

Specyfikacja projektu: "Symulacja doświadczenia Milikana"  
Mikołaj Koszowski  
Agata Romanowska  
13 marca 2017

## 1 Działanie modelu

### 1.1 Model matematyczny

Symulacja ma ilustrować doświadczenie przeprowadzone przez R. A. Milikana, w którego wyniku uzyskano (przybliżoną) wartość elementarnego ładunku elektrycznego  $e$ .

Podczas spadania na kroplę działają siły: grawitacji  $F_g$ , wyporu  $F_w$  oraz - zgodnie z prawem Stokesa – siła oporu  $F_o$ , dane wzorami:

$$F_g = mg = (4/3)\pi r^3 \rho_{kropli} g \quad F_w = (4/3)\pi r^3 \rho_{powietrza} g \quad F_o = 6\pi r \eta v$$

gdzie:

$\rho_{kropli}$  – gęstość kropli

$r$  – promień kropli

$\rho_{powietrza}$  – gęstość powietrza

$\eta$  – współczynnik lepkości powietrza

$v$  – prędkość kropli

Gdy kropla osiąga prędkość graniczną  $v_g$ , wypadkowa siła nań działająca wynosi 0. Stąd wyznaczyć można promień kropli:

$$r = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_g}{2g(\rho_{kropli} - \rho_{powietrza})}} - \frac{b}{2p}$$

gdzie:  $b$  – stała,  $p$  – ciśnienie atmosferyczne

oraz jej masę:

$$m = \frac{4}{3}\pi \left( \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_g}{2g(\rho_{kropli} - \rho_{powietrza})}} - \frac{b}{2p} \right)^3 \rho_{kropli}$$

Po wpadnięciu do kondensatora na kroplę (naładowaną promieniowaniem jonizującym) działa siła  $F_e$ , związana z polem elektrycznym w kondensatorze:

$$F_e = qE = q \frac{U}{d}$$

gdzie:  $U$  – napięcie między okładkami kondensatora,  $d$  – odległość między okładkami

Zmieniając napięcie wpływamy na prędkość kropli w kondensatorze. Gdy siła wypadkowa wynosi ponownie 0, kropla będzie poruszała się z prędkością graniczną  $v_e$ . To pozwala zapisać wzór na ładunek kropli:

$$q = - \frac{d}{U} \frac{\frac{4}{3}\pi g r^3 (\rho_{kropli} - \rho_{powietrza}) (v_g + v_e)}{v_g}$$

Zmierzony ładunek  $q$  to wielokrotność ładunku elementarnego:

$$q = ne$$

## 1.2 Metoda symulacji

Model będzie rozwiązywał równanie różniczkowe ruchu kropli:

$$a = -\left(m_{\text{kropli}} - m_{\text{powietrza}}\right) \frac{g}{v_g} \frac{v}{m_{\text{kropli}}} - g \left(1 - \frac{m_{\text{powietrza}}}{m_{\text{kropli}}}\right) + q \frac{E_z}{m_{\text{kropli}}}$$

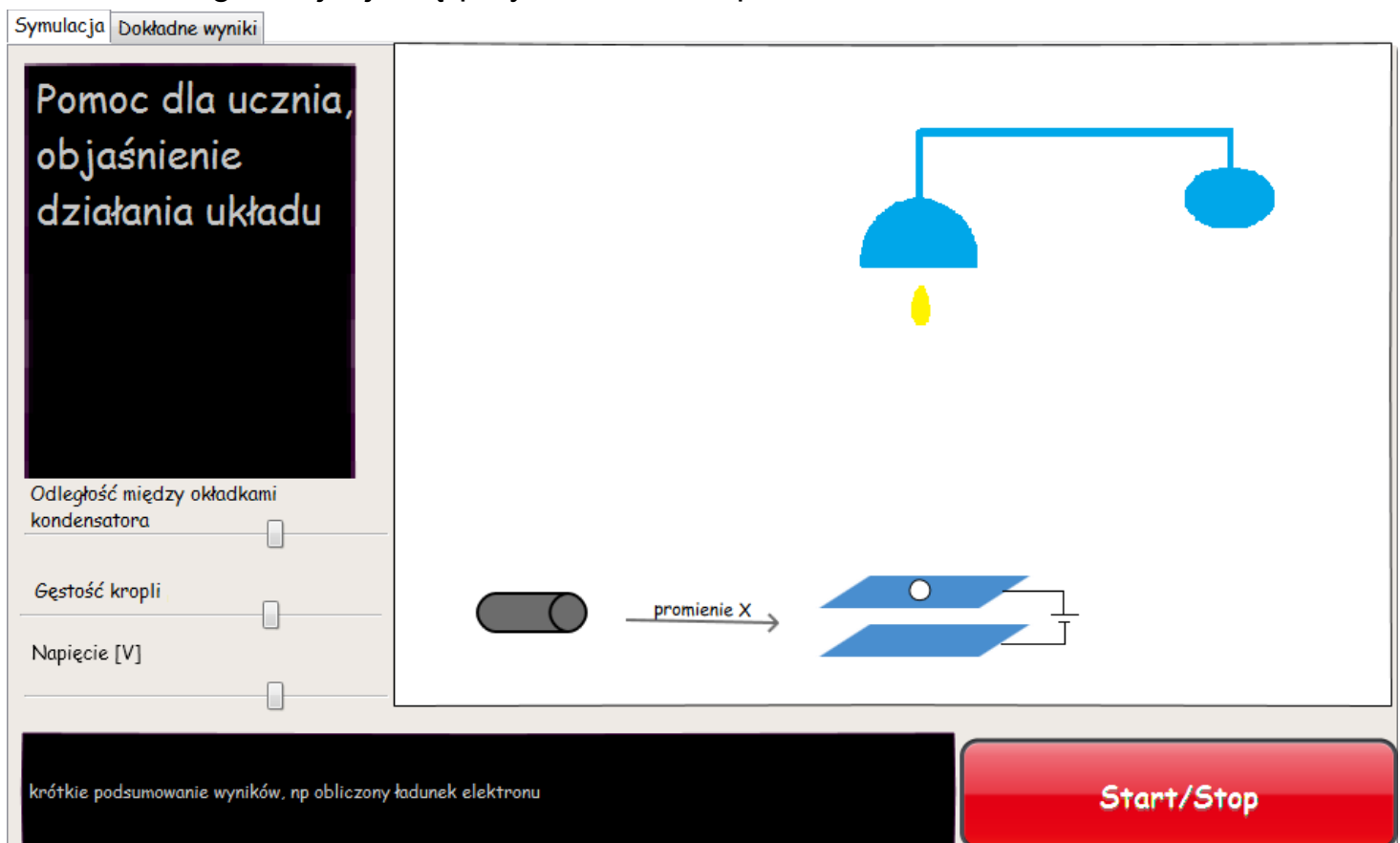
Równanie to rozwiążemy metodą predictor-corrector.

## 1.3

## 2 Interfejs użytkownika

Interfejs użytkownika składa się z dwóch zakładek - „Symulacji” oraz „Dokładnych wyników”.

Pierwsza z nich zawiera animację doświadczenia, pole tekstowe z krótkim opisem wyników oraz pole tekstowe, w którym pojawi się opis działania układu przedstawionego na animacji. Znajdują się też tutaj nastawy, służące do zmian parametrów, takich jak napięcie, gęstość kropli i odległość między okładkami kondensatora. W prawym dolnym rogu znajduje się przycisk Start/Stop.



Zakładka „Dokładne wyniki” składa się z pola tekstowego, w którym wyświetlone zostaną szczegółowe wyniki pomiarów i pola z wykresami ilustrującymi otrzymane wyniki.

Odległość między okładkami  
kondensatora:

Gęstość kropli:

---

Dane z każdego pomiaru:

Prędkość opadania:

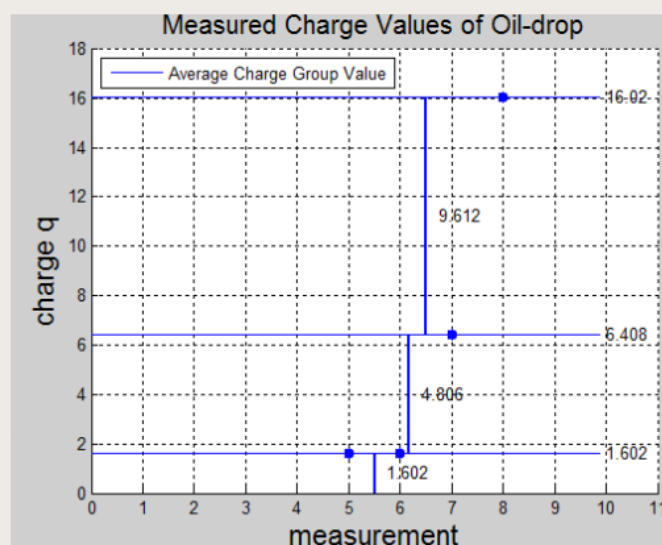
Promień kropli:

Napięcie:

---

Obliczony ładunek elektronu:

Wykres, np taki



## 2.1 Animacja

Animacja będzie zawierać układ pomiarowy potrzebny do przeprowadzenia tego doświadczenia – atomizer, kondensator, źródło promieniowania i przemieszczającą się kroplę.

## 3 Punktacja

Docelowo chcemy uzyskać:

Animację – dobrze dobrane tło, kilka obiektów **2pkt.**

Wyniki wyświetlane na kilku różnych wykresach **2pkt.**

Wyniki działania programu dostępne jako pliki tekstowe z danymi lub grafika (wykresy) **3pkt.**

Materiały dla uczniów wyświetlające się po kliknięciu na jakiś element interfejsu **2 pkt.**

Model rozwiązuje numerycznie równania różniczkowe metodą bardziej wyrafinowaną **3pkt.**

Za pomocą interfejsu programu można sterować wszystkimi istotnymi parametrami symulacji, oraz są przynajmniej cztery takie parametry: **2pkt.**

Łącznie 14 **pkt** – ocena **5,0**.