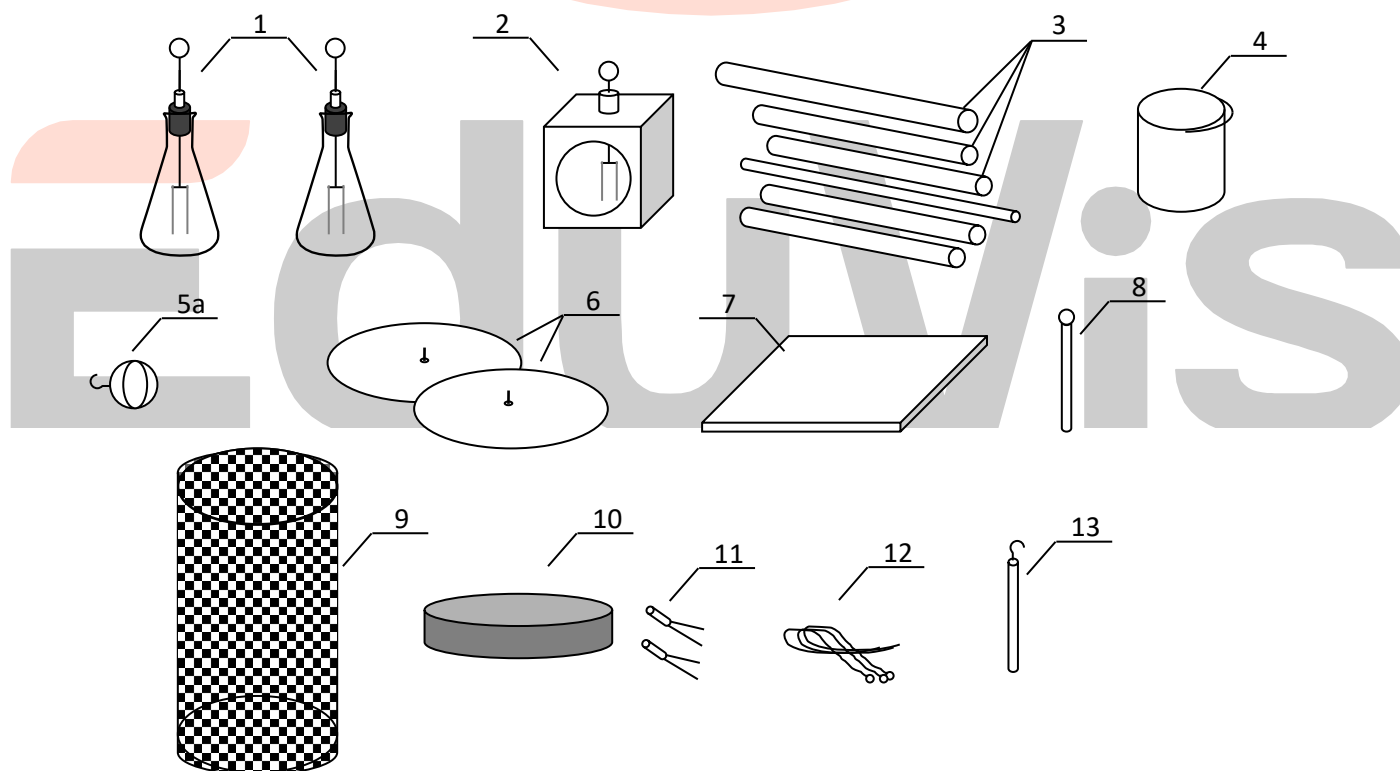


## INSTRUKCJA OBSŁUGI ZESTAWU DO DOŚWIADCZEŃ Z ELEKTROSTATYKI

Ten zestaw służy do demonstracji większości szkolnych doświadczeń z dziedziny elektrostatyki.

### I SKŁAD ZESTAWU

1. Dwulistkowe elektroskopy w kolbach Erlenmayera, 2 sztuki
2. Elektroskop dwulistkowy w obudowie prostokątnej
3. Pateczki: pleksyglasowa (akrylowa), szklana, nylonowa, polietylenowa, polipropylenowa (PP), z polichlorku winylu (PVC) (b) oraz 4 różne szmatki do ich elektryzowania (lniana, poliestrowa, wełniana i wiskozowa)
4. Przewodzące aluminiowe wiaderko Faradaya
5. Kulka przewodząca z haczykiem
6. Dwa krążki aluminiowe (okładki kondensatora o zmiennej pojemności)
7. Kwadratowa płytki pleksyglasowa (dielektryk dla kondensatora oraz płytki dla elektroforu)
8. Kulka próbna na odkręcającej izolującej ręczce
9. Klatka Faradaya z przewodzącymi podstawami
10. Podstawa nieprzewodząca do klatki Faradaya
11. Neonówki
12. Styropianowe kulki na niciach (10 sztuk)
13. Pręcik izolujący z haczykiem
14. Folia – dielektryk i izolator



Rysunek 1. (objaśnienia w tekście, wg numerów)

## II OPISY DOŚWIADCZEŃ

### 1. Elektryzowanie przez tarcie, przyciąganie ciał nienaładowanych

W celu demonstracji elektryzowania przez tarcie pocieramy kilkakrotnie jedną stronę wybranej pałeczki wybraną szmatką. Drugą stronę wykorzystujemy jako uchwyt. Ważne, aby pamiętać (lub oznaczyć) stronę, za którą łapiemy pałeczki dłonią – staramy się nigdy nie dotykać części przeznaczonych do elektryzowania.

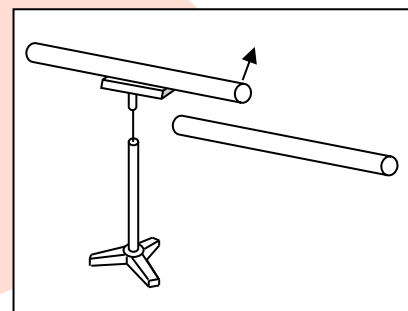
Możemy wykazać stan naładowania na kilka sposobów:

- tak naelektryzowany koniec pałeczki zbliżamy do małych skrawków papieru na ławce, obserwując ich przyciąganie przez pałeczkę;
- zbliżamy naładowaną pałeczkę do cienkiego strumienia wody z kranu (lub butelki zamocowanej w statywie);
- zbliżamy pałeczkę równoległe do leżącej poziomo na stole metalowej puszki, obserwując jej toczenie się w kierunku pałeczki;
- pałeczkę przenosimy w pobliże kulki elektroskopu, obserwując odchylenie się jego listków.

### 2. Oddziaływanie wzajemne ładunków

W celu demonstracji oddziaływania wzajemnego ładunków przydatny okaże się statyw obrotowy (Zestaw nr 145).

Elektryzujemy jedną z pałeczek przez potarcie wybraną szmatką i umieszczamy ją na przygotowanym statywie obrotowym, elektryzujemy drugą z nich i zbliżamy naładowanym końcem do naładowanego końca pałeczki mogącej się obracać, obserwujemy odpychanie lub przyciąganie. Tak samo naładowane pręty posiadają takie same ładunki, będą się więc odpychać; przeciwnie naładowane będą się przyciągać.



### 3. Podział materiałów na przewodniki i izolatory

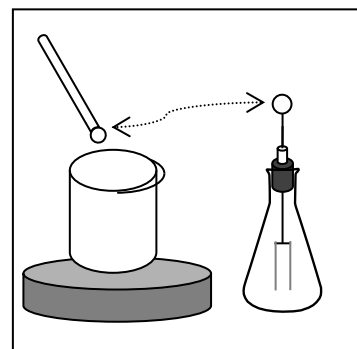
Ładujemy elektroskop, przeciągając po jego kulce dowolnie naładowaną pałeczką lub podłączając ją na chwilę do jednego bieguna działającej maszyny elektrostatycznej. Dotykamy kulki naładowanego elektroskopu różnymi materiałami, trzymanymi w ręku, obserwując szybkość opadania jego wskazówki. Przewodniki powodują natychmiastowe rozładowanie, im lepszy izolator tym dłużej to trwa.

Do naelektryzowanej pałeczki zbliżamy neonówkę, trzymaną za jedną elektrodę palcami. Neonówka świeci przykładana do różnych punktów gdyż izolator nie dysponuje swobodnymi elektronami i rozładowanie jednego miejsca nie wpływa na stan naelektryzowania innych. Naelektryzowaną tarczę aluminiową (trzymaną dzięki izolującemu uchwytowi, wymiennemu z kulką próbną) dotykamy neonówką kilka razy w różnych miejscach – zaświeci się tylko za pierwszym razem. Potwierdza to fakt istnienia swobodnych elektronów w przewodniku i ich odpływ/dopływ już za pierwszym dotknięciem.

#### 4. Rozkład ładunków na powierzchni przewodnika – wiaderko Faradaya

W celu demonstracji faktu gromadzenia się ładunku elektrycznego wyłącznie na zewnętrznych powierzchniach przewodników zestawiamy wiaderko Faradaya (4) na izolującej podstawie klatki Faradaya (10). Przygotowujemy również elektrometr (1) oraz kulkę próbną na uchwycie (9).

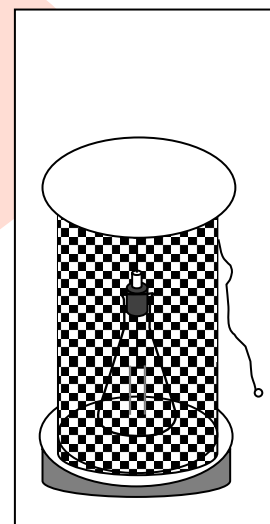
Wiaderko ładujemy przez kilkukrotne dotknięcie naelektryzowaną pałeczką (powtórzone kilka razy) lub korzystając z jednego z biegunów maszyny elektrostatycznej. Kulka próbną dotykamy wnętrza wiaderka i sprawdzamy jego naelektryzowanie przez dotknięcie nią kulki nienaładowanego elektroskopu. Nie obserwujemy wychylenia wskazówki. Kulka próbną dotykamy tym razem zewnętrznej powierzchni wiaderka i powtarzamy test z elektroskopem. Tym razem stwierdzamy istnienie ładunku elektrycznego na kulce próbnej. Wnioskujemy o gromadzeniu się ładunku na zewnętrznej powierzchni przewodników.



#### 5. Rozkład ładunków na powierzchni przewodnika – klatka Faradaya

Przygotowujemy zestaw: na izolującym denku klatki Faradaya (10) stawiamy dolną metalową miseczkę klatki, na niej elektroskop (1), otaczamy go klatką (9) i zamykamy ją drugą metalową miseczką-denkiem klatki. Upewniamy się, że kulka elektroskopu dotyka od wewnątrz dolnej powierzchni górnego denka. W razie potrzeby używamy dowolnej podkładki pod elektroskopem, aby to zapewnić. Korzystając z dołączonego krokodyłka przymocowujemy do ściany bocznej klatki nić z kulką styropianową (lub ich kilka) – wskaźnik naładowania zewnętrznej powierzchni.

Ładujemy klatkę, najlepiej łącząc ją z biegunem maszyny elektrostatycznej przewodem zakończonym wtykami krokodylkowymi. Obserwujemy wychylenie kulki styropianowej na nitce oraz brak rozchylenia listków elektroskopu wewnątrz klatki, przekonując się raz jeszcze (doświadczenie 4) o rozprowadzaniu ładunku na zewnętrznej powierzchni przewodnika (idea ekranowania elektrostatycznego).



#### 6. Elektryzowanie przez indukcję – elektroskop

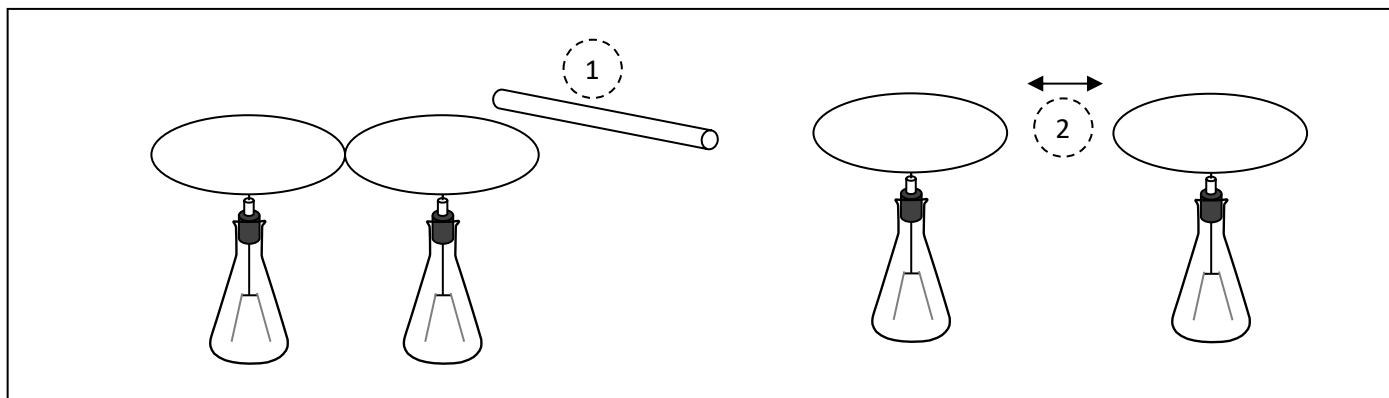
Do elektroskopu zbliżamy, bez dotknięcia jego kulki, naładowaną pałeczkę. Odległość nie może być za mała, aby nie ładunek nie przeskoczył w postaci iskry (nie będzie tego widać ale będzie to słychać). Listki elektrometru wychyli się a po oddaleniu pałeczki wrócą do pozycji pionowej.

Nastąpił rozdział ładunków w elektroskopie: jeśli użyto pałeczki naładowanej dodatnio, elektrony z dolnej części zostały przyciągnięte i zgromadziły się w górnej części elektrometru, pozostawiając w dolnej niezrównoważony ładunek dodatni, co spowodowało rozchylenie listków. Jeśli użyto pałeczki naładowanej ujemnie, elektrony z górnej części elektrometru zostały odepchnięte do dolnej, powodując rozchylenie listków. Po odsunięciu pałeczki elektrony „wracają na miejsca”. Przez cały czas elektrometr był nienaładowany, nastąpił w nim jedynie rozdział (przesunięcie) ładunków.

Aby korzystając z indukcji elektrostatycznej trwale naelektryzować elektrometr należy, kiedy pałeczka naładowana jest zbliżona do elektrometru, uziemić jego kulkę np. przez dotknięcie palcem. Górna część zostanie zneutralizowana, na dolnej pozostanie niezrównoważony ładunek. Po usunięciu palca a następnie pałeczki otrzymamy trwałe naładowanie elektrometru.

## 7. Elektryzowanie przez indukcję –przewodnik rozłączany

Przygotowujemy dwa elektroskopy, na których zamiast kulek przykręcamy metalowe okładki kondensatora. Stawiamy je tak, aby aluminiowe krążki dotykały się, jak na rysunku.



Elektroskopy wraz z płytkami tworzą teraz jeden przewodnik. Do jednego z nich zbliżamy naładowaną pałeczkę, nie dotykając metalu i uważając aby nie nastąpił przeskok iskry. Następuje rozdział ładunków i po usunięciu pałeczki wskazówki obu elektrometrów opadają. Jeśli jednak gdy pałeczka jest blisko i powoduje rozsuniecie ładunków odsunemy jedną z płytek od drugiej (dotykając elektroskopu) otrzymamy permanentne naładowanie elektroskopów. Równość obu ładunków co do wartości bezwzględnej wykażemy, łącząc raz jeszcze płytki aluminiowe – obydwie elektroskopy się rozładują. W razie nierówności ładunków po połączeniu obu części układu elektrometry wykazałyby niezrowne naładowanie.

## 8. Zastosowanie elektryzowania przez indukcję – elektrofor

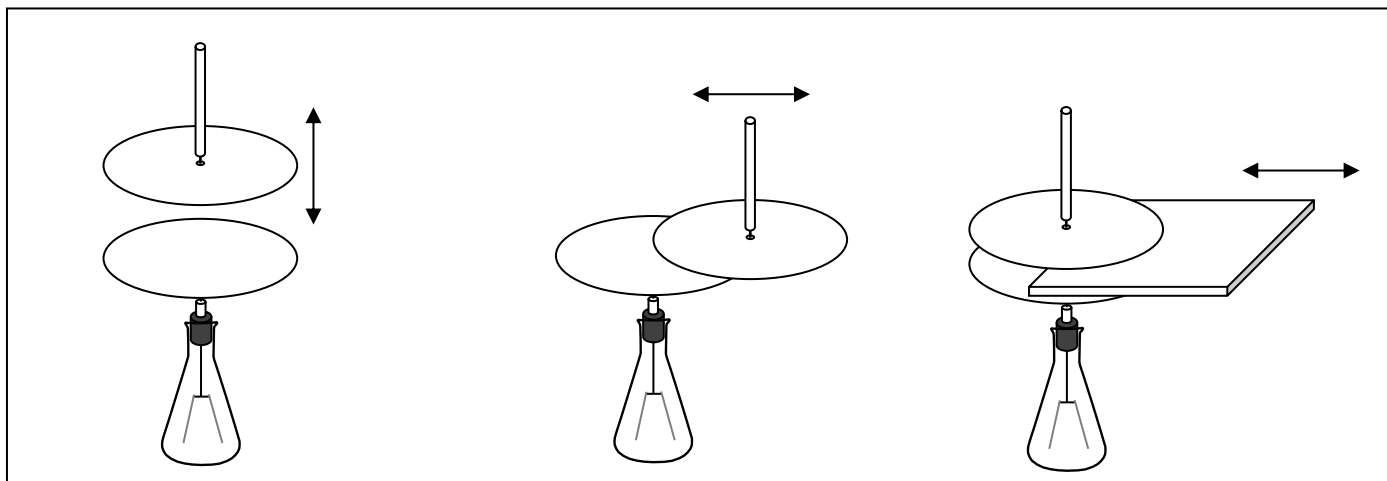
Na elektrofor składają się: płyta pleksiglasowa (7) oraz krążek aluminiowy z rączką izolującą (6+8). Płytę kładziemy poziomo i elektryzujemy jej górną powierzchnię dodatnio poprzez pocieranie wybraną szmatką. Następnie do tak naładowanej płyty zbliżamy od góry trzymając za izolujący uchwyt krążek aluminiowy. Dzięki indukcji następuje w nim podział ładunków: na stronie dolnej gromadzą się przyciągnięte przez dodatni ładunek płyty elektrony; na górnej powierzchni krążka pozostaje niezrównoważony ładunek dodatni. Kiedy krążek jest blisko płyty dotykamy palcem lub w inny sposób uziemiaamy górną powierzchnię krążka, przez co górny ładunek dodatni zostaje zobojętniony elektronami z uziemienia. Krążek aluminiowy jest teraz trwale naelektryzowany, co można sprawdzić zbliżając go lub dotykając nim kulki elektroskopu, rozładować przez neonówkę lub wykorzystać jego ładunek w inny sposób.

Tak przygotowany elektrofor można używać wielokrotnie, dopóki ładunek na powierzchni płyty izolatora nie zostanie zneutralizowany naturalnie przez powietrze.

## 9. Kondensator: zależność pojemności elektrycznej od powierzchni i odległości okładek oraz materiału między nimi

Kondensator budujemy, odkręcając kulkę elektrometru wraz z pręcikiem (1) i zastępując ją jednym z krążków aluminiowych (6) oraz przykręcając drugą płytę aluminiową zamiast kulki próbnej do izolującego uchwyty (8). Ładujemy trwale krążek przymocowany do elektrometru przez np. kilkukrotne przekazanie przez dotyk ładunku z pałeczki naładowanej.

Trzymając drugi krążek za uchwyt tak, aby ręka lub mały palec dotykały górnej powierzchni krążka (uziemiaenie) zbliżamy go od góry do pierwszej płyty, obserwując wychylenie listków elektrometru. Tworzymy w ten sposób kondensator, którego pojemność zwiększamy zmniejszając odległość między jego okładkami. Większa pojemność przy tym samym zgromadzonym ładunku skutkuje mniejszym napięciem między okładkami, wskazywanym przez elektroskop.



W dalszej części doświadczenia odsuwamy górny krążek od elektroskopu (listki wracają do położenia początkowego) i zaczynamy zbliżać go równoległe do dolnego, w niewielkiej odległości ok. 0,5 cm od niego, uważając aby nie zetknąć przewodników. Listki elektroskopu ponownie opadają – coraz większa powierzchnia czynna okładek kondensatora skutkuje coraz większą pojemnością i przy tym samym ładunku – mniejszym napięciem między okładkami.

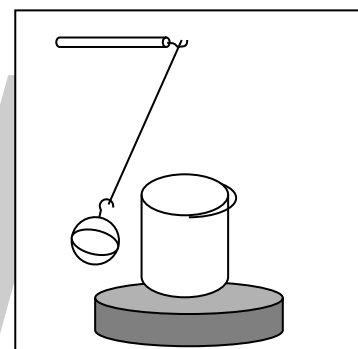
Ostatnim doświadczeniem będzie, przy górnej płycie utrzymywanej dokładnie nad dolną w odległości ok. 0,5 cm nad nią, włożenie w szczelinę między płytami aluminiowymi kwadratowej płyty z pleksiglasu (7). Listki elektroskopu opadają, gdyż zamieniliśmy powietrze między okładkami kondensatora na pleksiglas, materiał o stałej dielektrycznej 2,6 razy większej od szklanej. Zwiększenie stałej dielektrycznej powoduje zwiększenie pojemności kondensatora, a ta przy tym samym ładunku skutkuje mniejszym napięciem między jego okładkami.

W doświadczeniach tych zamiast górnej płyty z aluminium możemy użyć własnej rozprostowanej dłoni.

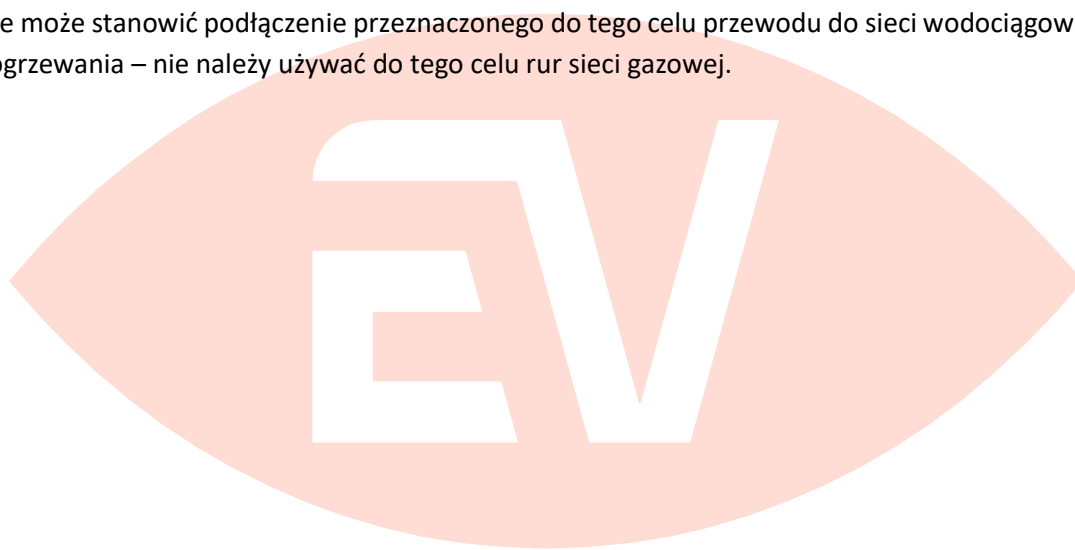
## 10. Karuzela elektrostatyczna

Na izolującej podstawie klatki Faradaya stawiamy aluminiowe wiaderko i ładujemy je silnie wielokrotnie przeciągając po nim naładowywaną za każdym razem przez pocieranie wybraną pałeczką. Za pomocą nici tworzymy z pręcika akrylowego z haczykiem i kulki przewodzącej z haczykiem wahadło (można wykorzystać nić od kulek styropianowych lub żyłkę z zestawu).

Trzymając uchwyt poziomo zbliżamy kulkę do naładowanego wiaderka. Początkowe przyciągnięcie (indukcja elektrostatyczna) skutkuje dotknięciem kulki do wiaderka i przeskokiem ładunku, teraz i kulka i wiaderko naładowane są ładunkiem tego samego znaku i będą się odpychać. Można wprawić kulkę w ruch obrotowy wokół wiaderka. Siłą dośrodkową w tym ruchu będzie składowa pozioma napięcia nici, która odchyli się od pionu dzięki odpychaniu elektrostatycznemu.



1. Podstawowym warunkiem udanych doświadczeń z elektrostatyki jest sucha powierzchnia izolatorów. Duża wilgotność powietrza, np. w dni pochmurne czy wręcz deszczowe sprzyja kondensacji pary wodnej na ich powierzchniach i tym samym czyni z nich przewodniki, które odprowadzają gromadzony ładunek elektryczny.
2. Dbanie o czystość powierzchni izolatorów oznacza również nie dotykanie ich palcami, które mogą zostawić np. ślady tłuszczu. Nie należy chwycić przyrządów do elektrostatyki za elementy izolujące (słupki statywów, izolatory pod kulkami elektroskopów).
3. Należy pamiętać, że źródłem pary wodnej w zamkniętym pomieszczeniu mogą być licznie zgromadzeni uczniowie – w takim przypadku pokazy lepiej zaplanować na początek lekcji lub zadbać o przewietrzenie pomieszczenia suchym powietrzem.
4. Uziemienie może stanowić podłączenie przeznaczonego do tego celu przewodu do sieci wodociągowej, gorzej centralnego ogrzewania – nie należy używać do tego celu rur sieci gazowej.



eduVis