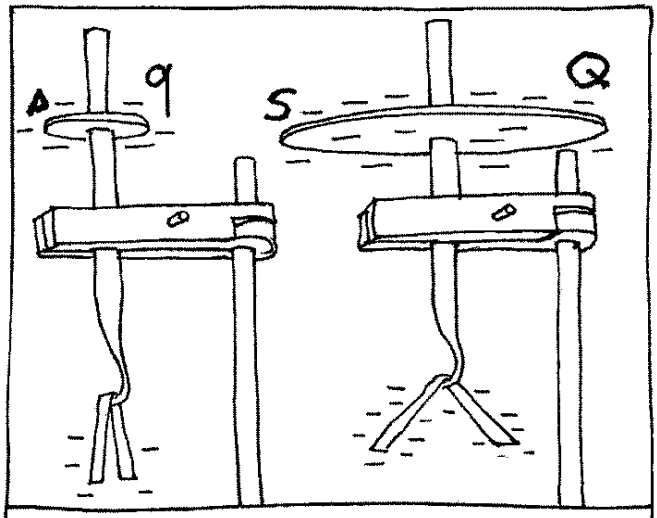
من هنا استنتجنا تجربةص ظريفة, عندما نُحمِّل مجالاص معدنيًا خاويًا, مغلقًا بقلنسوة ممثَلة في وريْقة ذهب فانّ هذه الأخيرة ترتفع بفعل الشدّة الكهربائيّة.



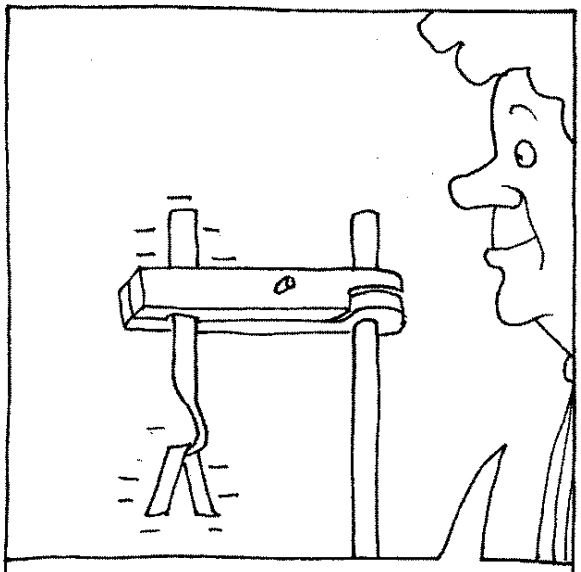
ثانيا, ازالة الشّحنات الموجبة
أو تقسيم الشّحنات السّالبة.



لنعد الى تجربتنا الّتي قمنا بها
قبل قليل, أوّلاً انتاج كهرباءٍ مسبّبة.



باستخدام نفس وريقة قرص الراتنج المشحون
فان مُولّدَي الكهربيّة الرّاكدة بسطحيْهما s وS
و بشكل متناسب, يحملان شحنات q و Q.
و بالتالي فما تباعد وريقات الذّهب الاّ نتيجة لذلك.



ثالثًا, نزع القطعة المحمّلة: نلاحظ بذلك بقاء
الشّحنة السّالبة الّتي تُبقي الوُريْقات متباعِدة.

نسمي هذا الجهاز بالمكهار ذو الوريقات الذّهبية. انّ التّباعد بين الوريقات يعطينا فكرة عن الشّحنة الكهربائيّة المحمّلة في أيّ معدن كان، ولكن لا يمَكّننا من معرفة نوع هذه الأخيرة.

و هل سوف يحافظ على شحنته الى أجل غير مسمّى؟

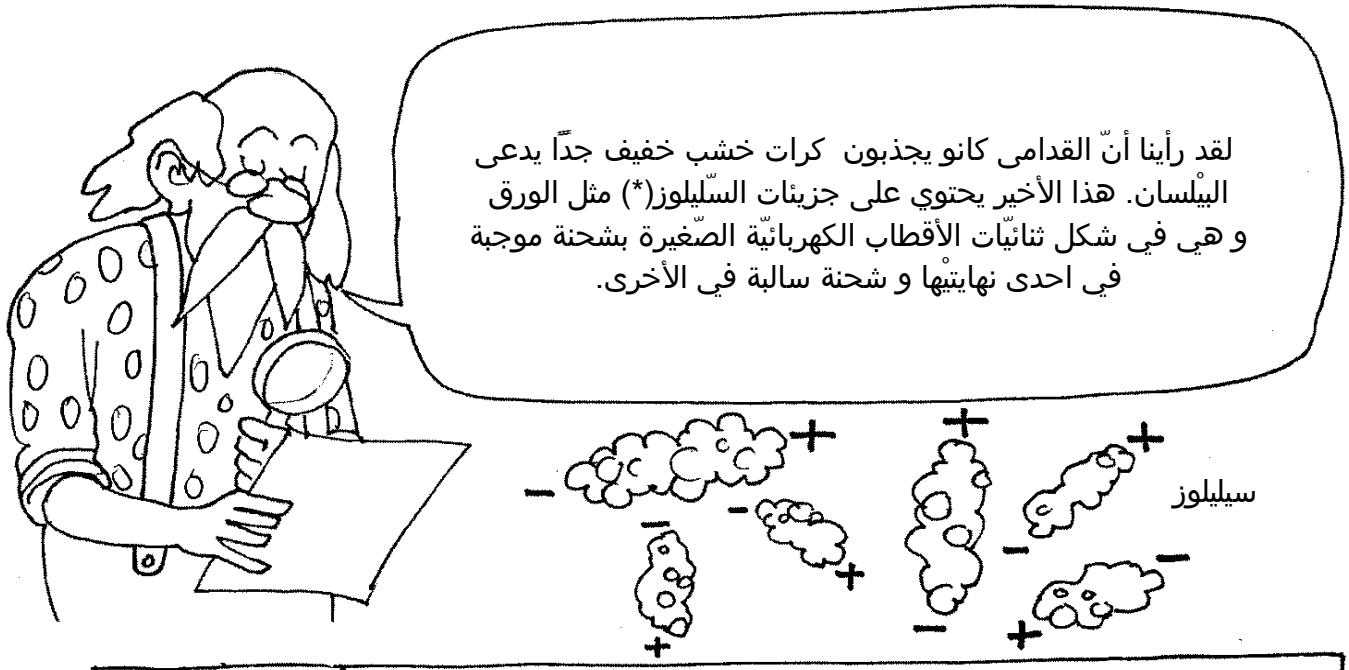
لا يعتبر الهواء عازلاً كاملاً لا سيما اذا كان رطباً, فبمرور الوقت تضيع الشّحنات.

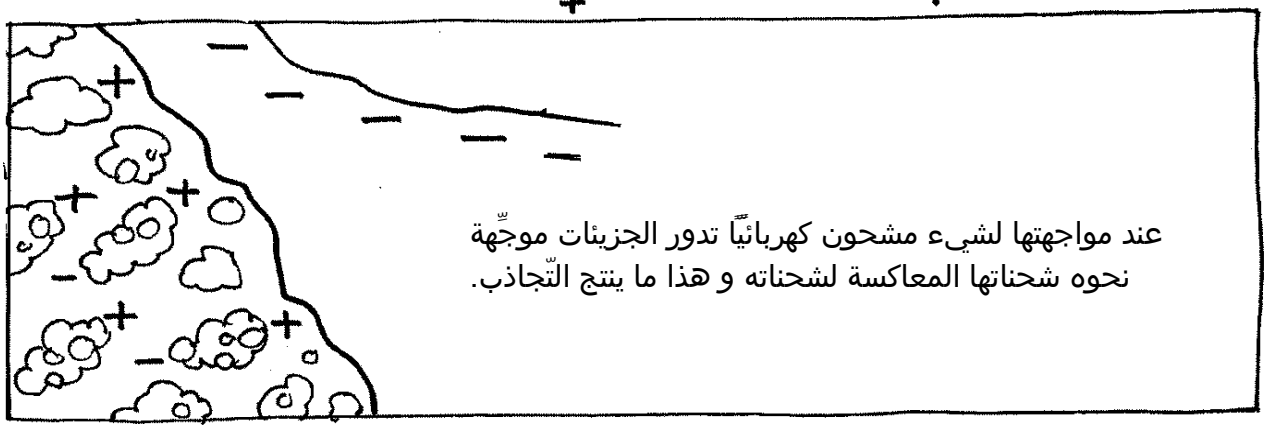
فراغ.

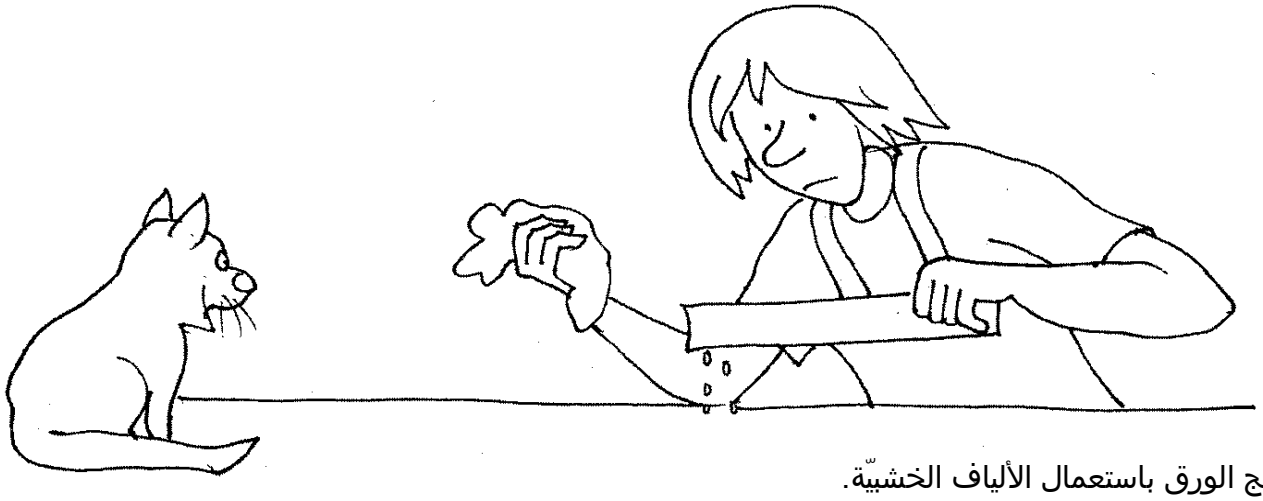
في المخبر, تُحفظ وريقات الذّهب في الفراغ.

جدي, لقد فهمت أنّه يمكننا كهربة مسطرتي الزجاجيّة بالفرك ولكن ما لم أفهمه هو جذبها للورق.

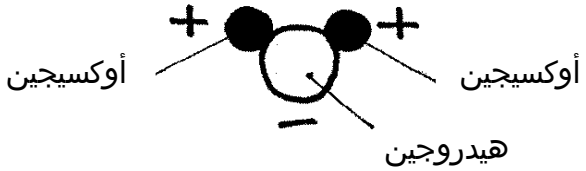
هذا سؤال جيّد.



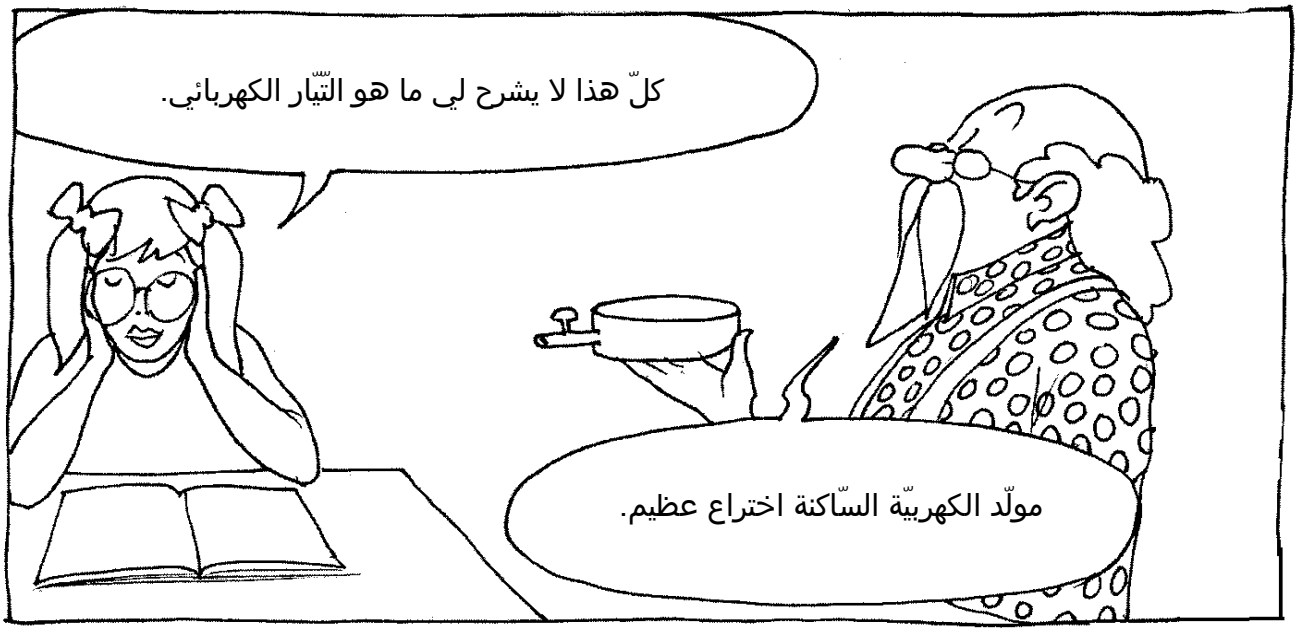


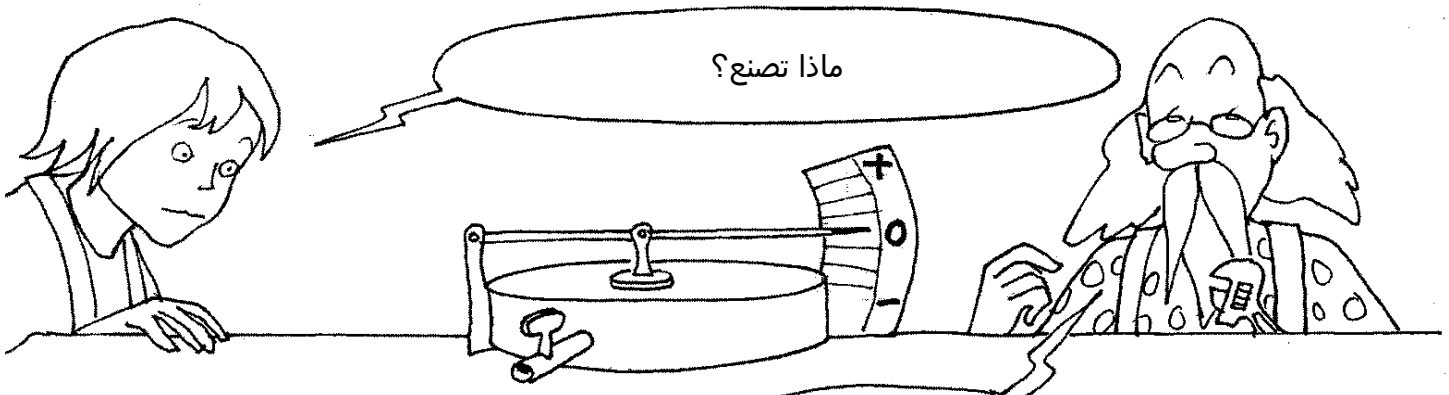


(*)يُنتَج الورق باستعمال الألياف الخشبيّة.

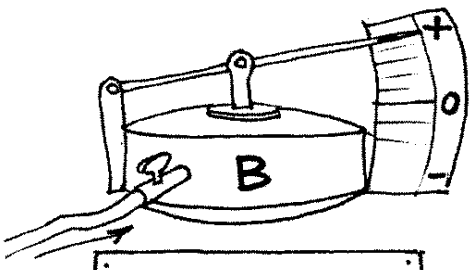


عندما يخضع جزيء الماء الى فعل شيء مشحون كهربائيًا فانه يتّجة نحوه منتجاً قوّة الجذب.



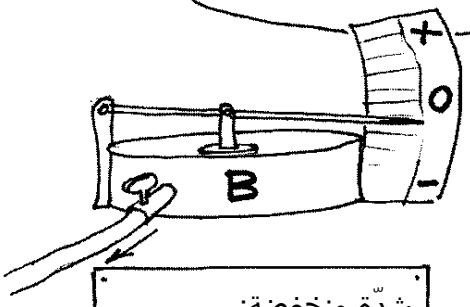


أصنع مولّداً للكهرباء السّاكنة.



شدّة زائدة:

شدّة موجبة في الغشاء

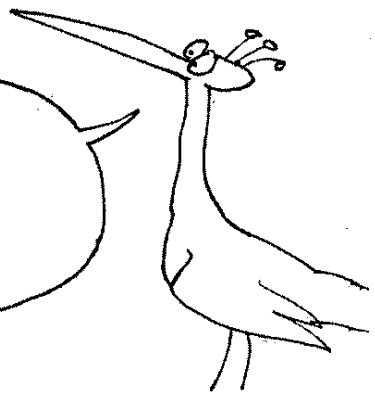


شدّة منخفضة:

شدّة سالبة في الغشاء

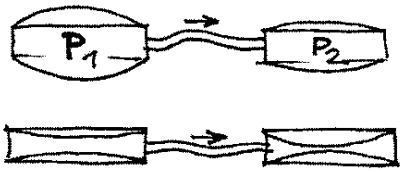
يا لهذا,انّه معروف, انّه جهاز قياس الضّغط ذو الغشاء.

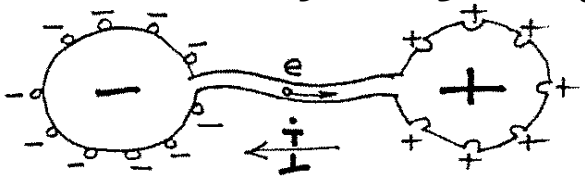
يتم الحصول على تيّار غازيّ اذا تمّ توصيل كلا الضّميمتين ب1 و ب2, كون احداهما تحت شدّة موجبة و الثّانية تحت شدّة سالبة.

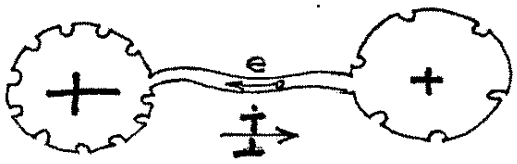


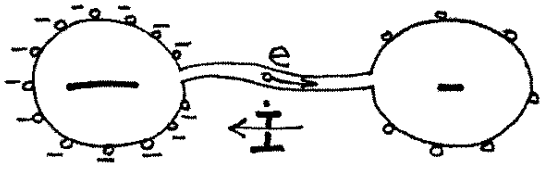
و لكن في الحقيقة ما يسبب انشاء تيّارٍ غازيٍ هو تباين الضّغطين ب1 و ب2 أو الفرق بين الشدّتين ف1 و ف2 المرتبطتين بالضّميمتين.

بالاضافة الى كل الحالات الوسيطة الأخرى









ينشأ التيار الغازي بين الضّميمتين انطلاقًا من أعلى ضغط نحو أدنى ضغط و لو أنّ كلا الضّغطيْن أدنى من الضّغط المحيط

سنجد كلّ هذه التّرتيبات بين مكثّفات مشحونة.
ايجابيًا (غياب الالكترونات) أو سلبيًا (زيادة الالكترونات).ا

خلاصة القول هو انّ تيار الجُسيْمات المشحونة ينطلق دائمًا من الوسَط الأغنى بالالكترونات الى الوسط الأفقر, و بمأننا أقحمنا أنفسنا في هذا منذ قرنين من الزّمن ,لم يبقى لنا سوى عكس اتّجاه تيّار الغاز الحُرِّ

يا لهُ من خطأ تافه, لم تكن لدينا سوى فرصة من اثنيْن.

و الآن اذا حاولنا عكس اتّجاه التّيّار الكهربائي فأهلاً بالكوارث, و لذا فضّلنا التخلّي عن الأمر.

ربّما في كواكب أخرى قاموا بالاختيار الأمثل.

هذا محتمل.

(*) تعتبر المكثّفات أسوأ أنظمة تخزين الطاقة على الاطلاق, فبأكبر الامكانيات المتوفّرة لدينا اليوم يمكننا بالكاد تحضير الشّاي لأربعة أشخاص.

بنيامين فرانكلين في فيلاديلفيا سنة 1750.

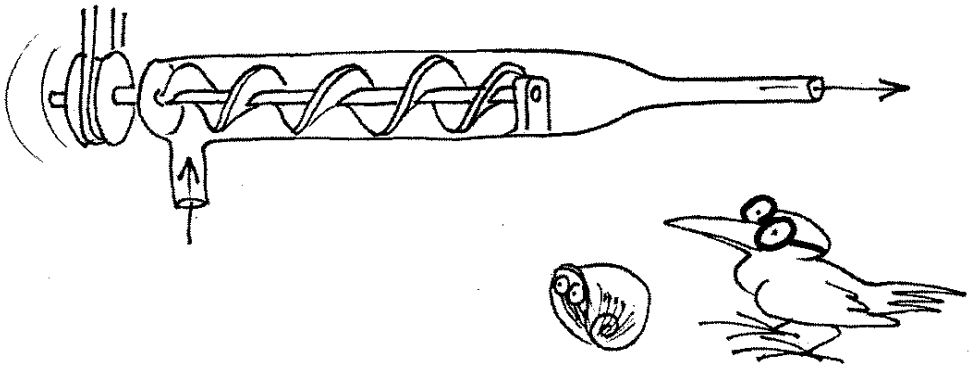
(*) لقد قامت باذابة المفتاح جزئيًا!

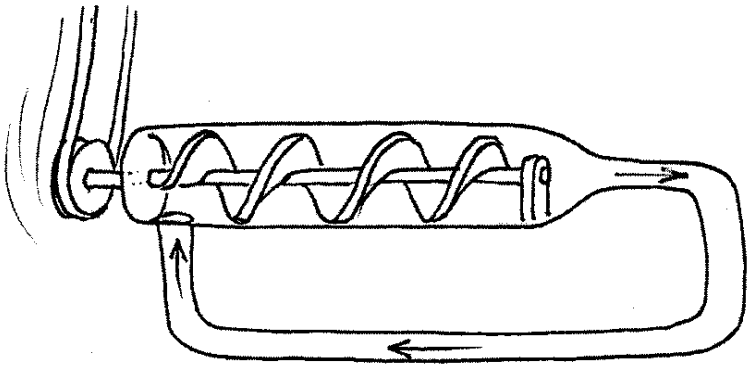
بمانّ بنيامين فرانكلين كان على حقّ مقارنة بمُنتقِديه فقد انتشر الخبر كالبرق و لكن لم يكن الكل حذرًا في تجاربه كما كان هو, فبعد سنة ن ذلك كان جورج ويلام ريشمان أوّل رجل يموت بصعقةٍ كهربائية

لقد قام هذا الأخير بنفس التّجربة ماسكًا بيده الخيط المعدني المتّصل بالطّائرة الورقية.

لنوّضح قليلاً, لقد بدأ كلّشيء في القرن الخامس قبل الميلاد مع طاليس الذي كان يجذب الأشياء الصغيرة بفرك الكهرمان. ثلاثة عشر قرنا فيما بعد عندما بدأ العلم يكتسب أهميّة في أروبا , أخذ الناس يفركون كلّ ما يقع بين أيديهم من راتنج و زجاج...الخ, لقد تعلّمو كيف يكدّسون الكهرباء داخل المكثّفات أوّلا يدويًا ثمّ باستعمال آلات قادرة على انتاج صدمات خطيرة, و لكن كان يجب انتظار ميلاد مصادر التّيار الكهربائي حتّى يتسنّى للكهرباء اتخاذ مكانتها في أنشطة الانسان عوضا عن كونها مصدر فضول فقط. لقد أخذ أوّل مصدر كهربائي طاقته من الكمياء و ذلك عبر اختراع الايطالي فولطا للبطاريّة سنة 1800 للميلاد, و بعده غرام و تسلا و غيرهم من الّذين اخترعوا اجهزةً تُحوِّل الطاقة الميكانيكيّة الى تيار كهربائي, ووصف مبادئهم يخرج عن نطاق هذا الكتاب و لكن بالنسبة لنا هل يتلخّص مولّد الكهرباء في مضخّة الكترونات؟ (*)

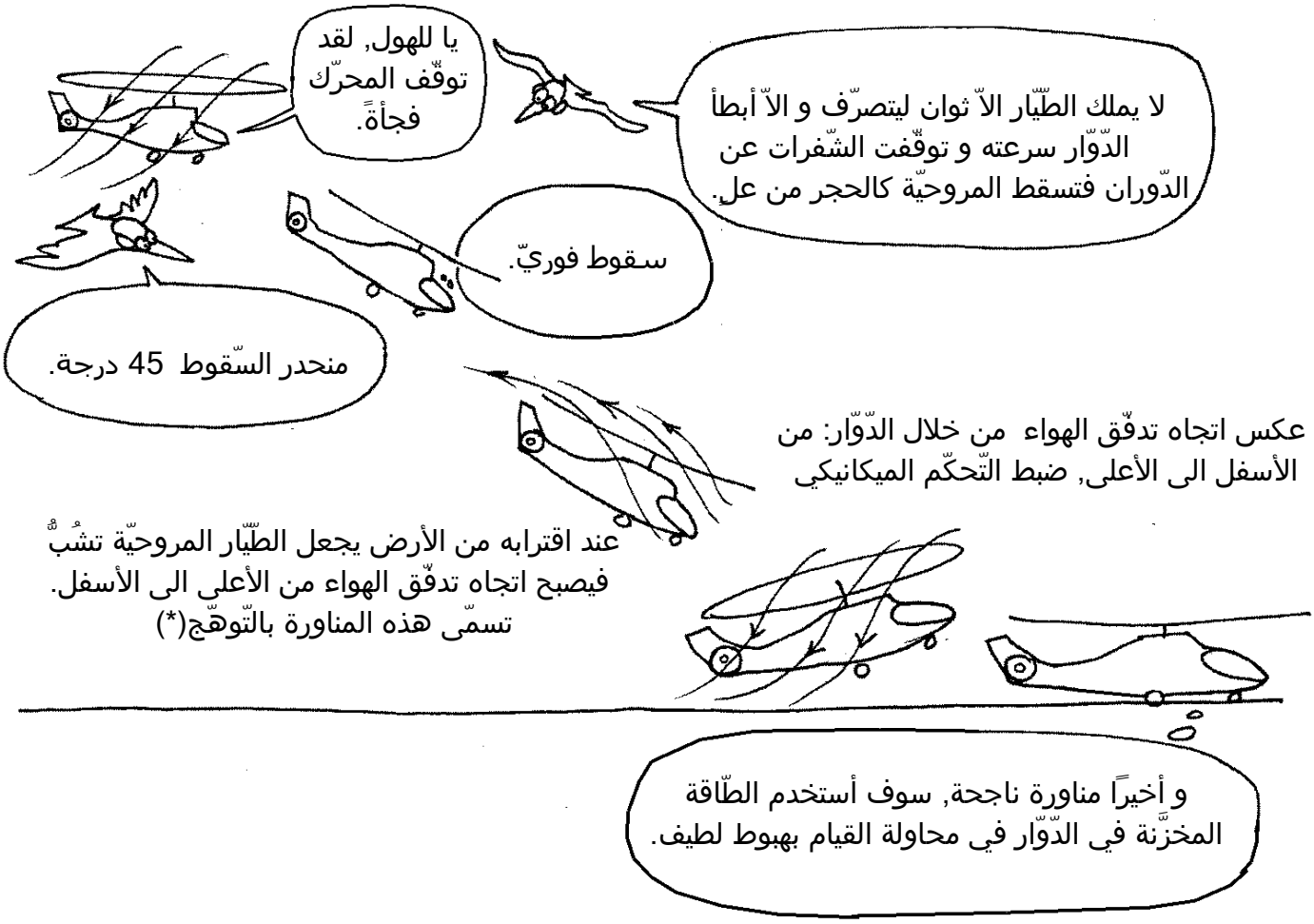
لا يمكن للمضخّة ان تعمل باستمرار الاّ بعودة المائع الّذي يجري فيها وهو ما يسمّى بانغلاق التيّار و الا كان دورانها في الفراغ.





(*) مضخّة الكترونات, مع الأخذ بعين الاعتبار انه بسبب الخطأ الذي حدث في القرن الثّامن عشر ,فقد اعطينا للتيار الكهربائي اتجاهًا عكس اتّجاه تدفق الالكترونات.

مصادر التيار الكهربائي المتواصل الخاص بالاستعمالات المنزلية هي البطّاريات الغير قابلة للشّحن و المركّمات القابلة للشّحن المتواجدة في السيارات, الأدوات و كل ما هو لا سلكي. في عالم السيّارات, تتطوّرالأنظمة الهجينة حيث تشحن المحرّكات التقليديّة المركّمات بصفة متواصلة و بذا تستطيع هذه الخيرة العمل بانتاجيّة أكبر و طاقة أقل. الفرنكو أُسترالي باسكال كريتيان(*)كان الرائد في المروحيّة الهجينة, وقد سمح هذا النظام بالتّغلّب على العيب الرئيسي لهذه الآلة الطائرة: عدم قدرتها على الهبوط بدون وقوع خسائر في حالة حدوث عُطل في المحرّك يحصل ذلك في منطقة الموت مما يجعل الهبوط الاوتوماتيكي مستحيلا. يمكن للطائرة المروحيّة أن تحلّق بطريقتها الخاصّة و ثمن ذلك القيام بانتقال حساس.



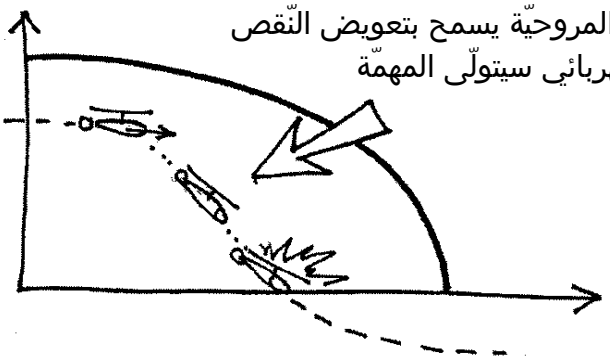
(*) Pascal Chrétien : pascal.chretien@swissmail.org

(*) La Passion Verticale : http://www.savoir-sans-frontieres.com (التّحميل مجّاني على الصّفحة)

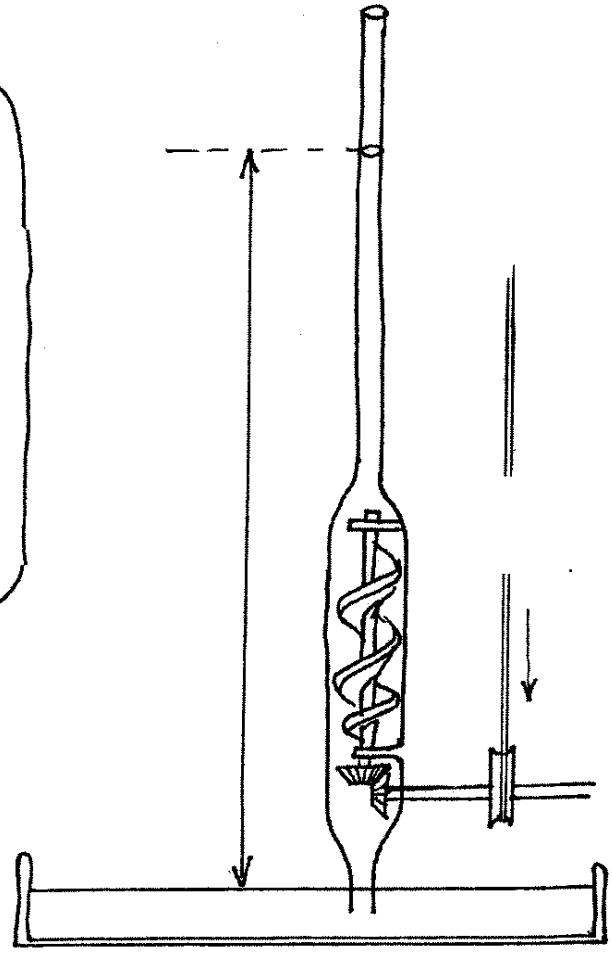
و لكنّ هذه المناورة لا يمكن ان تُطبّق الاّ اذا كنّا نتمتّع بسرعة 100كم/سا و نحن أقرب ما نكون الى الأرض, أمّا اذا كانت السرعة تساوي الصّفر و نحن على علوّ 100م أو كنّا في وضعيّة وسطيّة فانّ المروحيّة في منطقة الموت.

في منطقة الموت: من المستحيل القيام بأيّ انتقال, أيّ تشغيل أوتوماتيكي أو النّجاح في محاولة الهبوط السّليم.

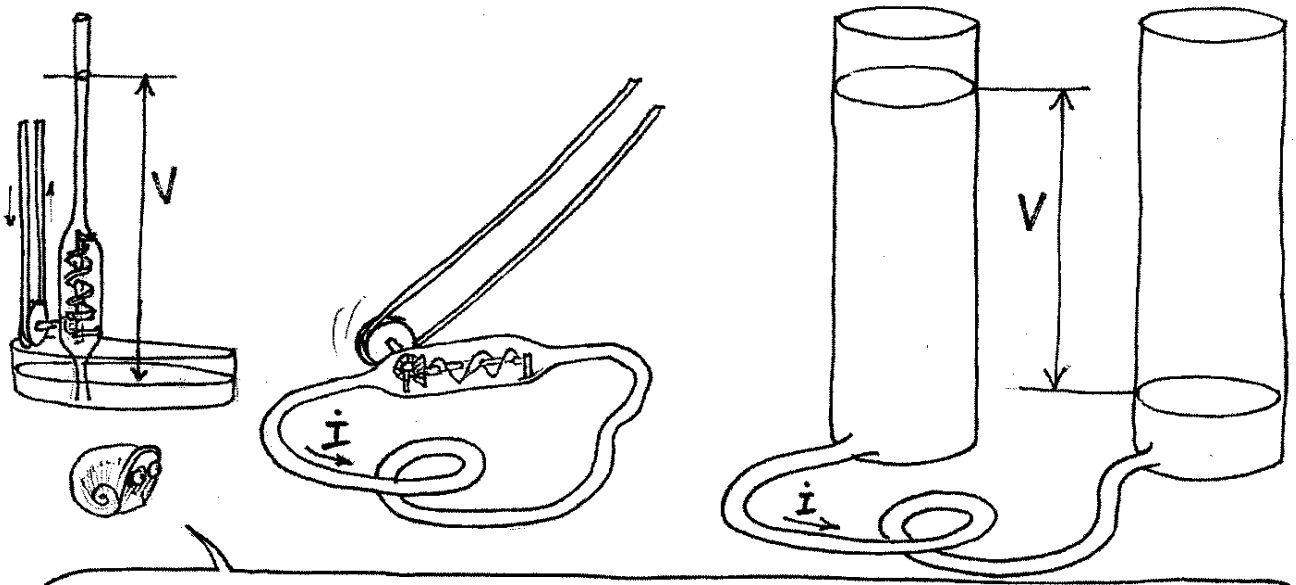
و لكنّنا نجد انّه في أغلب الأحيان, يعمل قائد المروحيّة في منطقة الموت. انّ وجود بطّاريّة ذات احتياطي طاقوي (كهربائي) بصفة مستمرّة على متن المروحيّة يسمح بتعويض النّقص الموجود في المحرّك التقليدي و بهذا فانّ المحرّك الكهربائي سيتولّى المهمّة و يجعل نسبة الخطر على المروحيّة معدومة(*)



القُوّة الكهربائية المحرّكة
الطّاقة الميكانيكيّة



(*)فكرة باسكال كريتيان سنة 2002م.

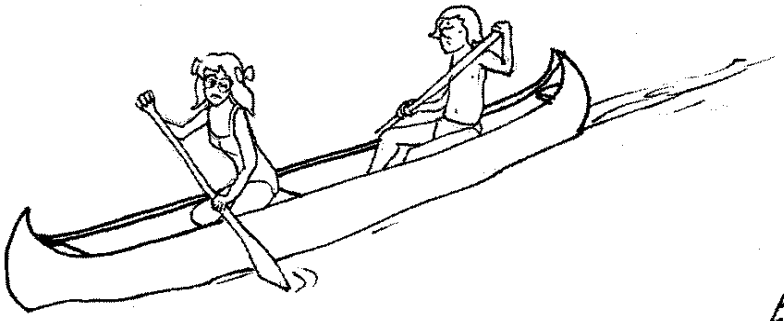


بايصال أنبوب ذو قطر « ق » و طول « ط » معلومان, نتحصّل على نفس التّدفّق « i » نظير الشّدّة الكهربائية بوصله بمضخّة نظيرة المولّد الكهربائي أو بخزّانيْن مختلفين في ارتفاع الماء المقابل لقوّة الرّفع عند المضخّة نظيرة القوّة الكهربائيّة المحرّكة.

على ذكر المشابهة في علم السّوائل المتحرّكة, ما الّذي يحُدّ من تدفّق الماء « i » في أنبوب معلوم لاختلاف ثابت أيضًا في ارتفارع الماء « v» (أو شدّة ادخال من طرف المضخّة؟)

انّه احتكاك الماء على جدران الانبوب.

تريد القول بأنّ الماء يحتكّ...داخل الانبوب؟



عندما تقوم انت و صوفي بالتّجديف في البُحيْرات فلا شكّ انّكما تدفعان بقُوّة على المجاديف للتغلُّب على احتكاك الماء مع هيكل المحذور و عندما تتوقّفان عن التّجديف فمحذورُكما لا يستغرق وقتا طويلاً ليتوقّف, أليْس كذلك؟

بفعل هذا نحن نستعمل طاقة نحوّلها الى مائع, و لكن أين تذهب بعدها؟ الى ماذا تتحوّل بدورها؟

هذا يُحدِث دوّامات, لنسمّي هذا بطاقة الدّوّامات.

نعم و لكن تختفي هذه الدّوّامات في آخر المطاف فالى ما تتحوّل هذه الطّاقة؟

انّها تتحوّل الى حرارة, فبالتّجديف تُسخّنون مياه البركة في نهاية الأمر ولكن ليس كثيراً فالماء ذو قدرة كبيرة في توليد الحرارة.

الاحتكاك هو الظّاهرة الّتي من خلالها تُحوِّل الطّبيعة الطّاقة الميكانيكيّة الى طاقة حراريّة أي الى حرارة, و هذا ما نقوم به عندما نفرك يدينا في البرد بُغية التّدفئة. يمكننا أيضا اذابة الجليد بفركه.

هل أنت جاد؟

عندما نكون على منحدر ذو ميْل ضعيف للتّزحلق على الثّلج و يكون علينا تطبيق ضغط صغير لايجاد فعل التّزلُّق, فهذا ليس لدفع الزّحلوقات و لكن لاذابة طبقة رقيقة من الثّلج التي تلامس الزّحلوقات بفضل الحرارة الناتجة عن الاحتكاك. و بالتّالي فانّنا لا نتزحلق على الثّلج و انّما على طبقة مائيّة رفيعة لها قابلية سريعة للتّجمّد مجدّدًا.

لقد اعطاني هذا فكرة.

ماري, هل تعلمين أنك بتحريك الملعقة في صلصة المايونيز تَرفعين من حرارتها؟

أوه, ليس بكثير فالمايونيز ذات قدرة عالية في تو ليد الحرارة.

و ما علاقة كل ذلك بالكهرباء؟

أرجو أن لا تقول لي انّه حتّى الالكترونات التي تتدفّق في سلك كهربائي تحتكّ بالغمد العازل لهذا الأخير.

تشكّل الشّبكة الثّابتة لذرّات المعدن حواجز عديدةً تكبَح تقدّم الالكترونات, و بتداخلها مع بعضها البعض بشكل مستمر تُحوّل الالكترونات شيئًا من الطاقة الى ذرّات المعدن.

BiNG!

تدخُل الشّبكة بأكملها في اهتزاز.

و لكن أنّى لذرّات المعدن اكتساب الطّاقة و هي لا تتحرّك؟

عندما أضعُ المِكواة على خدّي لا أُحِسّ أبدًا بهذه الاهتزازات.

و لكنّ ذرّات خدّك تحِسّ بذلك.

اذا أردنا أن نُكوِّن تشابهًا كاملاً بين الكهرباء و علم السّوائل المتحرّكة, يجب علينا أن نجعل سائلاً ما يدور في وسط مَسامي بحيث تكون مساميّتُه مساويةً لموصِليّة(*) معدن ناقل للكهرباء.

اختلاف الضّغطيْن ض1-ض2 هو ما يعادل
فرق الكمون كم1-كم2 و تدفّق التيّار السّائل
تد هو ما يعادل الشّدّة ش للتيّار الكهربائي

فيصير السّؤال:
من أجل فرق في الشّدّة ش=ض1-ض2 بناقل ذو مساميّة $\pi = 1 / \rho$
ذو طول ط و مقطع مق ماذا سيكون التّدفّق تد؟

أوّلاً كلّ ما كانت المساميّة π كبيرة (أو الموصلية الكهربائيّة) كان التّدفّق σ أكبر(الشّدّة الكهربائيّة) ,كلّما كان الانبوب اطول ازداد مرور السّائل(او الالكترونات) فيه صعوبةً و نفس النتيجة تنطبق في حالة ما اذا كان المقَطع صغيرًا.

ما ذا تقول عن قانون كالآت:

$$\text{التّدفّق تد} = \frac{\text{الفرق في الشّدّة (ض1-ض2)ا}}{\text{المقاومة النّوعيّة } \rho \times \text{الطّول ط/ المقطَع مق}}$$

هذا قانون جيّد. و لكن على ما ذا نحصل بتطبيقه على الكهرباء.

(*)المقاومة النّوعيّة هي عكس الموصليّة.

ينطبق القانون على الكهرباء في كلّ النّقاط:
الشّدّة الكهربائية ش=كم1-كم2 و هو فرق الكمون
المقاومة النّوعيّة ρ x الطّول ط\ المقطَع مق

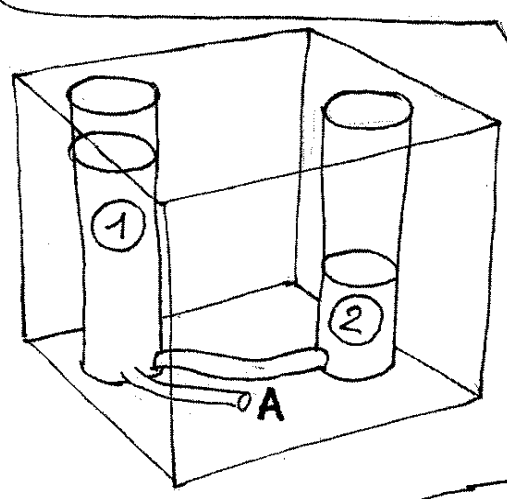
بمعنى آخر, تُحسَب مقاومة تقدّم مائع
ما داخل أنبوب بالقاعدة نفسها التي
تُحسَب بها المقاومة الكهربائيّة لسلك التّوصيل.

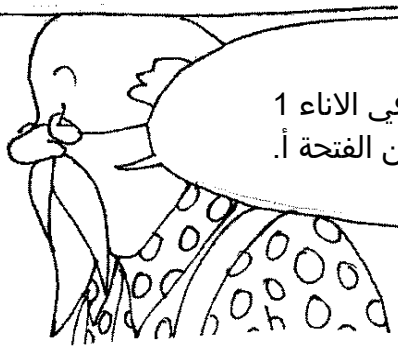
انتظر فهناك ما لا أفهمه في مشابهة علم السّوائل.
المتحرّكة, لجعل سائل يتدفّق في أنبوب أو قناة
مساميّة لا أحتاج الى خزّانيْن بمستويَيْن مختلِفيْن

ولكن اذا وضعنا أحد سلكيْ التّوصيل
في الهواء فسيتوقّف تدفّق التيّار.

لقد نسيت شيئاً:

ليس الهواء بالنّاقل و لكنّه عازل, و لتُتِمَّ المشابهةعليك اغراق التّركيب في مادّة لدِنة او زجاجيّة.





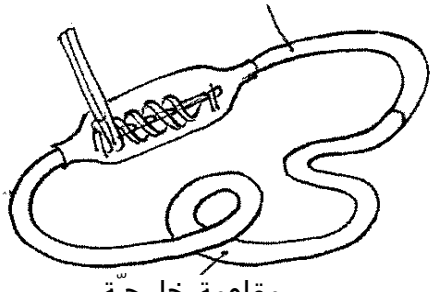
السّائل الموجود في الاناء 1
لا يمكنه التّدفّق من الفتحة أ.

المقاومة الدّاخليّة

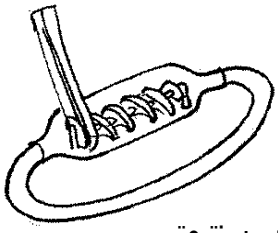
اذا وضعت شفرات البطّاريّة هذه في دارة
قصيرة فالتيّار النّاتج لابد أن يكون عالي الشّدّة
و بالتّالي تفرغ البطّاريّة بسرعة, أليس كذلك؟

لا,فمهما كان المولّد الكهربائي فانّه يملك مقاومة داخليّة
غير معدومة تفرض أقصى حدّ يمكن للتيّار ارساله.

مقاومة داخلية



مقاومة خارجيّة

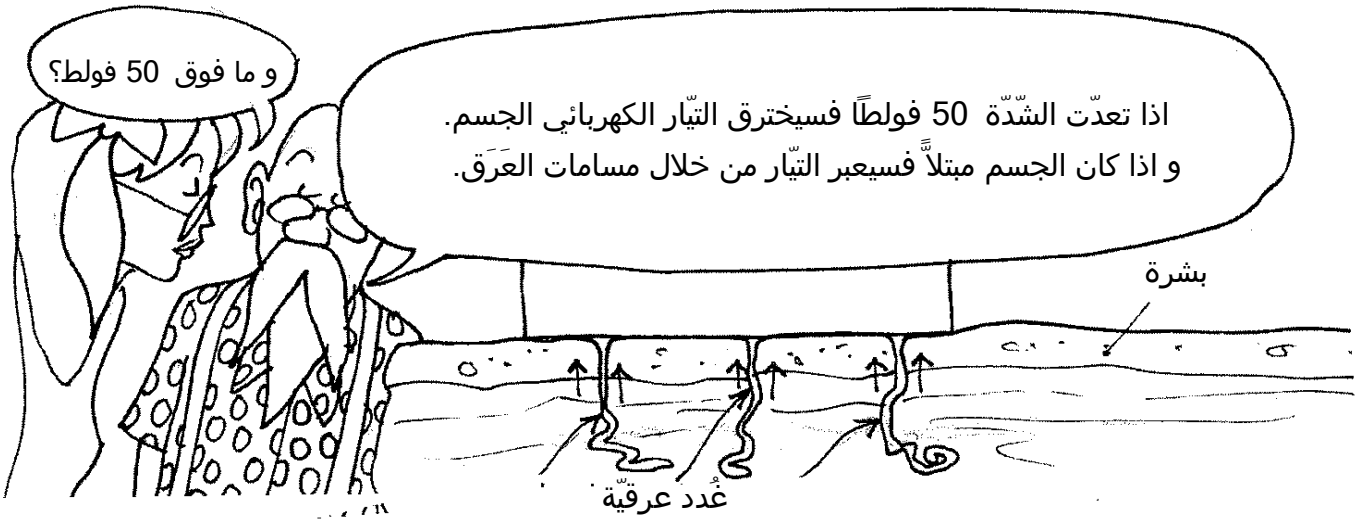


مولّد ذو دارة قصيرة لمقاومته الدّاخليّة.

(*)لتسوية شحنة كهربائية بين قطبين متباعدين بسنتيمتر
واحد يجب توفّر شدّة 20000 فولط.

1780
يا الاهي, انّ ساقي الضّفدع تتحرّك تحت تأثير فعل الكهرباء!
بالفعل, فقبل أن يخترع اليسّاندو فولطا البطّاريّة,اكتشف لويجّي غلفاني بأنّ العضلات تتقلّص عندما تعبُرها تيّارات ضعيفة.
?!?
ما ينطبق على الضّفادع ينطبق أيضاً عل البشر و الحلزون.

اذا لمسنا مصدراً للتيّار ذو شدّة أقل من 50 فولط فانّه لا يُشكّل خطراً البتّة بشرط ان تكون الأيدي جافة.
24V
يحتوي الجسم البشري على عدّة عناصر ناقلة للكهرباء
كالأعصاب, الأوعية الدّمويّة, العضلات و الأحشاء.
يلعب الجلد دور العازل في الشّدّات الاقل من 50 فولط.



هذا التّغيّر في النّاقليّة يُستعمِل كآليّة في كاشف الكذِب (يعرَق النّاس في حالة الكذب أو الانفعال العاطِفي) كما تستعمله الطّائفة الدّينيّة المُسمّاة بالعِلمولوجيا, و يُدعى هذا الجهاز لديهم بالمقياس الكهرُبي النّفسي.

تعتمد درجة خطورة الاضرار المُلحَقة بالجسد (*) على شدّة التيّار الكهربائي.

جزءٌ من الألف للأمبير لا يسبّب الاّ دغدغة خفيفة,امّا بعض أجزاء المئة منه فتسيطر على العضلات في حين تبقى اليدان ملتصقتان بالسّلك النّاقل أمّا الحجاب الحاجز فيُشَلُّ موقفًا عمليّة التّنفُّس مما يتسبّب بالموت اختناقًا. يسبّب التيّار المتدفّق في الجسم تلفًا في الأعصاب و حرقًا للعضلات.عندما تبلغ شدّة التيّار عشرة امبير, يتوقّف القلب عن النّبض أو يصير خفقانه غير متّسق و هو ما يُسمّى بالرّجفان.

(*)يموت سنويًا 200 شخص في فرنسا بصدمات كهربائيّة
(**)مِلفّ رومخورف

يكمن السّبب في أنّ مقاومة الجهاز الدّاخليّةعالية جدًّا فتُحدّد شدّة التيّار بجزء من الألف للأمبير, و هذا حتّى و ان وصلناه بشيء ذو ناقليّة عالية للكهرباء.

شدّة عاليّة

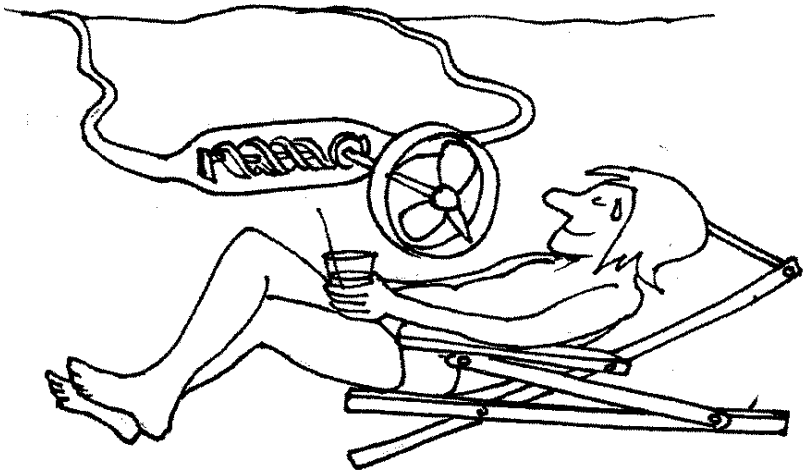
مقاومة دخليّة

مقاومة خارجيّة

ما يُضيَّع في السّلك النّاقل

انّ رسمنا للمضخّة لم يكن بالصُّدفة, فبُرغيّ أرخميدَس لا يلامس الجدار الدّاخلي و بالتّالي فحتى لو قمنا بالتّدوير بسرعة ثابتة فانّ التّدفّق مُحدّدٌ بالاحتكاك مع الانبوب الذّي يعارض مقاومة التيّار المائع. لو كانت هذه المضخّة موصولة بأنبوب رفيع فالتّدفّق نحو هذا الأخير سيكون معدومًا.

يضمن نقل الكهرباء لمسافة بعيدة وظائف عديدة. التّدفئة, الانارة (بتسخين خيط المصباح القابل للتّوهّج)و انتاج الطّاقة الميكانيكيّة بالاستعانة بمحرّكات كهربائيّة.

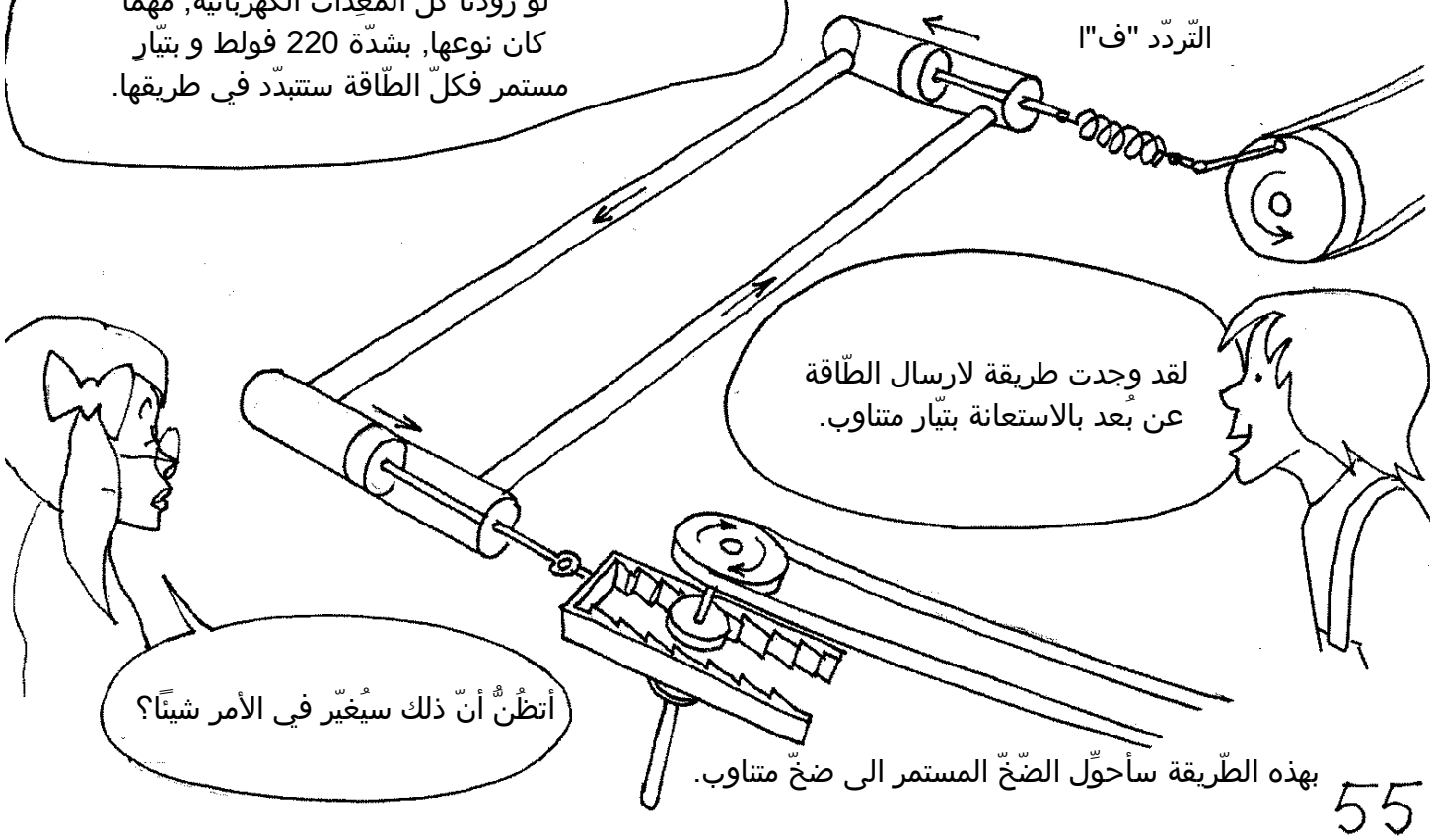


اذا كان خطّ الامداد طويلاً جدًّا فسيصبح مصدر احتكاكٍ بالكاد يسمح للمائع بالتّدفّق و بالتّالي فكلّ الطّاقة ستتبدّد في طريقها بالاحتكاك و لن تنفع الاّ في رفع درجة حرارة المحيط.

مصدر تيّاري المتواصل يتواجد على مسافة مئة متر, وقد أصبحت مقاومة خطّ الامداد كبيرةً لدرجة أنّ التّيّار بالكاد يمرّ.

لو زوّدنا كل المُعِدّات الكهربائيّة, مهما كان نوعها, بشدّة 220 فولط و بتيّارٍ مستمر فكلّ الطّاقة ستتبدّد في طريقها.

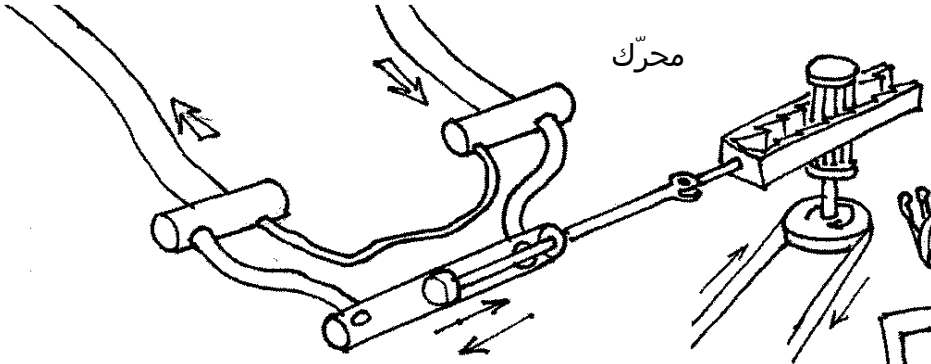
التّردّد "ف"ا



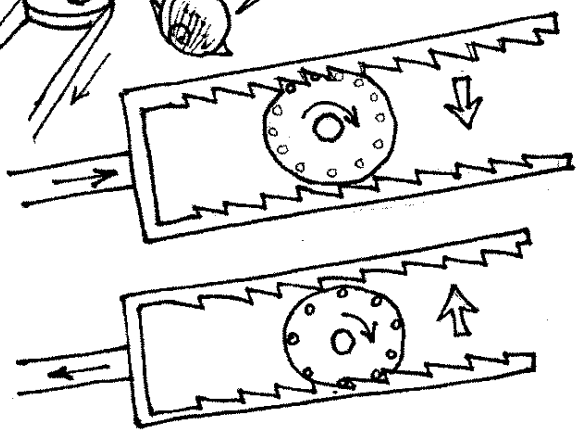
لقد وجدت طريقة لارسال الطّاقة عن بُعد بالاستعانة بتيّار متناوب.

أتظُنُّ أنّ ذلك سيُغيّر في الأمر شيئًا؟

بهذه الطّريقة سأحوِّل الضّخّ المستمر الى ضخّ متناوب.

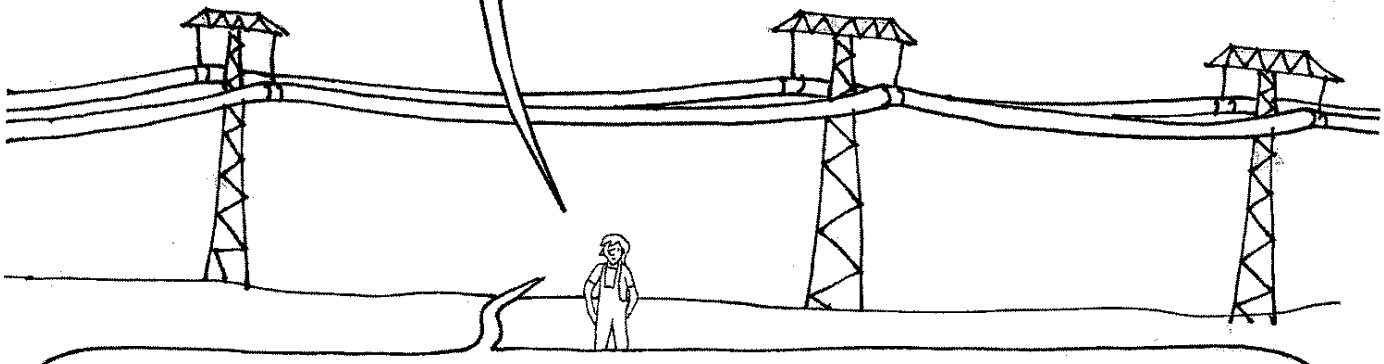


لماذا البساطة عندما يمكننا التّعقيد؟

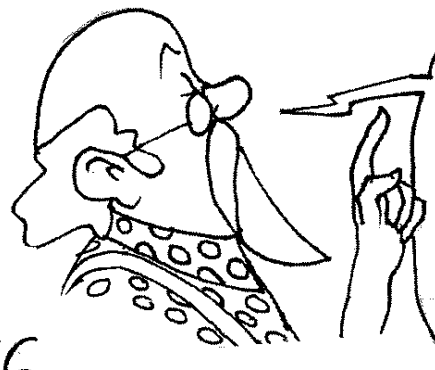


يسمح هذا العادم بتحويل حركة خطّيّة متناوبة الى حركة متناوبة متواصلة (كان هذا يُستعمل في السّاعات ذوات عجلات الاتّزان)ا

كنت اظنّ أنّ التيّار المتناوب يسمح بنقل الطّاقة لمسافات بعيدة بطريقة أسهل, و لكن حتّى على هذا المنوال يضيع كلّ شيءٍ في طريق الامداد بفعل الاحتكاك و في آخر المطاف فأنّي أدقّئ العصافير الصّغيرة.

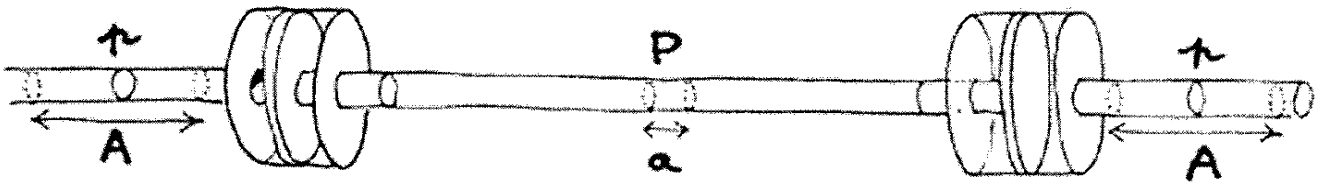


ما يجب فعله هو التّقليل من الطّاقة الضّائعة بفعل الاحتكاك, بمعنى آخر مدى حركة الذّهاب و الاياب لمائعي, أي التّدفّق بتردّدٍ مستمر بمعنى الشّدّة, و لكن اذا خفّضنا الشّدّة-التّدفّق ماذا سيبقى من القوّة؟

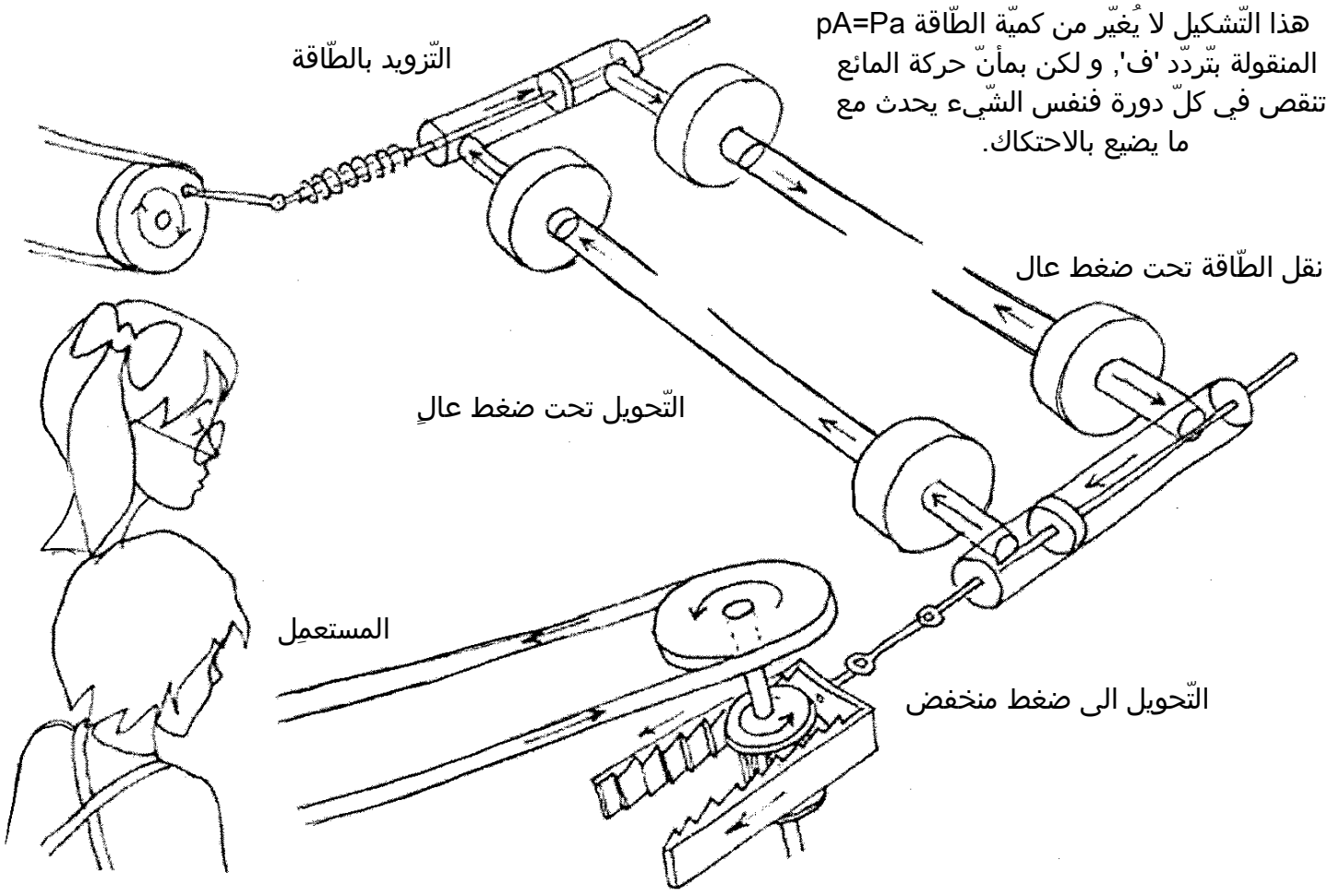


لقد نسيت شيئًا يا أنسالم, الضّغط ليس فقط قوّة في وحدة المساحة فهو أيضًا كثافة الطّاقة في وحدة الحجم. ان خفّضت التّدفّق الحجمي i مع زيادة الضّغط يمكنك الحفاظ على التّدفّق الطّاقوي.

الحل موجد في الأسطوانة, يمكن لهذه الأخيرة تحويل حركة بمدى كبير A وضغط صغير p الى حركة بمدى صغير a و ضغط كبير P



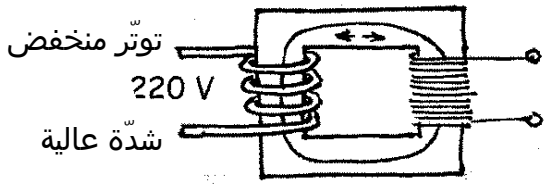
هذا التّشكيل لا يُغيّر من كميّة الطّاقة pA=Pa المنقولة بتّردّد 'ف', و لكن بمأنّ حركة المائع تنقص في كلّ دورة فنفس الشّيء يحدث مع ما يضيع بالاحتكاك.



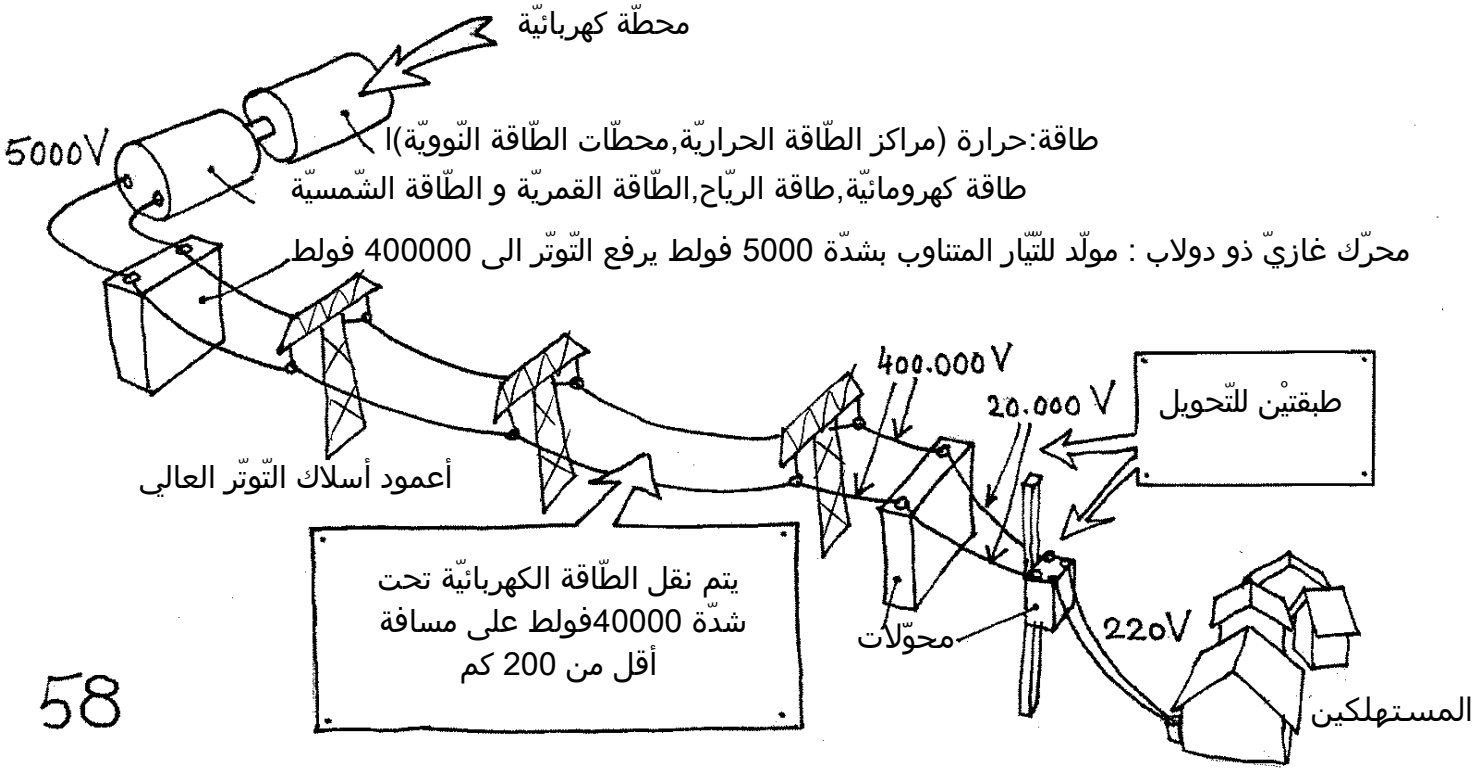
في عالم الكهرباء, نقل كتلة مائعة, غير مضغوطة سيعَوَّض بنقل شحنات كهربائيّة. في ناقل للتّيار المتناوب, تنشُط الشّحنات الكهربائيّة بما يشبه حركتيْ المد و الجزر, تحلّ كلمة شدّة مكان التّدفّق و كلمة جهد كهربي مكان الضّغط.يقوم المحوّل الكهربائي بتحويل التيّار بطريقة تحافظ على النّاتج مبدأ العمليّة يستدعي تدخُّل الكهرومغناطيسيّة و لكنّها خارجة عن نطاق هذا الكتاب v x i

التّيّار المتناوب و فضائله

تعمل المحوّلات بتيّارات متناوبة فقط.



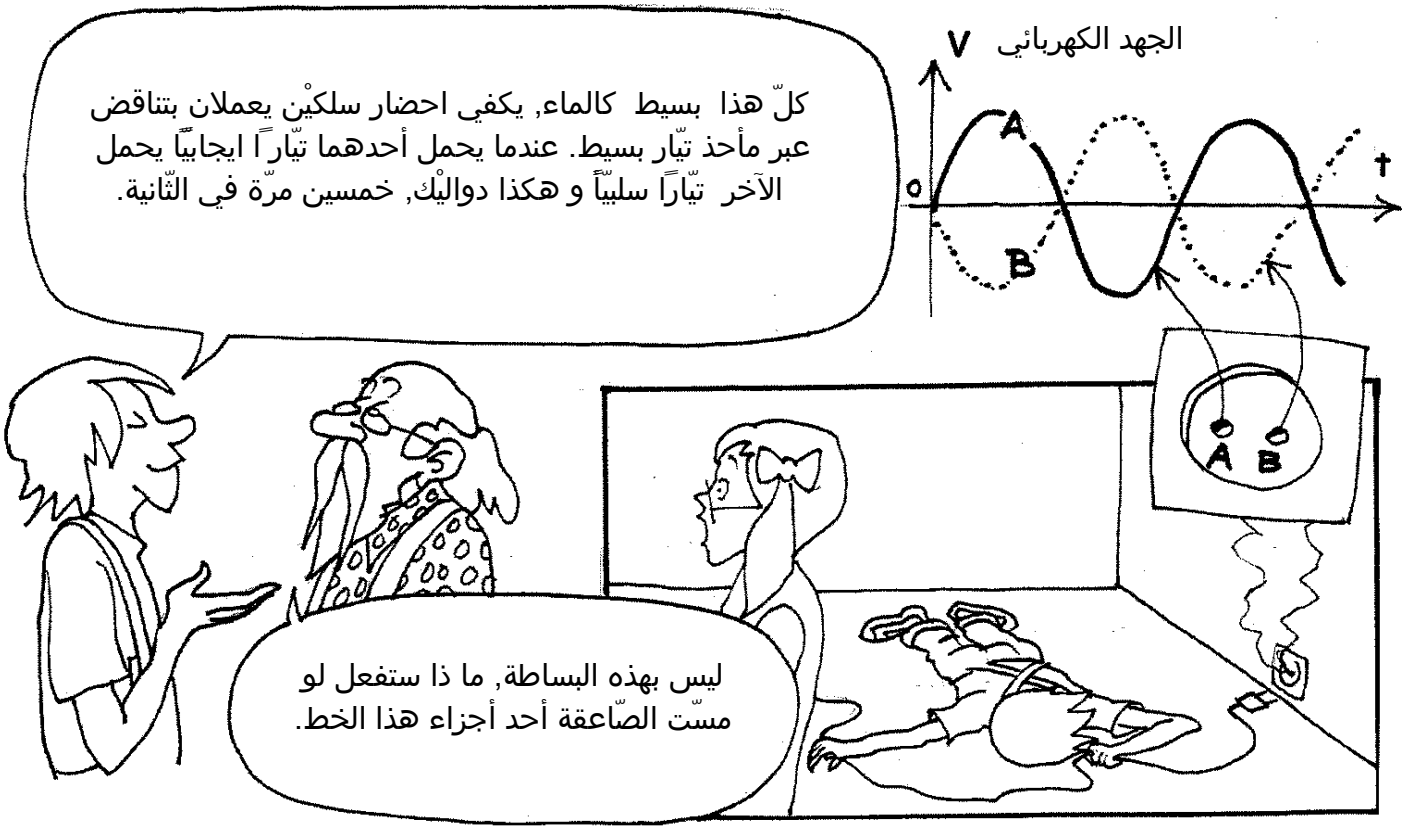
اليكم ما يشبه المحوّل, لدين دارتين موصولتين بحقل مغناطيسي متناوب يتحلّق في نواة حديد ليّن. اذا كان مصدر القوّة (دارة أوّليّة) على اليسار و المخرج على اليمين (دارة ثانويّة), يعمل النّظام كرافع للشّدّة الكهربائيّة $V_1 I_1 = V_2 I_2$. أمّا ان حدث العكس بمصدر على اليمين و مخرج على اليسار فانّ النّظام سيعمل كخافض للشّدّة الكهربائيّة, و هذا يسمح بنقل القوّة الكهربائيّة على شكل تيّارمتناوب في 50 فترة (*) تحت ضغط جدّ عال (400000 فولط) و شدّة بحوالي مئة أمبير لكلّ ناقل و على مسافات لا تزيد عن 200متر مع وجود شبكة مزوّدة بمحطّات كهربائيّة في عدّة نقاط منها



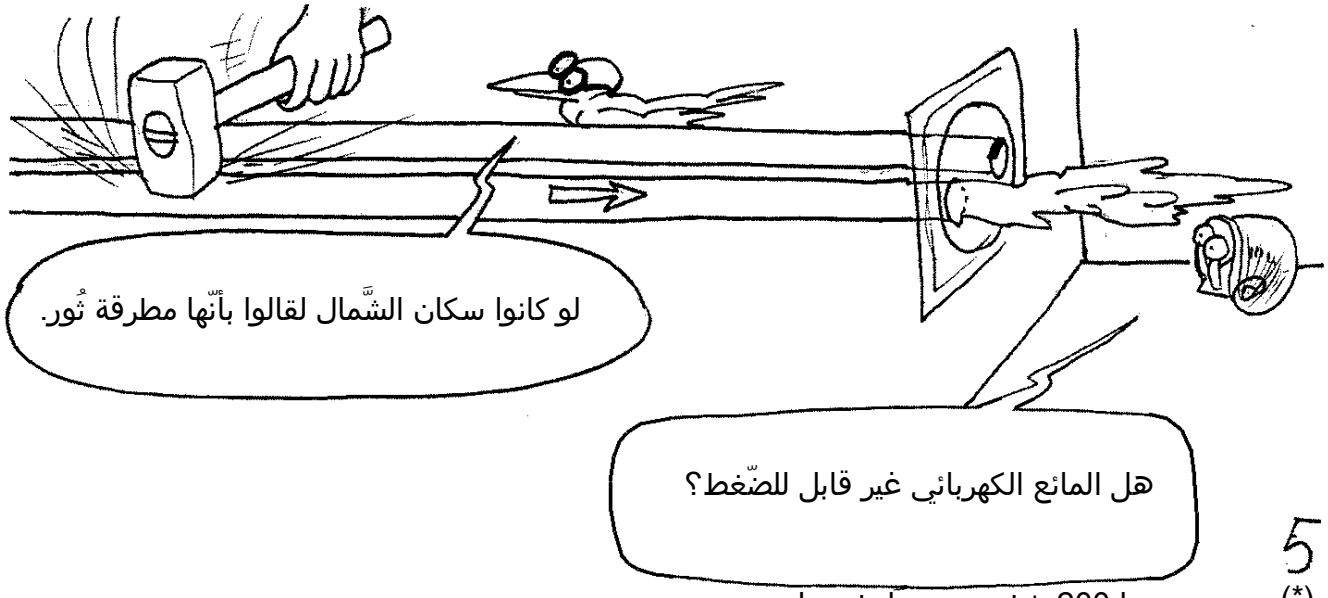
طاقة:حرارة (مراكز الطّاقة الحراريّة,محطّات الطّاقة النّوويّة)ا
طاقة كهرومائيّة,طاقة الرّيّاح,الطّاقة القمريّة و الطّاقة الشّمسيّة

محرّك غازيّ ذو دولاب : مولّد للتّيّار المتناوب بشدّة 5000 فولط يرفع التّوتّر الى 400000 فولط.

خطوط 400000فولط تخدم مناطق واسعة, ثمّ تاتي خطوط 20000فولط لتُغطّي المدن الصّغيرة أو المناطق الاداريّة للمدن الكبيرة. في الأخير تأتي طبقة من المحوّلات (كبيرة بحجم الغسّالات معلّقة على أعمدة من الاسمنت) تغذّي حوالي اثناعشرة منزل.



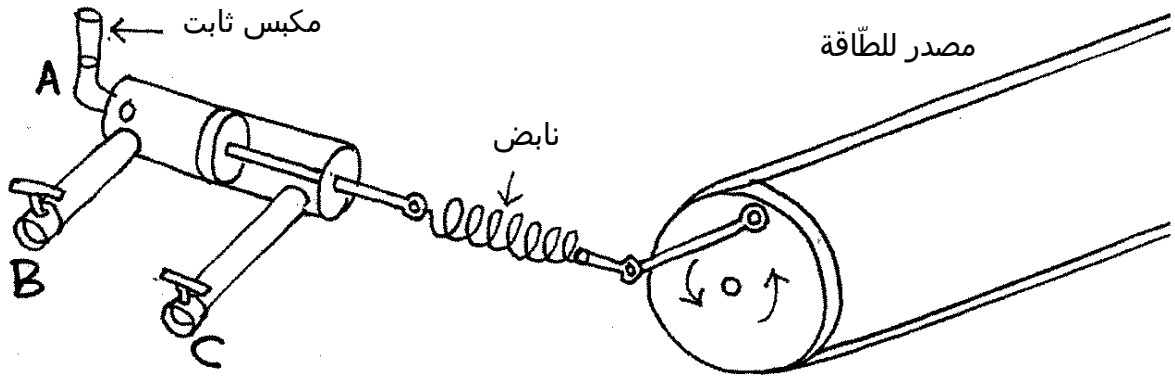
الصّاعقة ظاهرة يجب اتّخاذها بجديّة تامة . هذه ليست تجربة مخبر عاديّة, لو عُدنا الى مسألة المشابهة في علم السوائل المتحرّكة لوجدنا انّ هذا يقابل ضربة مظرقة قويّة على أحد الأنابيب النّاقلة للسّائل : نطحة كبش حقيقيّة.



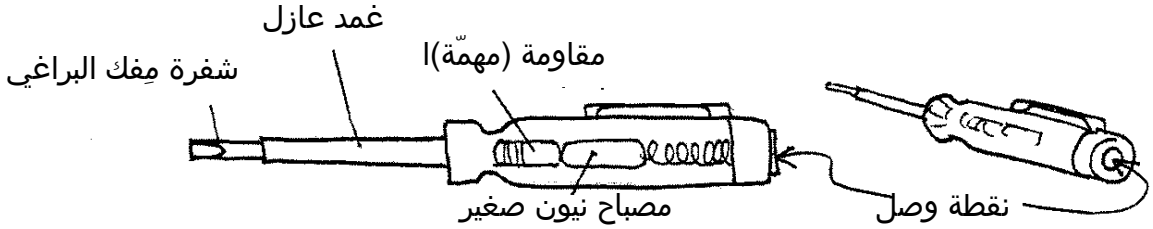
(*) يموت بسببها 200 شخص سنويا بفرنسا.

في الكهرباء ما يُعرف بالأرض هي القدرة الهائلة الى حيث يمكننا صبّ شحنات كهربائيّة أو من حيث يمكننا استخلاصها دون اللّجوء الى التّغيير في الجهد الكهربائي و الّتي ننسب اليها اعتباطيًّا القيمة صفر. في علم السّوائل المتحرّكة, ما يقابل ذلك هو حجم كبيرٌ للغاية بحيث لا يمكننا تغيير ضغطه....لنأخذ الجوّ. بالتّالي فانّ التّأريض يصبح عمليّة ارسال في الهواء الطّلق

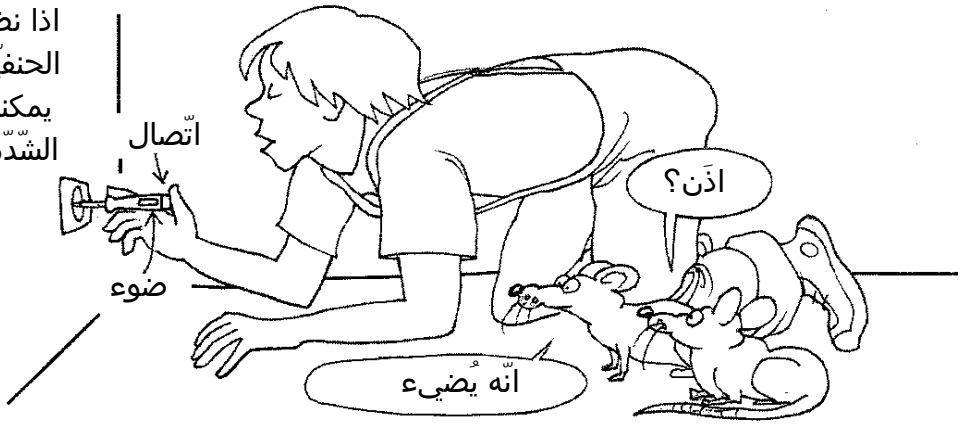
الارسال في الهواء الطّلق



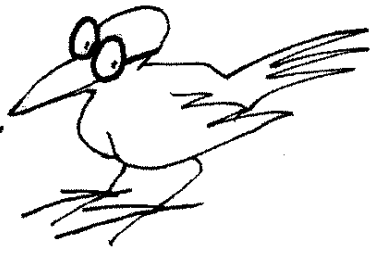
اليكم تفسير سرّ لا يفهمه الاّ قِلّة من النّاس. مأخذ تيّاركم مُزوَّد بتيّار متناوب, عندما لا يكون موصولاً بأيّ جهاز كهربائي أو بجهاز التّدفئة المركزي, يمكنكم استعمال مفك البراغي الفاحص لتُدركوا أنّ طوراً واحداً فقط من المأخذ يحمل تيّارًا و الطّرف الآخر الحيادي لا تيّار له.

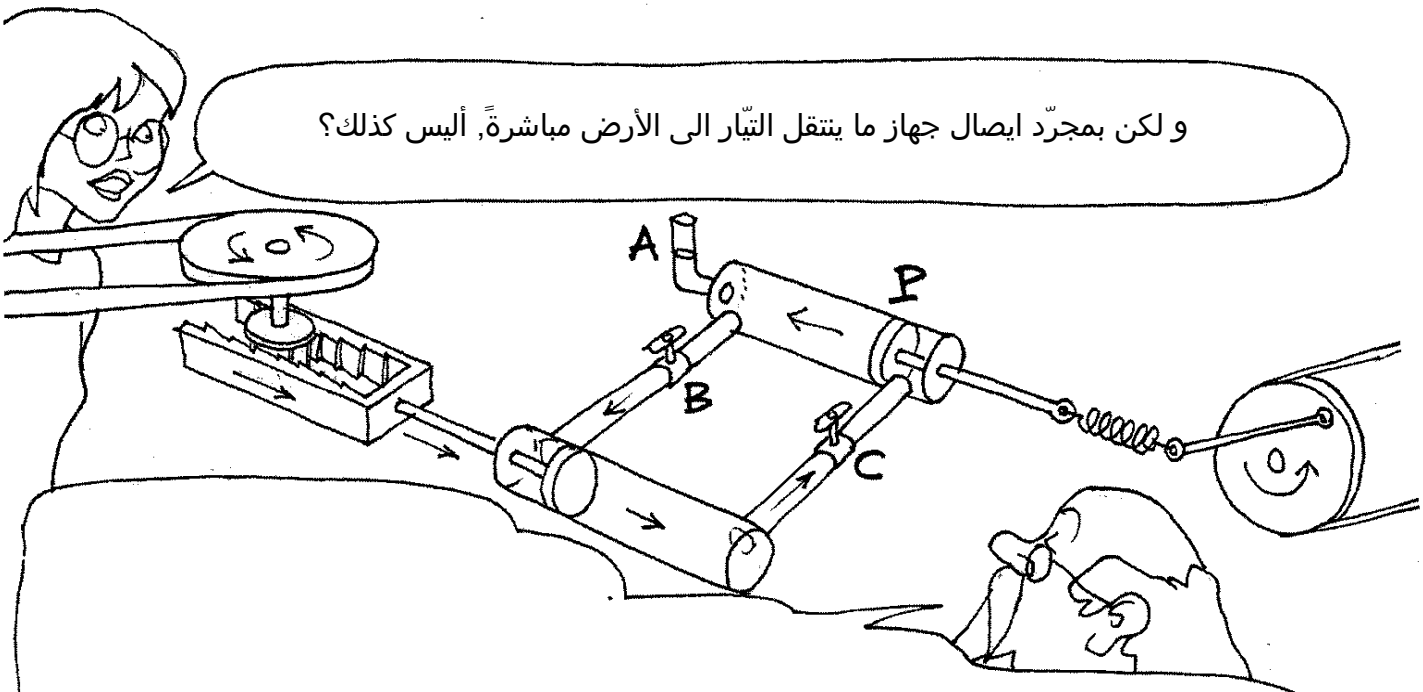


اذا نظرتم الى الشّكل اعلاه ستلاحظون أنّ الحنفيّتيْن B و C مغلقتيْن و المكبس لا يمكنه الحَراك. الطّاقة مُخزّنة في النّابض. الشّدّة C متغيّرة في حين في B منعدمة.

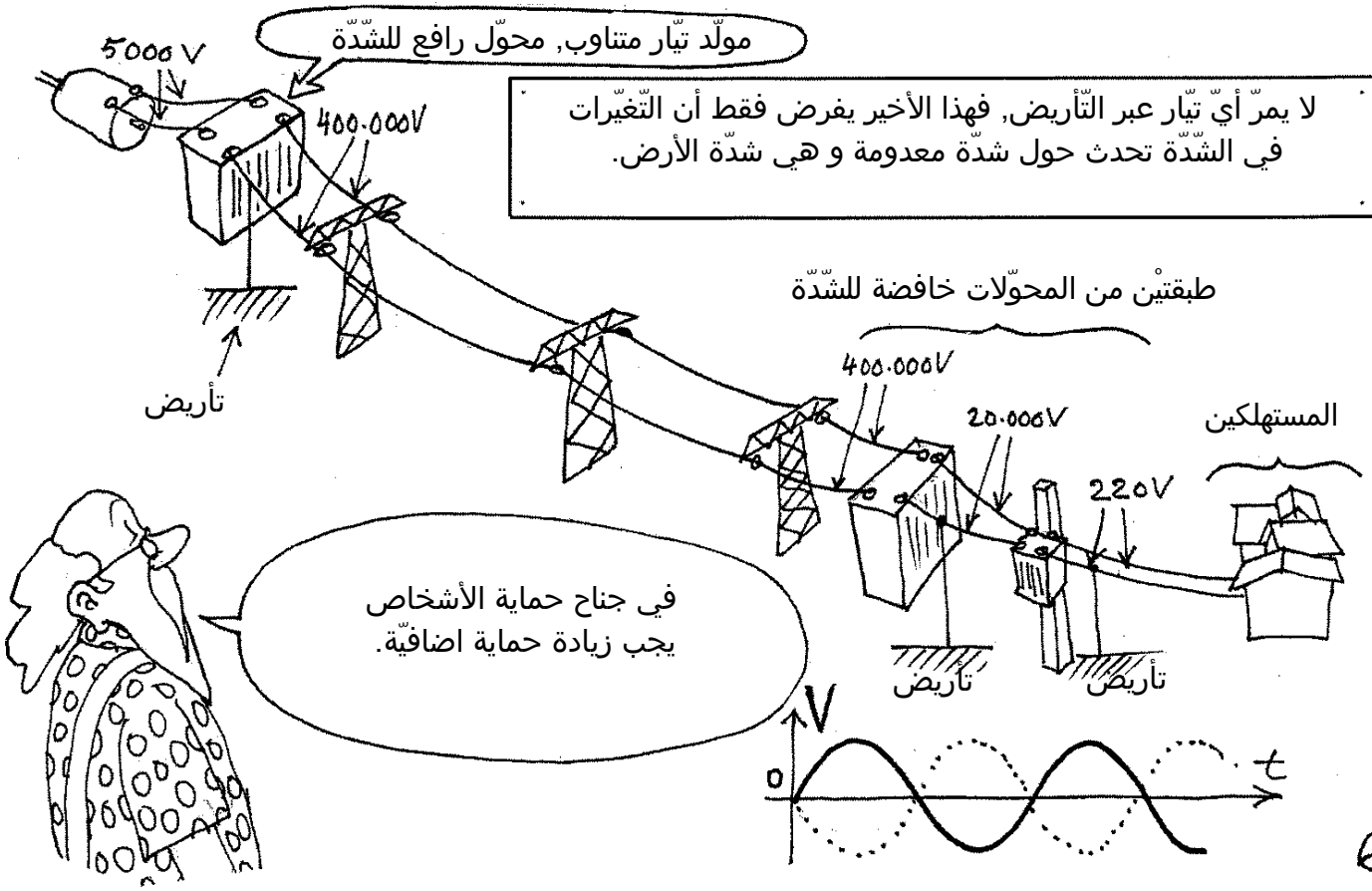


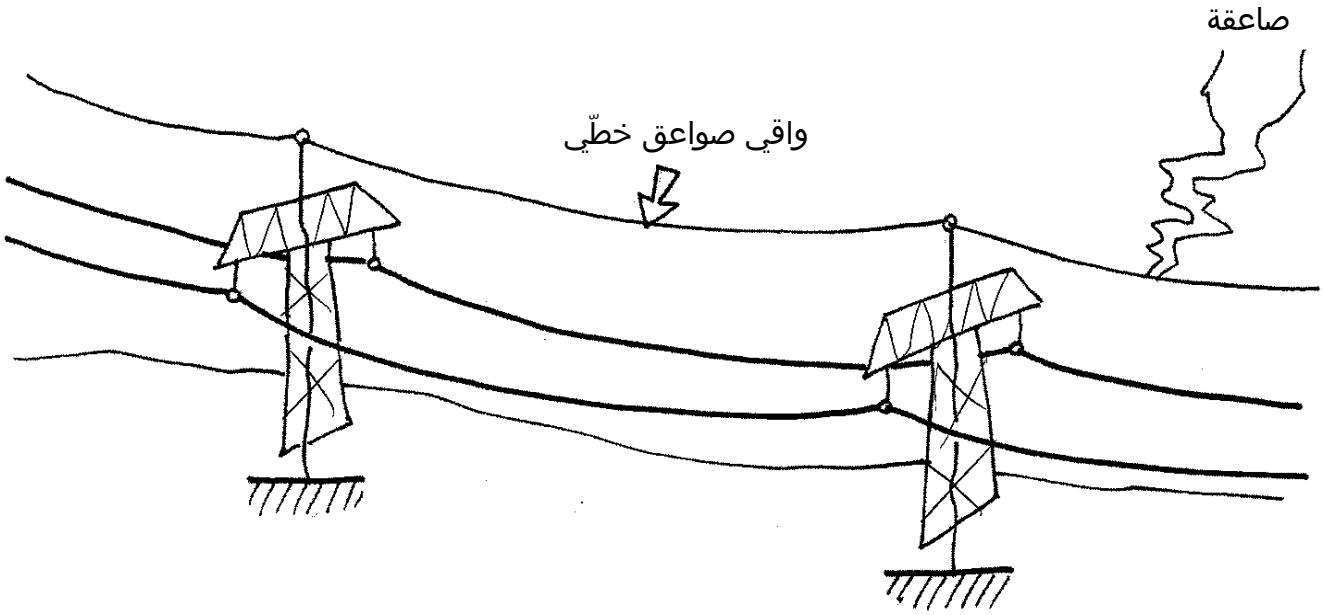
في الجهة المعاكسة للتّيّار في المأخذ, أحد الخطّيْن مُأرّض ما يسمح بالتّخلّص من كل زيادة في الشّدّة قد تنتج عن صاعقة. تعتمد حياتكم على هذا الاجراء الّذي لا يمكن الاستغناء عنه.



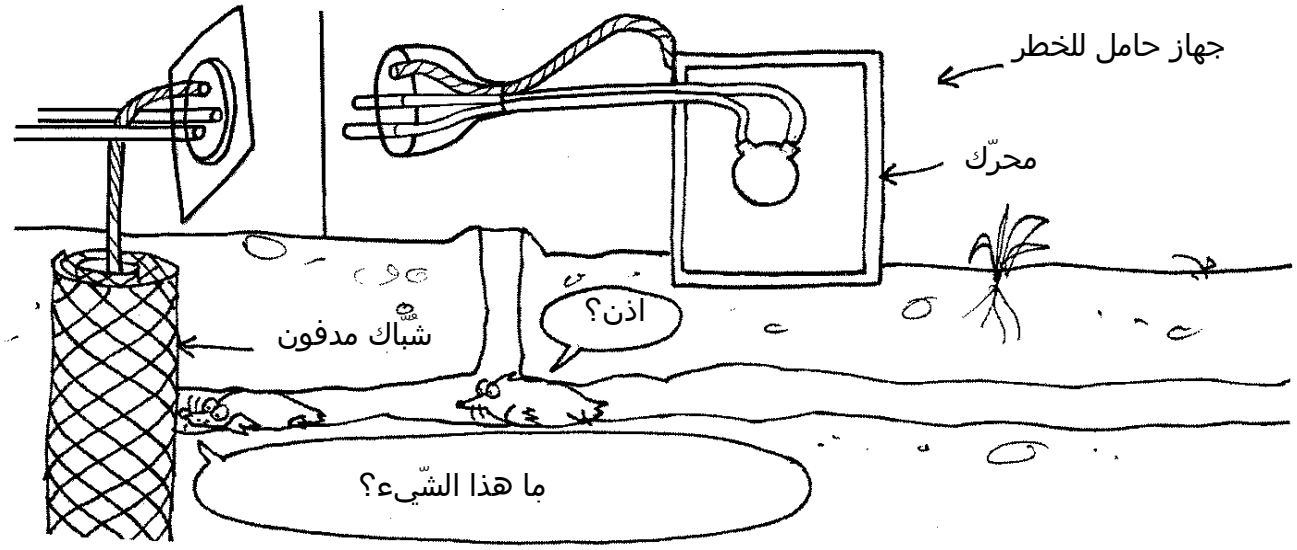


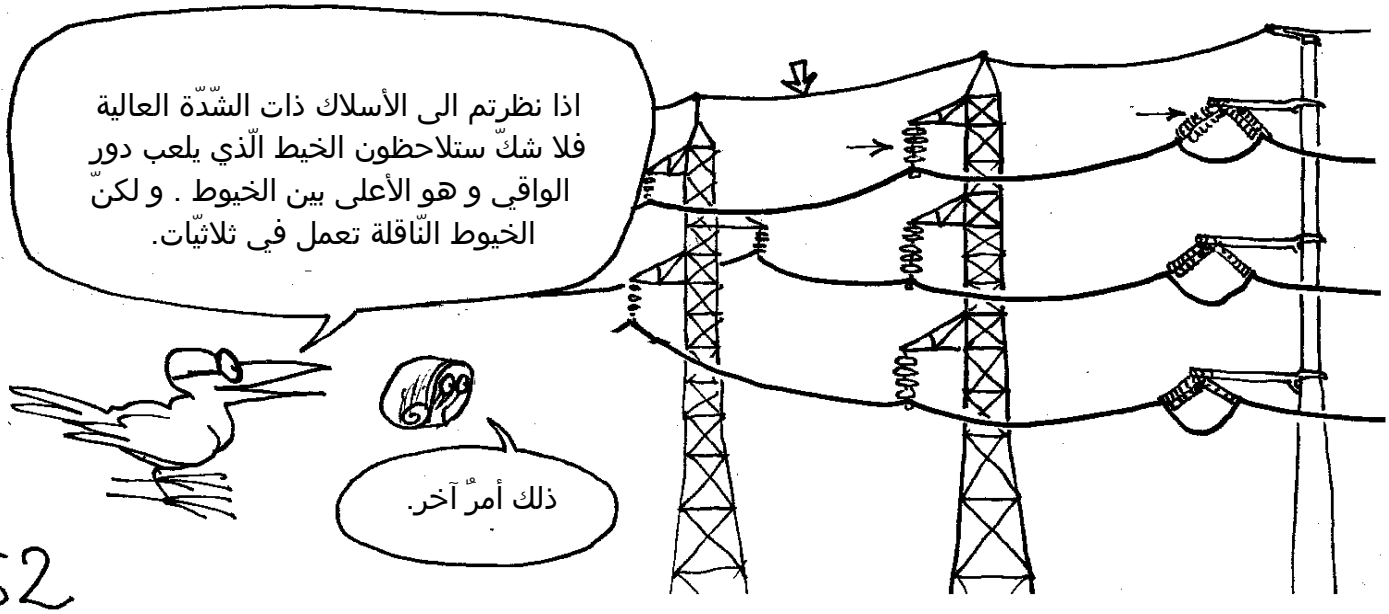
أنظر الى هذا التّركيب,الحنفيّتيْن B و C مفتوحتيْن, المكبس يتحرّك و لكنّ المائع لا ينتقل في A لأنّه يتحرّك في دائرة مغلقة كما أنّه غير قابل للضّغط. لو انتقل حجم مائع في A فمن أين سيأتي؟ هذه المرّة يتغيّر الضّغط فعلاً في B و C . و لكنّ هذا التّركيب لا يسمح للتغيّرات في الضّغط بالحصول الاّ اذا كانت تخصّ الجو سواء كانت مرتفعة أو منخفضة. في نقل الكهرباء يعني التّأريض أنّ التّغيّرات في الضّغط لا تكون عمليّةً الاّ اذا كانت الشدّة معدومة.

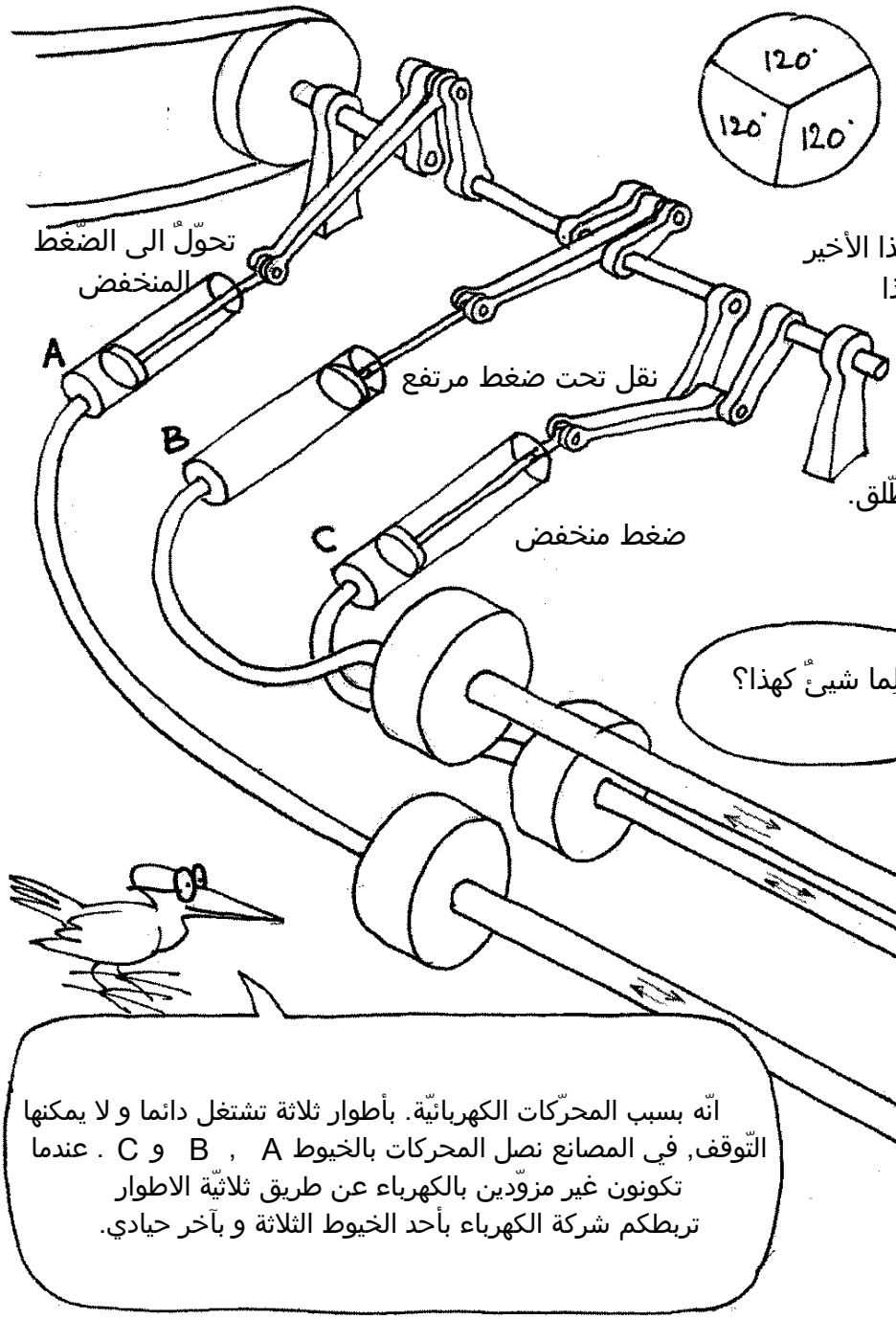




نحمي خطوط الكهرباء العالية الشّدّة بخطّ واحد, واضح للغاية, متّصل بالأرض يعمل كواق خطيّ للصّاعقة.
عمليّات التّأريض متعدّدة. في بيوت المستهلكين توجد أرض أخرى هي أرض المنزل المتّصلة بكلّ "الأجهزة الحاملة للخطر" كالغسّالة.

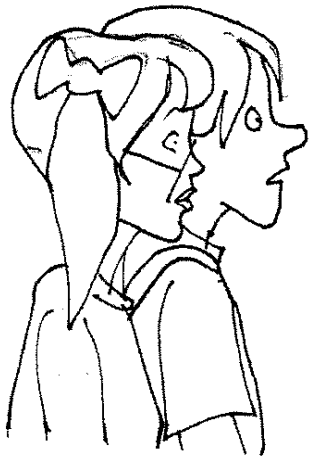




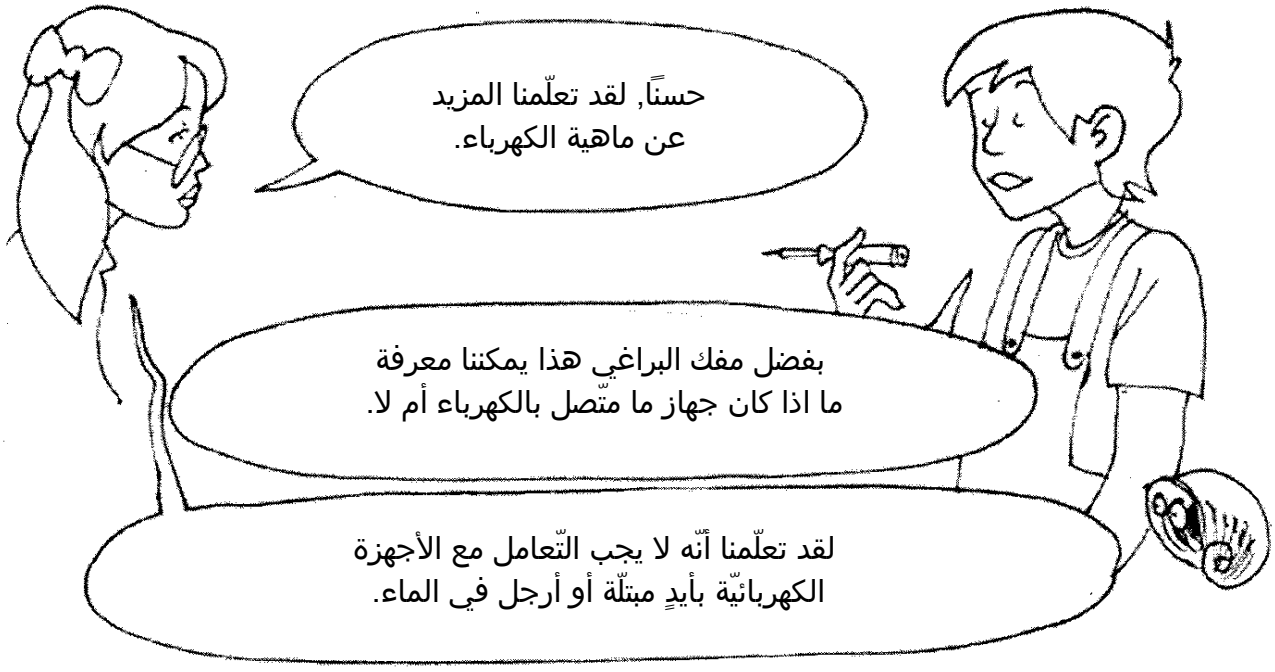


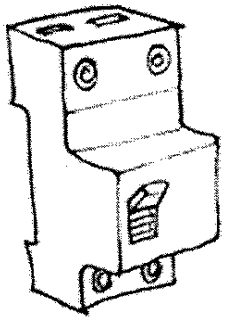
في الحقيقة فانّ مولّدات التيّار المتناوب تنتج هذا الأخير على ثلاث أطوار. الصّورة موضّحة عبر هذا العمود المرفقي: الأسطوانات, رافعات ثمّ
مخفّضات الشّدّة تنتج تيّارات متناوبة ثلاثيّة الأطوار. كميّة هذه التيّارات تبقى ثابتة و تنتج حيادًا مرسلاً في الهواء الطّلق.

انّه بسبب المحرّكات الكهربائيّة. بأطوار ثلاثة تشتغل دائما و لا يمكنها التّوقف, في المصانع نصل المحركات بالخيوط A , B و C . عندما تكونون غير مزوّدين بالكهرباء عن طريق ثلاثيّة الاطوار تربطكم شركة الكهرباء بأحد الخيوط الثلاثة و بآخر حيادي.



و بهذا فان تابعتم كلّ ما شرحته فأنتم من ضمن مجموعة لديها امتياز فهم ثلاثيّة الأطوار.





ربّما أتممنا, لنختم بالحديث عن قاطع الدّارة الكهربائيّة .انّه جهاز كهرومغناطيسي يراقب بالمقارنة,القيَم المطلقة للتيّارات المارّة بالطّوْر و بالحياد عندما يتدفّق التيّار من جهاز معيّن. اذا سجّل قاطع الدّارة فرقا من 10 الى 20 ميلي أمبير فهذا يعني تسرّبًا للتيّار في مكان ما و بالتالي يقطع التيّار تلقائيًا.

شكرًا جزيلاً لصديقي القديم جاك لاقالان
الّذي من دونه ما كنت أتممت هذا العمل.

النّهاية