



## The 43<sup>rd</sup> International Physics Olympiad — Experimental Competition

Tartu, Estonia — Thursday, July 19<sup>th</sup> 2012

- De toets duurt 5 uur. Er zijn 2 experimenten waar in totaal maximaal 20 punten voor kunnen worden toegekend. Je hebt twee tafels tot je beschikking (in twee aangrenzende boxen), de apparatuur van Opgave E1 staat op de ene tafel en de apparatuur van Opgave E2 staat op de andere tafel; je mag vrij bewegen tussen deze tafels. **Het is echter niet toegestaan om enig onderdeel van de apparatuur te verplaatsen van de ene naar de andere tafel.**
- Bij aanvang is het ene experiment bedekt en het andere experiment zit in een doos. Het is niet toegestaan om voor aanvang van de competitie (drie korte geluidssignalen) de bedekking weg te nemen, de doos te openen of de envelop te openen.
- **Je mag je werkplek niet zonder toestemming verlaten.** Indien je assistentie nodig hebt (niet werkende apparatuur, kapotte rekenmachine, toiletgebruik, enz.), houd dan het daarvoor het betreffende vlaggetje "HELP" of "TOILET" (met behulp van de lange steel bij je stoel) boven de wanden van je hokje totdat iemand van de organisatie komt.
- Gebruik alleen de voorkant van het papier.
- Er zijn **specifieke werkbladen (Solution sheets)** voor elke opgave (zie de koptekst voor het nummer en pictogram). Noteer je antwoorden op de juiste werkbladen. De werkbladen zijn voor elke opgave genummerd; gebruik de bladen in de juiste nummering. Geef steeds aan met welk onderdeel en vraag je bezig bent. Noteer de eindantwoorden in de betreffende vakjes van het **antwoordblad (Answer sheet)**. Er is ook kladpapier (**Draft**); gebruik dit voor dingen die je niet beoordeeld wilt hebben. Zet een kruis door de onderdelen op de werkbladen die je niet beoordeeld wilt hebben (bijvoorbeeld foute oplossingen).
- Als je voor een opgave meer papier nodig hebt, houd het vlaggetje "HELP" omhoog en geef aan de organisatie aan om welke opgave het gaat. Je krijgt dan twee extra werkbladen (je mag dit meer dan één maal doen).
- **Gebruik zo weinig mogelijk tekst:** probeer je oplossingen hoofdzakelijk te onderbouwen met vergelijkingen, getallen, tabellen, symbolen en diagrammen. **In tegenstelling tot de oorspronkelijke tekst van dit blad, is een vertaling in het engels bij je eigen antwoord niet noodzakelijk.**
- **Vermijd onnodige bewegingen tijdens de experimentele toets. Beweeg de wanden van je box niet: de laseropstelling moet zo weinig mogelijk bewegen.**
- **Kijk niet in de laserstraal of de reflecties ervan. Dit kan je ogen blijvend beschadigen.**
- Het eerste enkelvoudige geluidssignaal geeft aan dat er nog 30 min beschikbare tijd is; het tweede dubbele geluidssignaal geeft aan dat er nog 5 min beschikbare tijd is; het derde drievoudige geluidssignaal geeft het einde van de beschikbare tijd aan. **Na dit derde geluidssignaal dien je direct te stoppen met schrijven.** Stop alle papieren samen in de geleverde envelop op je tafel. **Het is niet toegestaan om enig papier mee te nemen uit de ruimte.** Indien je klaar bent voor het laatste geluidssignaal, steek dan je vlaggetje in de lucht.
- Succes van Bernadette, Bing, Ignaas, Ad en Enno!

# PROBLEM

## Problem E1



IPhO  
Estonia 2012



### Opgave E1. De magnetische permeabiliteit van water (10 punten)

De energiedichtheid in materialen wordt gegeven door de formule  $w = \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2$  waarbij  $\mu$  de relatieve magnetische permeabiliteit is. De waarde van  $\mu$  is voor niet-ferromagnetische materialen bijna gelijk aan 1.

De effecten van een magnetisch veld op de meeste materialen anders dan ferromagnetische materialen is daarom nogal zwak.

Desondanks zijn met geschikte experimentele technieken deze effecten goed waarneembaar. In deze opgave bestuderen we het effect van een magnetisch veld, veroorzaakt door permanente neodymium magneten, op water en gebruiken de resultaten om de magnetische permeabiliteit van water te bepalen. **In deze gehele opgave is een foutenanalyse niet vereist. Verder hoeft je geen rekening te houden met effecten van oppervlaktenspanning.**

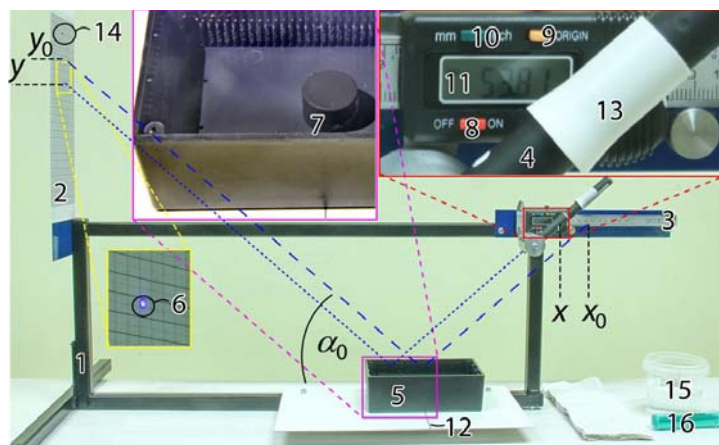
De opstelling bestaat uit een statief **1** (de gemarkeerde getallen komen overeen met de getallen in de figuur), een digitale schuifmaat **3**, een laser **4**, een bakje met water **5** met een cilindervormige permanente magneet **7** erin (de magneet is axiaal gemagnetiseerd). Het bakje staat vast op de witte plaat door de kracht van de magneet.

De laser zit vast aan het beweegbare deel van de schuifmaat. Het vaste deel van de schuifmaat is bevestigd aan het statief. Je kan met de schuifmaat de laser horizontaal verplaatsen. De aan-uit knop van de laser kun je ingedrukt houden met behulp van de witte conische huls **13**. De diepte van het water boven de magneet moet vrijwel 1 mm zijn. (Als het minder is, zal het water zo gebogen zijn dat het moeilijk wordt om op het scherm te meten.

Een beker water **15** en een spuit **16** kun je gebruiken om de waterhoogte aan te passen (een hoogteverschil van 1 mm komt overeen met 13 ml water). Een blad millimeterpapier (het "scherm" **2**) is op de verticale plaat met behulp van de kleine magneetjes **14** bevestigd.

Indien de stip van de laser op het scherm vlekkerig wordt, controleer dan of er stof op het water ligt (en blaas het eventueel weg).

De resterende onderdelen van de opstelling zijn: de plaats waar de laserstraal het scherm raakt **6**; het LCD scherm van de schuifmaat **11**, de knop om de eenheid van de schuifmaat te wisselen tussen millimeters en inches **10**; aan-uit knop van de schuifmaat **8**; knop om de oorsprong van de schuifmaat in te stellen **9**. Achter de laserpointer zit nog een knop van de schuifmaat. Als je deze knop indrukt wordt de oorsprong tijdelijk opnieuw ingesteld. (Als je de knop per ongeluk ingedrukt hebt, druk dan nogmaals om terug te gaan naar de normale meetmodus.)



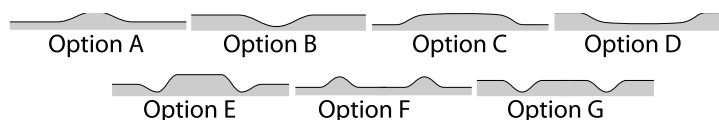
**Numerieke waarden** voor je berekeningen: **horizontale afstand** tussen het midden van de magneet en het scherm  $L_0 = 490$  mm. Controleer (en pas aan indien nodig) de uitlijning van het midden van de magneet in twee loodrechte richtingen. De verticale as van de magneet moet de laserstraal snijden, alsmede de zwarte lijn op de grondplaat onder het bakje met water. **Magnetische inductie** op de as van de magneet, op een hoogte van 1 mm boven het oppervlak van de magneet  $B_0 = 0,50$  T; **dichtheid van water**  $\rho_w = 1000$  kg/m<sup>3</sup>; **valversnelling**  $g = 9,8$  m/s<sup>2</sup>; **permeabiliteit van vacuüm**  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m.

### WAARSCHUWING

- De richting van de laser is vooraf ingesteld, verander deze niet!
- Kijk niet in de laserstraal of de reflecties ervan!
- Probeer de sterke neodymium magneet niet te verplaatsen!
- Plaats geen magnetische materialen dicht bij de magneet!
- Doe de laser uit als je hem niet gebruikt, de batterijen zijn na 1 uur leeg!

### Deel A. Het wateroppervlak kwalitatief (1 punt)

Als een cilindervormige magneet onder het wateroppervlak geplaatst wordt, zal dit oppervlak gekromd worden. Bekijk de vorm van het wateroppervlak boven de magneet. Beslis aan hand daarvan of het water diamagnetisch ( $\mu < 1$ ) of paramagnetisch ( $\mu > 1$ ) is.



Noteer de letter die met de juiste optie overeenkomt op het antwoordblad, samen met een van de ongelijkheden  $\mu > 1$  of  $\mu < 1$ . **Bij dit onderdeel hoeft je je antwoord niet te motiveren.**

# PROBLEM

## Problem E1



### Deel B. Precieze vorm van het wateroppervlak (7 punten)

De kromming van het water kun je met grote nauwkeurigheid bepalen door de reflectie van de laserstraal aan het wateroppervlak te meten. We gebruiken dit effect om de diepte van het water te bepalen als functie van de horizontale positie boven de magneet.

i. (1.6 pt) Meet voor het gehele deel van het bereik van de schuifmaat dat zinvol is, de hoogte  $y$  van de laserstip op het scherm als functie van de aflezing  $x$  van de schuifmaat (zie de figuur). Noteer de meetresultaten in de tabel op het antwoordblad.

ii. (0.7 pt) Teken de grafiek van je meetgegevens.

iii. (0.7 pt) Bepaal met behulp van je grafiek uit de vorige opdracht de hoek  $\alpha_0$  tussen de laserstraal en het horizontale deel van het wateroppervlak.

iv. (1.4 pt) De helling van het wateroppervlak ( $\tan \beta$ ) kun je als volgt uitdrukken:

$$\tan \beta \approx \beta \approx \frac{\cos^2 \alpha_0}{2} \cdot \frac{y - y_0 - (x - x_0) \tan \alpha_0}{L_0 + x - x_0}$$

Met  $y_0$  de hoogte van de laserstip op het scherm als de laserstraal reflecteert aan het wateroppervlak boven het midden van de magneet en  $x_0$  de bijbehorende positie van de schuifmaat.

Bereken de waarden van de helling van het wateroppervlak en noteer deze in de tabel op het antwoordblad. Bedenk dat je je berekeningen kunt vereenvoudigen door een combinaties van termen in de bovenstaande vergelijking telkens te vervangen door iets dat je kunt aflezen in de laatste grafiek.

v. (1.6 pt) Bereken de hoogte van het wateroppervlak (ten opzichte van de hoogte van het wateroppervlak ver van de magneet) als functie van  $x$  en noteer deze in de tabel op het antwoordblad.

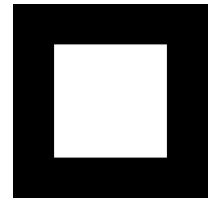
vi. (1 pt) Teken de grafiek van de hoogte van het wateroppervlak als functie van  $x$ . Geef het gebied aan waar het wateroppervlak boven de magneet zit.

### Deel C. Magnetische permeabiliteit (2 punten)

Bereken de waarde van  $\mu - 1$  (de zogenaamde *magnetische susceptibiliteit*) met behulp van de resultaten van onderdeel B, met  $\mu$  de relatieve magnetische permeabiliteit van water. Noteer je uiteindelijke formule en het numerieke resultaat op het antwoordblad.

# PROBLEM

## Problem E2



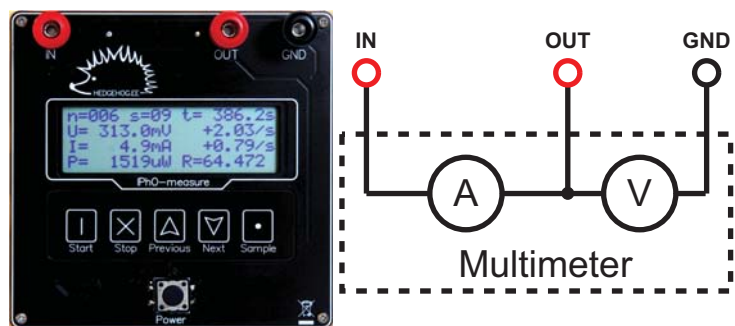
### Opgave E2. Niet-lineaire Black Box (10 punten)

In eenvoudige opgaven worden elektrische schakelingen opgebouwd uit lineaire componenten. Dit betekent dat de elektrische grootheden evenredig zijn met elkaar.

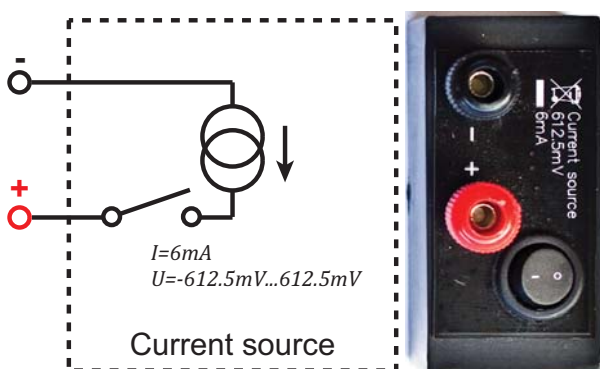
Voorbeelden zijn weerstanden ( $V=RI$ ), condensatoren ( $Q=CV$ ) en spoelen ( $V=Li$ ), waarbij  $R$ ,  $C$  en  $L$  constanten zijn. In deze opgave echter onderzoeken we een schakeling met niet-lineaire componenten in een black box, waarvoor de veronderstelling van evenredigheid niet langer geldt.

De **proefopstelling** bevat een **multimeter** (met opschrift "IPhO-measure"), een **stroombron**, een **black box** die niet-lineaire componenten bevat en 4 snoeren. Let op dat je het zegel op de black box niet verbreekt.

De multimeter kan tegelijk stroom en spanning meten. De multimeter kan tot 2000 meetpunten in het geheugen bewaren. Elk meetpunt bestaat uit spanning  $V$ , stroomsterkte  $I$ , vermogen  $P=IV$ , weerstand  $R=V/I$ , tijdsafgeleide van de spanning  $\dot{V}$  ( $=dV/dt$ ), tijdsafgeleide van de stroomsterkte  $\dot{I}$  ( $=dI/dt$ ) en tijd  $t$ . Zie de handleiding voor meer details. Bij meer dan 2000 meetpunten worden de oudste meetpunten overschreven.



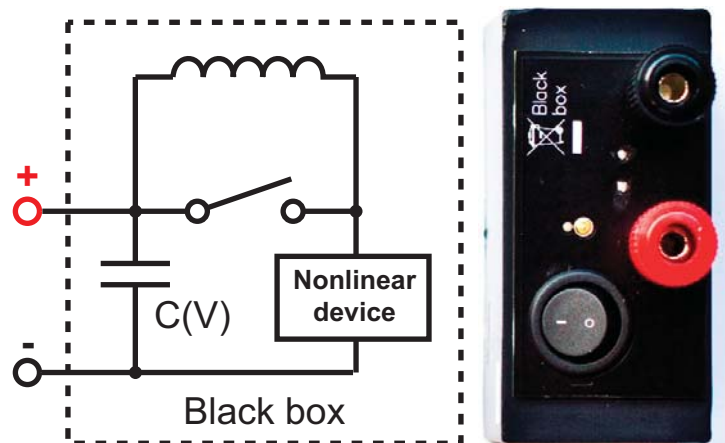
De constante-stroombron (current source) is stabiel zolang de spanning over de uitgangen tussen  $-0,6125\text{ V}$  and  $0,6125\text{ V}$  blijft. Wanneer de constante-stroombron uitgeschakeld wordt, gedraagt ze zich als een grote (in principe oneindige) weerstand.



De black box bevat een niet geheel lineaire condensator met grote capaciteit, een onbekende niet-lineaire component en een spoel met zelfinductie  $L=10\text{ }\mu\text{H}$  met verwaarloosbare weerstand en een schakelaar zoals aangegeven in de schakeling. De niet-lineaire component kan beschouwd worden als een weerstand met een niet-lineaire afhankelijkheid tussen de spanning en de stroomsterkte ( $I$  is een continue functie van  $V$  met  $I(0)=0$ ). Voor de condensator geldt dat de differentiële capaciteit  $C(V)=dQ/dV$  niet geheel constant is.

We spreken af dat de spanning op de black box positief is als de potentiaal van de rode aansluiting hoger is dan van de zwarte. De spanning is positief als de aansluitingen met dezelfde kleur op black box en stroombron met elkaar verbonden worden. Je mag negatieve spanningen gebruiken.

De condensator in de black box kan op een veilige manier ontladen worden door zijn eigen aansluitpunten kort te sluiten of door de condensator aan te sluiten op de IN en OUT aansluitpunten van de multimeter. De inwendige weerstand van de condensator is groot genoeg om te vermijden dat de stroom ergens schade zou toebrengen.

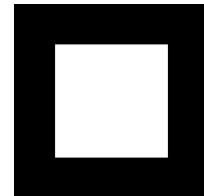


In de figuur staat "Nonlinear device" voor "Niet-lineaire component".

In deze gehele opgave is een foutenanalyse niet vereist.

# PROBLEM

## Problem E2



### Deel A. Schakeling zonder spoel (7 punten)

Houd in dit gedeelte de schakelaar op de black box gesloten (druk "1" in), zodat de spoel kortgesloten wordt. Bedenk dat sommige metingen veel tijd kunnen kosten. Lees daarom eerst alle taken van deel A door om onnodig werk te vermijden.

**i. (1 pt)** Toon aan dat de door de stroombron geleverde stroomsterkte ongeveer 6 mA is. Bepaal het bereik waarin deze varieert voor spanningen tussen 0 en +480 mV. Teken de gebruikte schakeling.

**ii. (1.2 pt)** Toon aan door meting dat bij een zelf gekozen spanning  $V_0$  de differentiële capaciteit  $C(V_0) = C_0$  in de black box ongeveer 2 F is. Teken de gebruikte schakeling.

**iii. (2.2 pt)** Verwaarloos hier de niet-lineariteit van de condensator [ $C(V) \approx C_0$ ]. Bepaal de stroom-spanning karakteristiek van de niet-lineaire component in de black box. Teken de  $I(V)$ -grafiek voor mogelijke positieve spanningen over de black box op het antwoordblad. Teken de gebruikte schakeling.

**iv. (2.6 pt)** Bereken en teken op het antwoordblad de  $C(V)$ -grafiek voor mogelijke positieve spanningen op de black box gebruik makend van metingen verspreid over het gehele bereik van positieve spanningen. Noteer de minimale en maximale waarden van de differentiële capaciteit  $C_{\min}$  en  $C_{\max}$ . Teken de gebruikte de schakeling.

### Deel B. Schakeling met spoel (3 punten)

Schakel de spoel in door de schakelaar op de black box te openen (druk "0" in). Meet en teken de stroom-spanning karakteristiek van de niet-lineaire component door gebruik te maken van dezelfde methode als in **A-iii**. Beschrijf enkele essentiële verschillen tussen de kromme van deel A en de kromme van deel B. Geef een mogelijke verklaring gebruik makend van kwalitatieve argumenten.

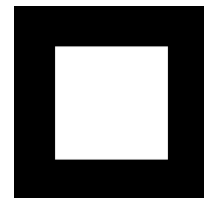
Houd er rekening mee dat de niet-lineaire component ook een capaciteit (ongeveer 1 nF) heeft, die parallel staat met deze niet-lineaire weerstand.

# PROBLEM

## Problem E2



IPhO  
Estonia 2012

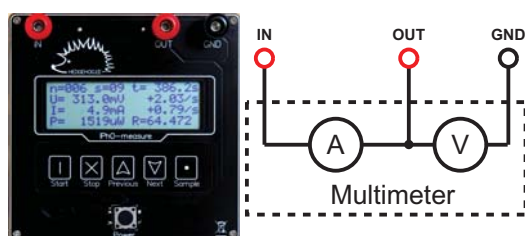


### IPhO-measure: korte handleiding.

IPhO-measure is een multimeter waarmee de spanning  $V$  en de stroomsterkte  $I$  *gelijktijdig* kunnen worden gemeten. De multimeter bepaalt van deze grootheden ook hun tijdsafgeleiden  $\dot{V}$  ( $= dV/dt$ ) en  $\dot{I}$  ( $= dI/dt$ ), hun product  $P=VI$ , het quotiënt  $R=V/I$ , en de tijd  $t$  van de meting. Opgeslagen metingen worden gesorteerd in verschillende reeksen; elke opgeslagen meting wordt genummerd door het reeksnummer  $s$  en het volgnummer  $n$  binnen de reeks. Elke opgeslagen meting wordt bewaard op een intern geheugen (internal flash memory) en kan later opnieuw worden bekeken.

### Elektrisch gedrag

Het apparaat gedraagt zich als een ampèremeter en voltmeter die als volgt zijn geschakeld:



	Bereik	Inwendige weerstand
Voltmeter	0...2 V	1 M $\Omega$
Voltmeter	2...10 V	57 k $\Omega$
Ampèremeter	0...1 A	1 $\Omega$

### Gebruiksaanwijzing

- Druk op "POWER" voor het aanzetten van de IPhO-measure. Het apparaat meet dan nog niet. Om te beginnen met meten moet je op "Start" drukken. Ook kun je je opgeslagen metingen bekijken, zie hieronder.

- Voor het doorzoeken van eerder opgeslagen metingen (van alle reeksen) druk "PREVIOUS" of "NEXT". Druk de knop wat langer in om reeksen over te slaan.

- Om een nieuwe reeks te starten, druk op "START", terwijl je niet bezig bent met meten.

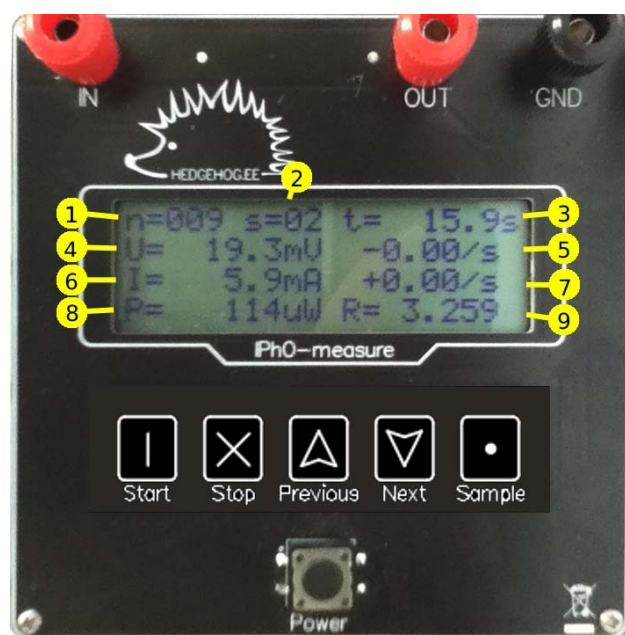
- Om een meetpunt van een reeks (met de actuele aflezing) op te slaan, druk op "SAMPLE" tijdens het meten.

- Tijdens het meten kun je ook vorige metingen van de huidige reeks bekijken door de knoppen "PREVIOUS" en "NEXT" te gebruiken.

- Druk "STOP" om een reeks te beëindigen en te stoppen met meten. Het apparaat staat nog steeds aan. Je kunt nu een nieuwe reeks metingen starten of opgeslagen metingen bekijken.

- Door op "POWER" te drukken gaat het apparaat uit. Het apparaat toont dan de tekst: "my mind is going..."; geen paniek, alle meetgegevens blijven opgeslagen en je kunt ze weer bekijken als je het apparaat opnieuw aanzet. Opgeslagen metingen gaan niet verloren.

### Scherm



Het scherm geeft 9 variabelen van een meting weer:

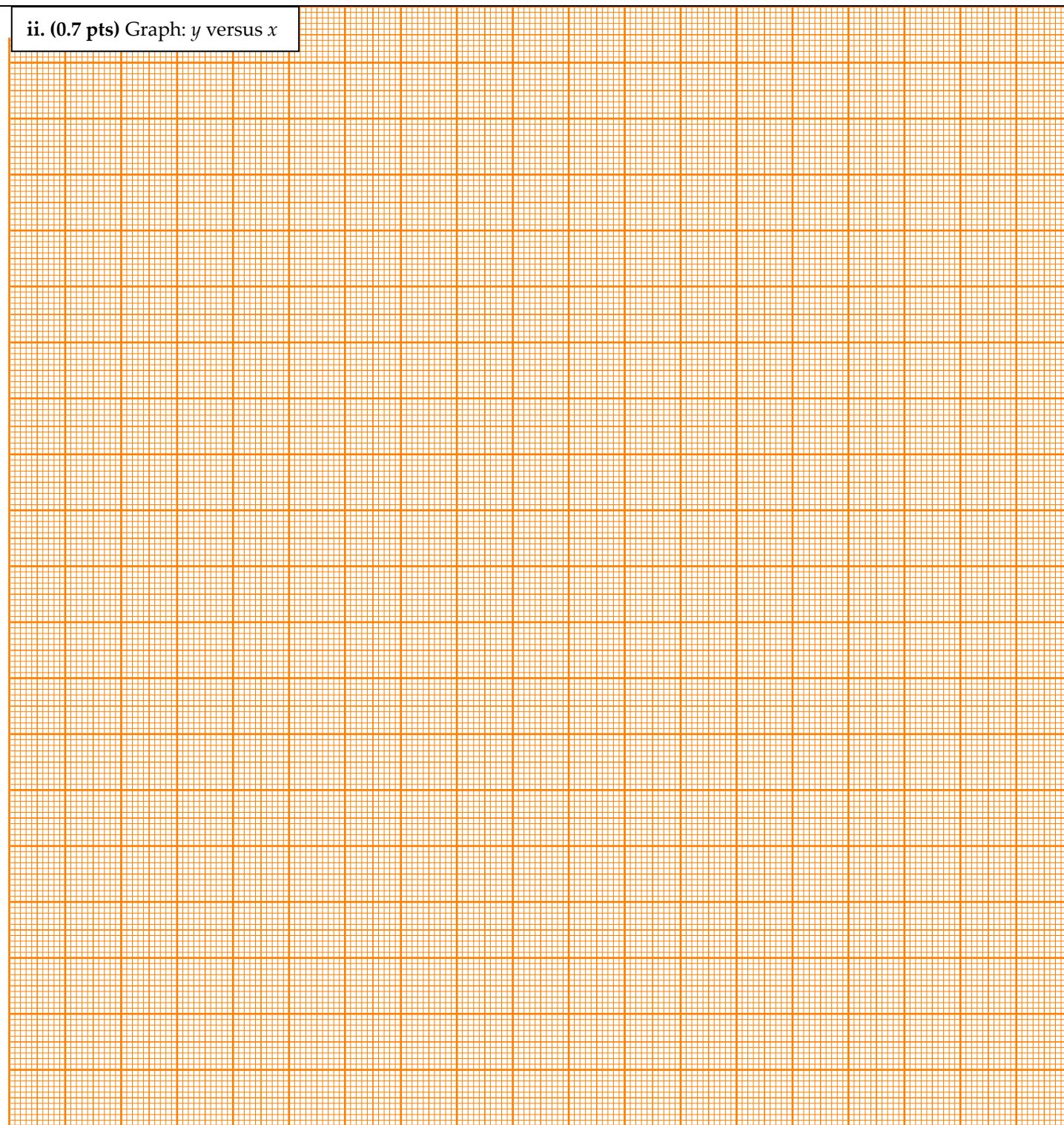
1. volgnummer  $n$  van de meting in de reeks;
2. volgnummer  $s$  van de reeks;
3. tijd  $t$  gemeten vanaf het begin van de reeks;
4. voltmeter output  $V$ ;
5. de verandering van  $V$  per tijdseenheid (de tijdsafgeleide  $\dot{V}$ ); indien de afgeleide niet bepaald kan worden vanwege fluctuaties dan verschijnt "+nan/s" op het scherm;
6. ampèremeter output  $I$ ;
7. de verandering van  $I$  per tijdseenheid (de tijdsafgeleide  $\dot{I}$ ); indien de afgeleide niet bepaald kan worden vanwege fluctuaties dan verschijnt "+nan/s" op het scherm;
8. produkt  $P = VI$ ;
9. quotiënt  $R = V/I$ .

Indien de metingen van de variabelen buiten hun bereik komen, dan verschijnt er voor die variabele "+inf" of "-inf" op het scherm.





ii. (0.7 pts) Graph:  $y$  versus  $x$



iii. (0.7 pt)  $\alpha_0 =$

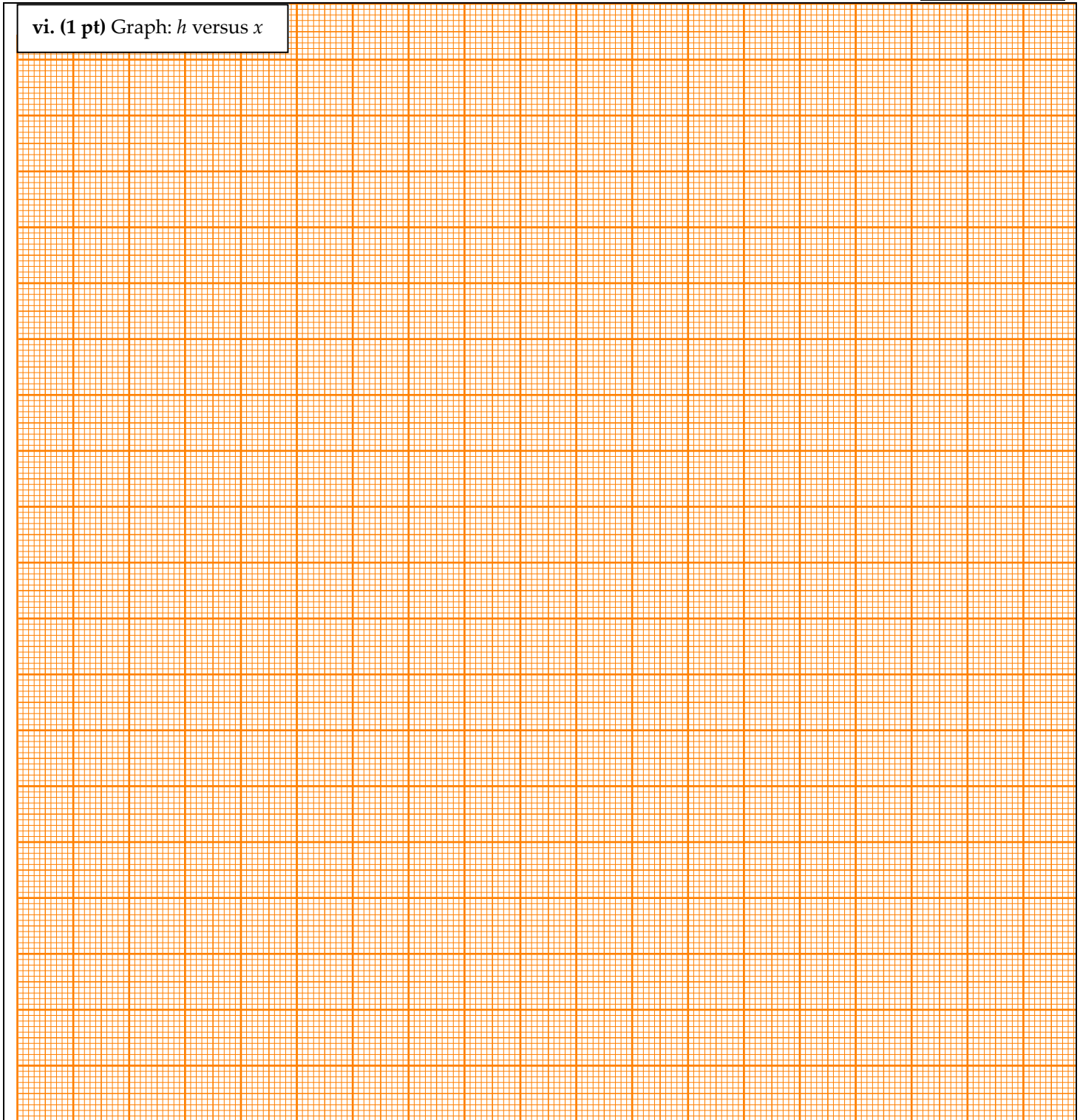
iv. (1.4 pt) Gebruik de vierde kolom van de tabel uit onderdeel i.

v. (1.6 pt). Gebruik de zevende kolom van de tabel uit onderdeel i.





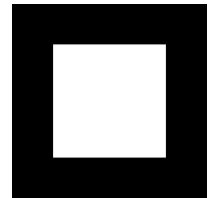
vi. (1 pt) Graph:  $h$  versus  $x$



**Deel C. Magnetische permeabiliteit (2 punten)**

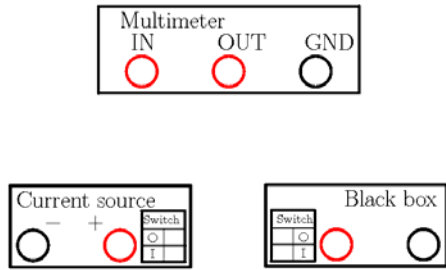
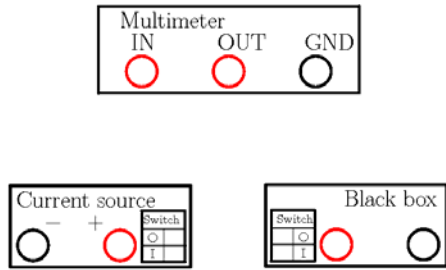
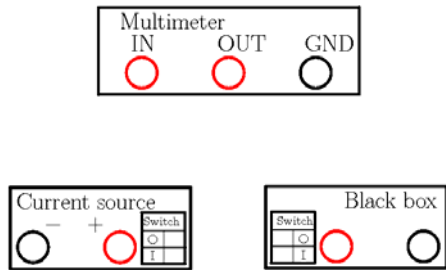
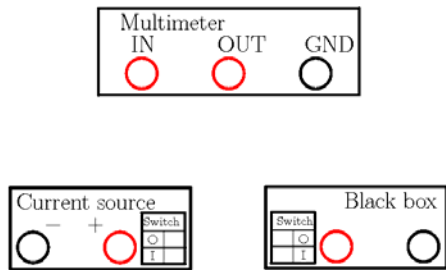
Formule:  $\mu - 1 =$

Numerieke waarde:  $\mu - 1 =$



## Opgave E2. Niet-lineaire Black Box (10 punten)

## Deel A. Schakeling zonder spoel (7 punten)

<p><b>i. (1 pt)</b> Minimale en maximale stroomsterkte:</p> <p><math>I_{\min} =</math></p> <p><math>I_{\max} =</math></p>	<p>Weergave van de gebruikte schakeling (kruis de positie van de schakelaars (switches) ook aan):</p> 
<p><b>ii. (1.2 pt)</b></p> <p><math>V_0 =</math></p> <p><math>C_0 =</math></p>	<p>Weergave van de gebruikte schakeling (kruis de positie van de schakelaars (switches) ook aan):</p> 
<p><b>iii. (2.2 pt)</b></p> <p>Noteer de waarden van <math>I(V)</math> en elk tussentijdse resultaat dat je nodig hebt in de tabel op de volgende pagina. (Gebruik net zoveel kolommen als je nodig hebt.) Teken de grafiek op pagina 6.</p>	<p>Weergave van de gebruikte schakeling voor het verkrijgen <math>I(V)</math> (kruis de positie van de schakelaars (switches) ook aan):</p> 
<p><b>iv. (2.6 pt).</b></p> <p>Noteer de waarden van <math>C(V)</math> en elk tussentijdse resultaat dat je nodig hebt in de tabel op de volgende pagina. (Gebruik net zoveel kolommen als je nodig hebt.) Teken de grafiek op pagina 7.</p> <p><math>C_{\min} =</math></p> <p><math>C_{\max} =</math></p>	<p>Weergave van de gebruikte schakeling voor het verkrijgen <math>C(V)</math> (kruis de positie van de schakelaars (switches) ook aan):</p> 

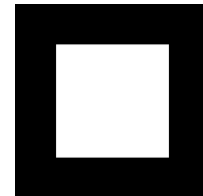


# ANSWER SHEET

## Problem E2



IPhO  
Estonia 2012



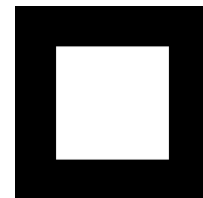
Graph:  $I$  versus  $V$

# ANSWER SHEET

## Problem E2

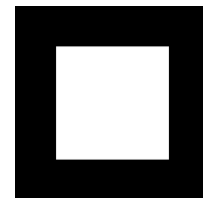


IPhO  
Estonia 2012

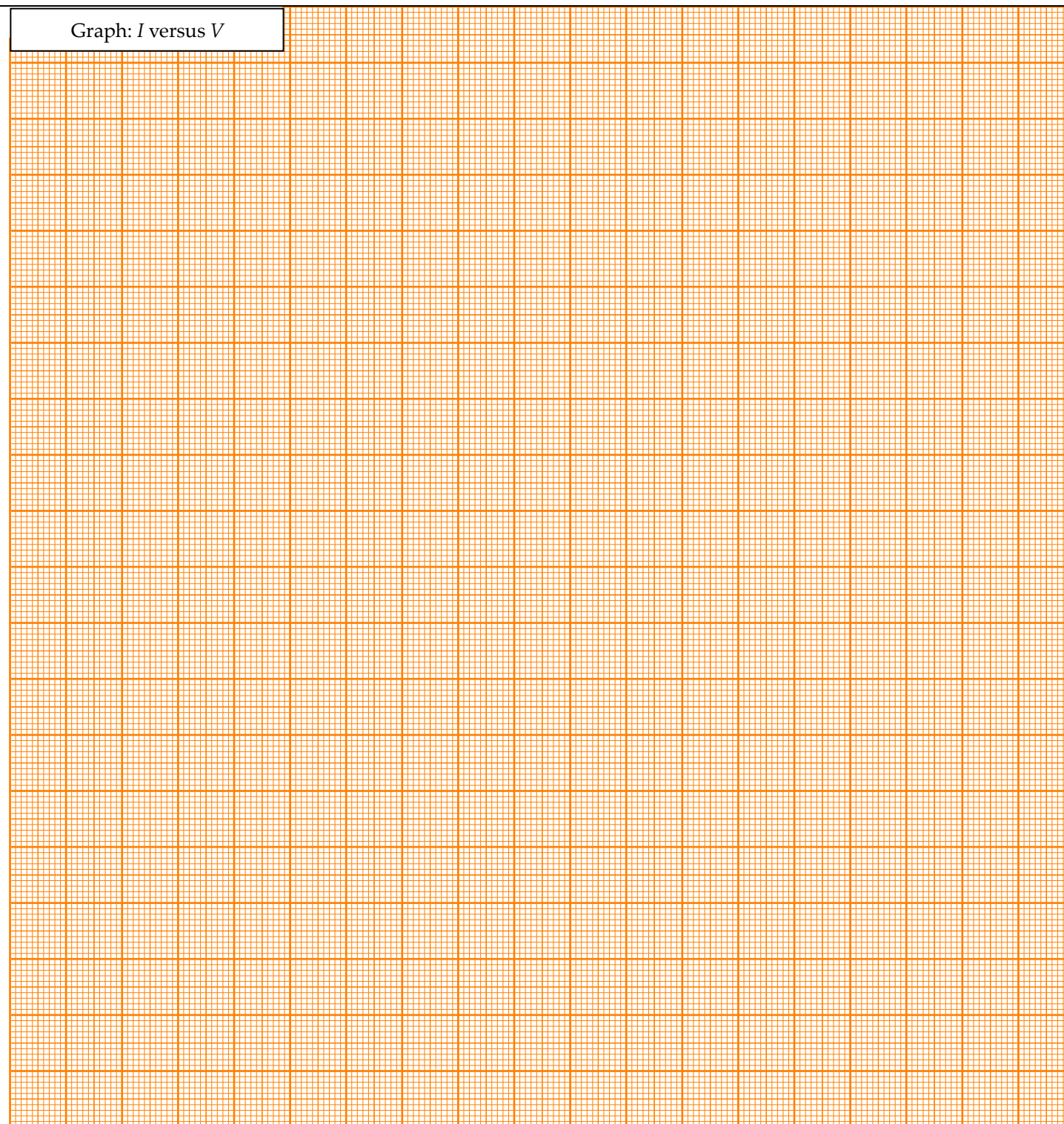


Graph:  $C$  versus  $V$





Graph:  $I$  versus  $V$



Er zijn significante verschillen tussen de kromme van Deel A en de kromme van Deel B als

Verklaring van de verschillen:

Voorwaarde voor $V$	
Voorwaarde voor $I(V)$ van Deel A	