

Algemene instructies voor de experimentele toets

De experimentele toets duurt 5 uur. De opdrachten in de experimentele toets zijn samen 20 punten waard. Succes van Ad en Enno!

Het begin en het einde van de toets wordt aangegeven door de surveillant. Je mag de enveloppen of documentenmappen met de opgaven niet openen voordat de surveillant het begin van de toets aangeeft. Elk uur worden er mededelingen gedaan over de verstreken tijd, zo ook 15 minuten voor het einde en aan het einde van de toets.

Tijdens het examen:

- Gebruik alleen de bijgeleverde pen. Je mag je figuren/schema's/grafieken met potlood uitwerken, maar trek de omtrek van de definitieve versie met de pen over om het beste contrast te verkrijgen wanneer je werk wordt gescand.
- Voor het schrijven van de definitieve antwoorden en het tekenen van de grafieken zijn aparte antwoordbladen (met A) beschikbaar: schrijf de vereiste waarnemingen in de juiste tabellen en vakjes en teken de bijbehorende grafieken, zoals in de tekst van de opgave wordt gevraagd. De blanco werkbladen (met markering W) zijn bedoeld voor het uitvoeren van de gedetailleerde werkzaamheden. Let erop dat je in je oplossingen de vraagnummers vermeldt en gebruik altijd de werkbladen die horen bij het probleem waar je op dat moment mee bezig bent (controleer het probleemnummer in de koptekst). Als je op een blad iets hebt geschreven dat je niet beoordeeld wilt zien, streep dat dan door. Gebruik alleen de voorkant van elke bladzijde en schrijf niets buiten de rand.
- Als je meer blanco bladen nodig hebt, vraag dit dan aan je surveillant. Schrijf je land- en studentcodes (kopieer die informatie van je werkbladen) en je paginanummer in de kop van elk verstrekt extra blad.
- Probeer in je antwoorden zo beknopt mogelijk te zijn: gebruik waar mogelijk vergelijkingen, logische operatoren en schetsen om je gedachten te illustreren. Vermijd het gebruik van lange zinnen.
- Expliciete foutberekening is niet vereist, tenzij er uitdrukkelijk om wordt gevraagd. Je wordt echter verzocht bij de opgave van getallen een passend aantal significante cijfers te vermelden. Ook moet je het juiste aantal datapunten of meetherhalingen bepalen, tenzij specifieke instructies worden gegeven.
- Soms kunt je latere delen van een probleem oplossen zonder de vorige te hebben opgelost.
- Je wordt gedurende het gehele examen geregistreerd. Je mag je werkplek niet zonder toestemming verlaten. Als je naar het toilet moet of andere hulp nodig hebt (extra bladen of pen, meer water of snacks), vraag dan de aandacht van je surveillant.

Aan het einde van het examen:

- Moet je onmiddellijk stoppen met schrijven zodra het einde van het examen wordt aangekondigd.
- Sorteert voor elke opgave de bijbehorende bladen in de volgende volgorde: voorblad bovenaan, antwoordbladen (A), en ten slotte werkbladen (W), inclusief eventuele lege of extra bladen onderaan. Deze bladen worden door je surveillant gescand en naar de server geüpload.
- Doe alle bladen die bij één opgave horen in dezelfde envelop of documentenmap, maar laat de bladen met algemene instructies (G) en de vragenbladen (Q) buiten de envelop of documentenmap op je tafel liggen.
- Wanneer de surveillant het toestaat mag je de examenruimte verlaten. Het is niet toegestaan iets mee te nemen uit de examenruimte.

Planeet (12 punten)

Je bevindt je op een buitenaardse planeet zonder dat je weet hoe je daar bent gekomen. Het eerste dat je probeert te doen, is meer te weten komen over de planeet waarop je je bevindt.

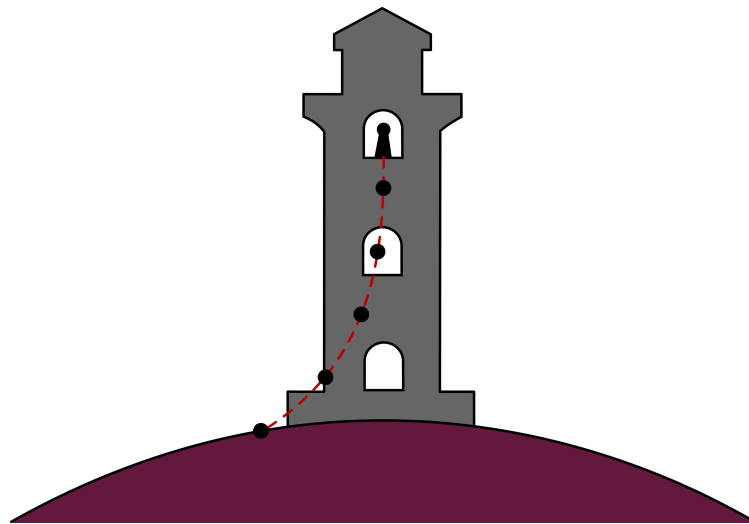
Je weet hoe Galileo met vallende ballen heeft geëxperimenteerd en daardoor wordt je geïnspireerd om een perfect verticale toren met een hoogte van $H = 2000$ m te bouwen.

Van deze toren kun je ballen laten vallen vanaf willekeurige hoogte h . Deze hoogte wordt gemeten tussen de grond en de onderkant van de bal op het moment dat de bal wordt losgelaten. Je hebt alleen ballen tot je beschikking met een straal $5 \text{ cm} \leq r \leq 50 \text{ cm}$ en een dichtheid $0.1 \text{ g/cm}^3 \leq \rho \leq 10 \text{ g/cm}^3$.

Elke keer dat je een bal laat vallen, laat je de bal vanuit rust los en kun je de tijdsduur t meten die de bal valt alsmede de afstand s . Dit is de horizontale afstand tussen de positie op de grond recht onder de positie van waar de bal wordt los gelaten en de positie waar de bal op de grond valt.

Voordat je start met je experimenten, heb je de volgende observaties over de planeet al verricht:

- Gebaseerd op de beweging van de zon, concludeer je dat je op de evenaar van de planeet bevindt.
- De planeet heeft een atmosfeer. De dichtheid van deze atmosfeer is klein genoeg om de opwaartse kracht te mogen verwaarlozen.
- De temperatuur onderaan de toren is $T_0 = 20^\circ\text{C}$.
- Er lijkt een wind parallel aan de evenaar te waaien die vrijwel gelijk is over de gehele hoogte van de toren. Verwaarloos het effect van de toren op de windsnelheid.



Een overdreven weergave van het probleem door een artiest.

Beschrijving van de simulatie software

Het 'commandoregelprogramma' **Exp1** simuleert de metingen van de valtijd t en de afbuiging s ten opzichte van de voet van de toren nadat je de hoogte h waarop de bal valt, de straal r en de dichtheid ρ van de bal hebt ingevoerd.

Alle waarden van de invoerparameters voer je na overeenkomstige prompts in via het toetsenbord en valideer door op de **Enter** toets te drukken.



Gebruik om aan de slag te gaan de volgende autorisatiesleutel (authorization key) als daarom gevraagd wordt:

Enter Valid Authorization Key: 12345678.888

Als je een verkeerde waarde invoert, zal het programma in een test-modus gaan. Je zal het programma opnieuw op moeten starten.

Een typische uitvoer van een enkele simulatiecyclus van het programma ziet er als volgt uit:

```

0 < h (m) < 2000 | h (m): 90
5 < r (cm) < 50 | r (cm): 13
0.1 < rho (g/cm^3) < 10.0 | rho (g/cm^3): 2
...
t (s) = 3.5, s (m) = 0.1
=====
0 < h (m) < 2000 | h (m):_
    
```

Allereerst voer je de hoogte h in (in m, waarde tussen 0 en 2000), daarna de straal r van de bal (in cm, waarde tussen 5 en 50) en als laatste de dichtheid ρ van de bal (in g/cm^3 , waarde tussen 0,1 en 10)

Elke invoer bevestig je met de **Enter** toets.

Het programma geeft dan als output t in s en s in m.

Het programma keert dan weer terug naar de vraag voor input hoogte van de toren.

Als je een waarde invoert die buiten het bereik van dit experiment valt, zal het programma een foutmelding geven:

Value Out Of Bounds!

en keert dan terug naar de verkeerd ingevoerde waarde.

De ingevoerde hoogte h wordt afgerond op 1 m, de straal r op 1 cm en de dichtheid ρ op 0,01 g/cm^3 . (Het heeft geen zin om met grotere nauwkeurigheid waarden in te voeren.)

De resultaten van het experiment bevatten willekeurige fouten, om zodoende de beperkte precisie te simuleren die men in het echt ook zou hebben. De grootte van deze fouten kan worden gevonden door de fluctuaties in de output te meten.

Je kan op elk gewenst moment het programma stoppen door **Ctrl+C** te typen.

Lijst met enige constanten en enkele nuttige formules

Gravitatie constante $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.

(Ideale) gas constante $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$,

$0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$.

De luchtweerstand (drag) op een bal met dwarsdoorsnede A en snelheid v in lucht met een dichtheid ρ_a , wordt gegeven door:

$$F_d = 0.24A\rho_a v^2.$$

Een adiabatische atmosfeer heeft een dichtheidsprofiel (density profile) dat wordt gegeven door:

$$\rho_a(h) = \rho_{a0} \left(1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\mu g h}{RT_0}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \rho_{a0} \left(1 - \frac{h}{H_0}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}},$$

Deze formule is geldig tot aan de top van de atmosfeer waar $T = 0$ K.

In de formule is γ de adiabatische coëfficiënt, μ de molaire massa van de lucht (oftewel het gas in de atmosfeer van de planeet), g de (vrije) valversnelling en h de hoogte vanaf de grond.

Deel A. Eigenschappen van de planeet (3.0 punten)

A.1 Bepaal de (vrije) valversnelling op de planeet door een geschikte reeks metingen te doen en een geschikte grafiek in de daarvoor bestemde ruimte te schetsen. Geef een foutenanalyse van je resultaat. 2.0pt

A.2 Als je van de toren langs de evenaar wegloupt, merk je dat je de toren kunt zien tot op een afstand $L = 230$ km, de gemeten afstand tussen de top van de toren en jezelf. Wat is de straal R van de planeet? Je mag hierbij aannemen dat je eigen hoogte veel kleiner is dan de hoogte van de toren. 0.5pt

A.3 Geef een schatting van de massa M van de planeet. Geef een foutenanalyse van je resultaat. 0.5pt

Welk fysiek effect heeft het meeste effect op jouw nauwkeurigheid van het resultaat van de schatting van M ?
Kruis op het antwoordblad het juiste effect aan.

Deel B. Eigenschappen van de atmosfeer (6.5 punten)

B.1 Bepaal de windsnelheid u aan het oppervlak van de planeet. Verricht hiertoe een geschikte reeks metingen en maak m.b.v. deze metingen een geschikte grafiek in de daarvoor bestemde ruimte. Geef een foutenanalyse van je resultaat. 2.0pt

B.2 Bepaal de dichtheid van de lucht aan het oppervlak van de planeet. Verricht hiertoe extra metingen of gebruik al eerdere metingen. maak een geschikte grafiek in de daarvoor bestemde ruimte. Geef een foutenanalyse van je resultaat. 1.0pt



B.3 Neem aan dat de atmosfeer adiabatisch is met een adiabatische constante van $\gamma = 1.4$. 3.0pt
Bepaal de dikte H_0 van de atmosfeer.
Verricht hiertoe een geschikte reeks metingen en maak een geschikte grafiek in de daarvoor bestemde ruimte. Geef een foutenanalyse van je resultaat.

B.4 Bepaal de molaire massa μ van de lucht en de luchtdruk p_0 aan de voet van de toren. Geef een foutenanalyse van je resultaat. 0.5pt

Deel C. Hoe lang duurt een dag? (2.5 punten)

C.1 Bepaal de duur van een dag, T_p , op de planeet. 2.5pt
Verricht hiertoe een geschikte reeks metingen en maak m.b.v. deze metingen een geschikte grafiek in de daarvoor bestemde ruimte. Geef een foutenanalyse van je resultaat.



Deel A. Eigenschappen van de planeet

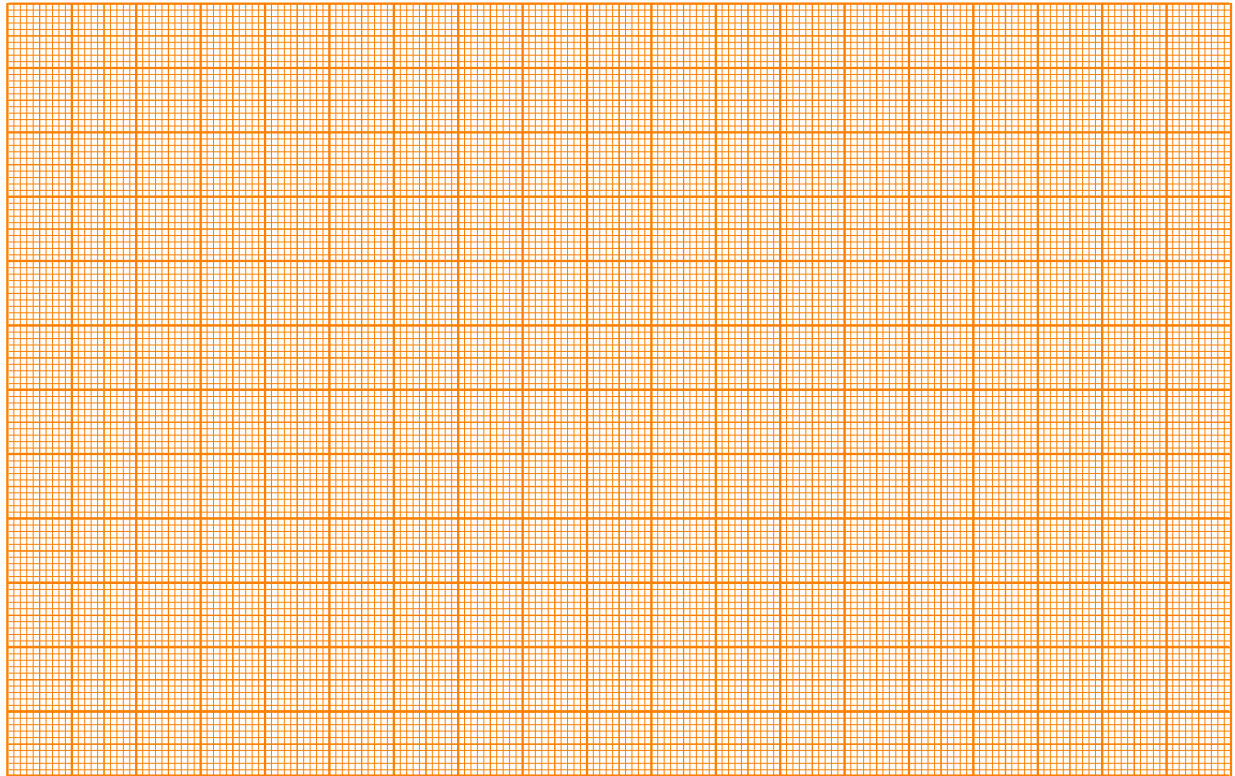
A.1 (2.0 pt)

$g =$

$\Delta g =$



A.1 (cont.)



A.2 (0.5 pt)

$R =$

A.3 (0.5 pt)

$M =$

$\Delta M =$

Kruis het effect aan dat de grootste invloed heeft op de nauwkeurigheid van M .

Luchtweerstand werkend op de bal.	<input type="checkbox"/>
Coriolis kracht $F_C = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$ werkend op de bal. Hierbij zijn m en \vec{v} de massa en snelheid van de bal en $\vec{\omega}$ is de hoeksnelheid van de planeet.	<input type="checkbox"/>
Hogere orde correcties van de zwaartekracht ten gevolge van algemene relativiteit waarvan de relatieve grootte in de orde van grootte ligt van de hoek waarmee een foton wordt afgebogen ten gevolge van de aantrekkingskracht van de planeet.	<input type="checkbox"/>
Centrifugale kracht werkend op de bal.	<input type="checkbox"/>
Verandering in g ten gevolge van de afstand tot de planeet tijdens de val.	<input type="checkbox"/>



Deel B. Eigenschappen van de atmosfeer

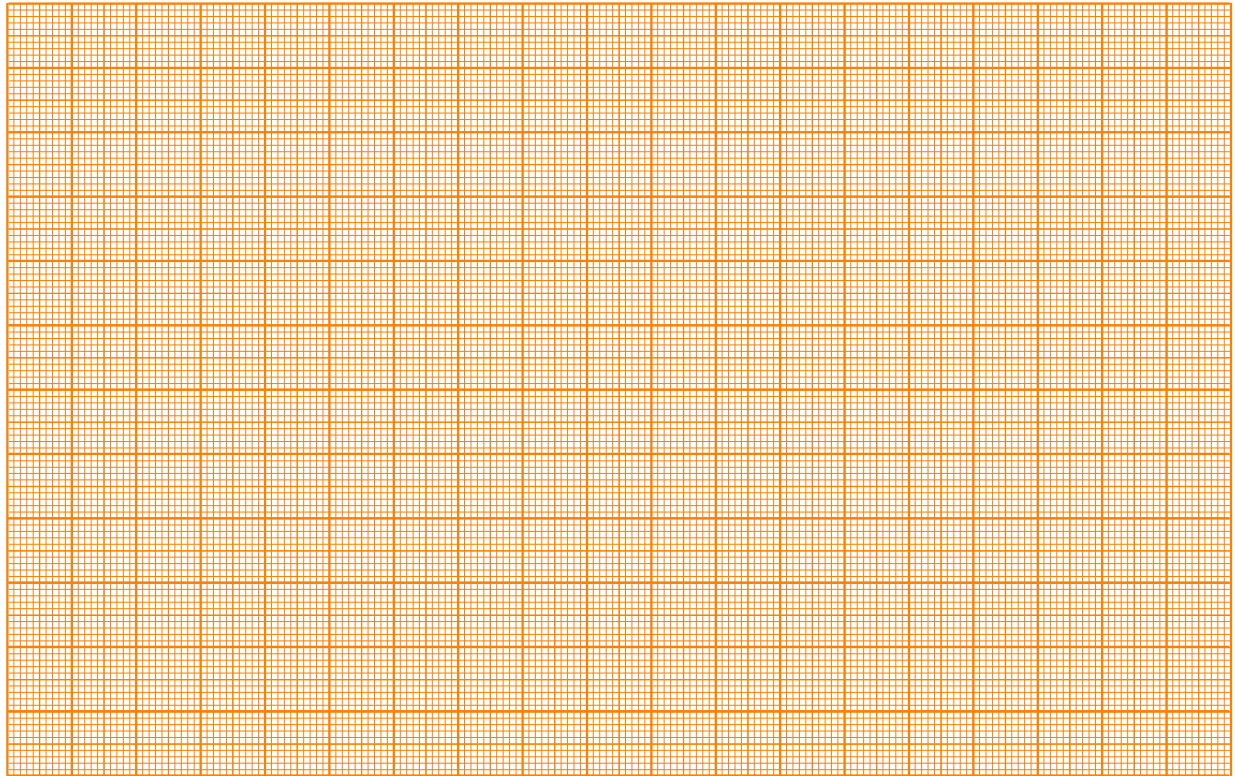
B.1 (2.0 pt)

$u =$

$\Delta u =$



B.1 (cont.)

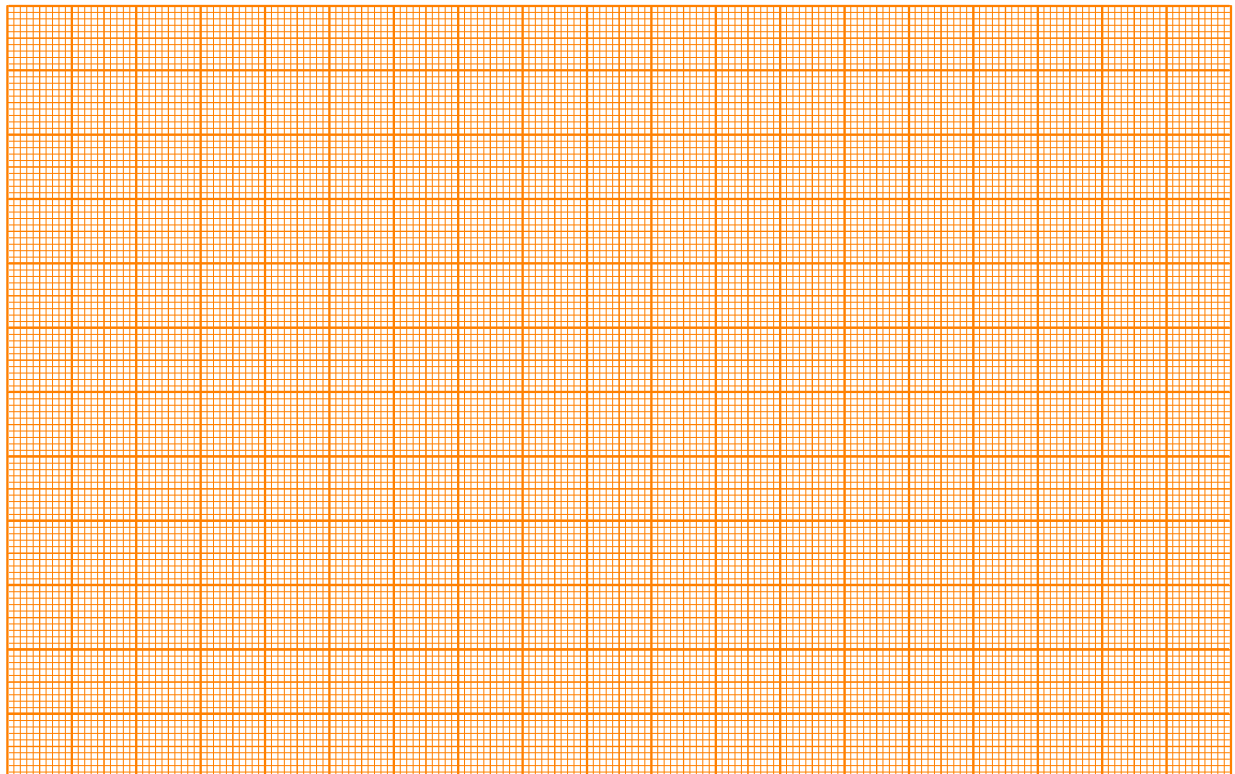




B.2 (1.0 pt)

$$\rho_{a0} =$$

$$\Delta\rho_{a0} =$$





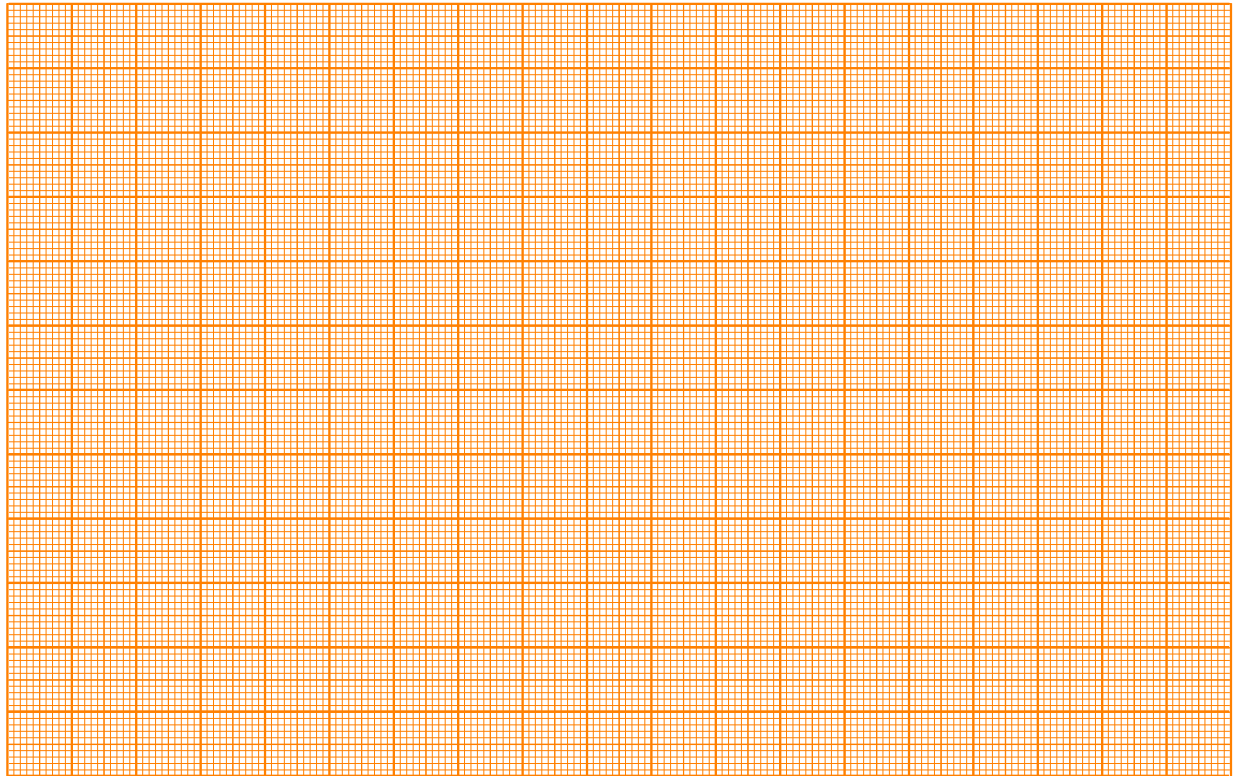
B.3 (3.0 pt)

$$H_0 =$$

$$\Delta H_0 =$$



B.3 (cont.)



B.4 (0.5 pt)

$\mu =$

$\Delta\mu =$

$p_0 =$

$\Delta p_0 =$



Deel C. Hoe lang duurt een dag?

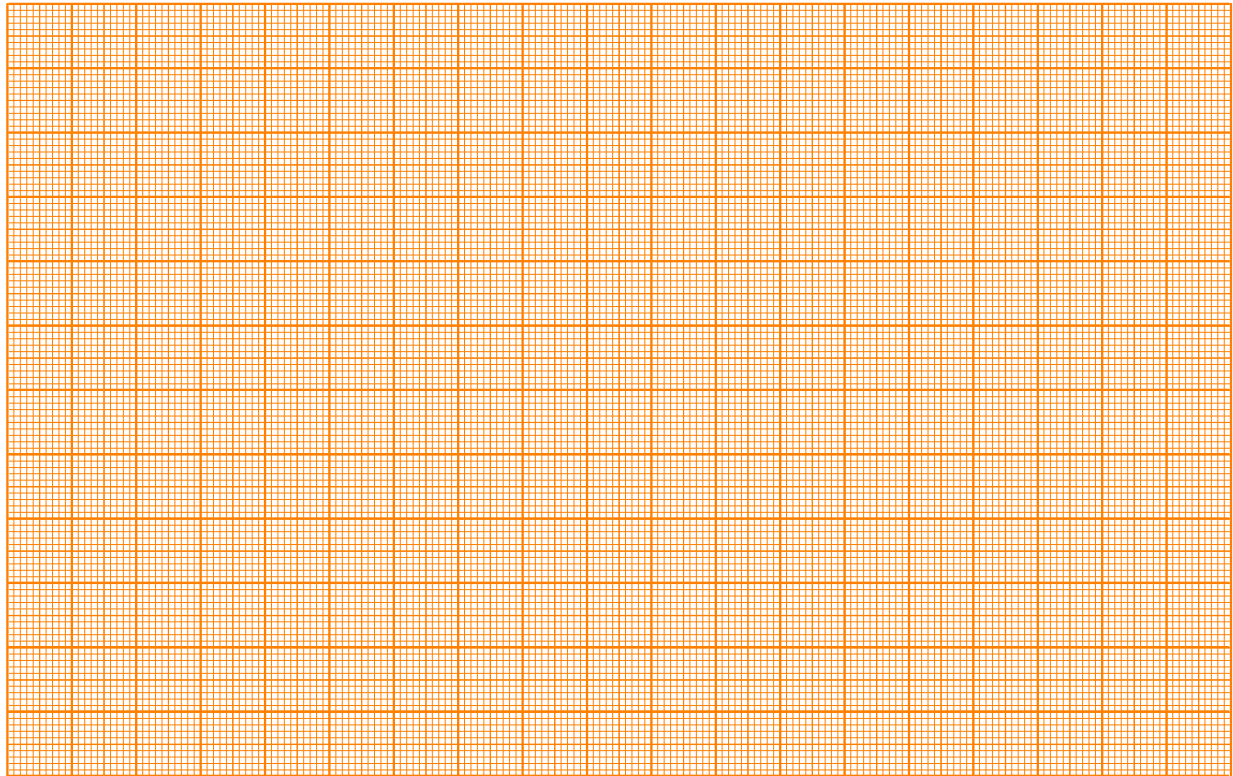
C.1 (2.5 pt)

$$T_p =$$

$$\Delta T_p =$$



C.1 (cont.)



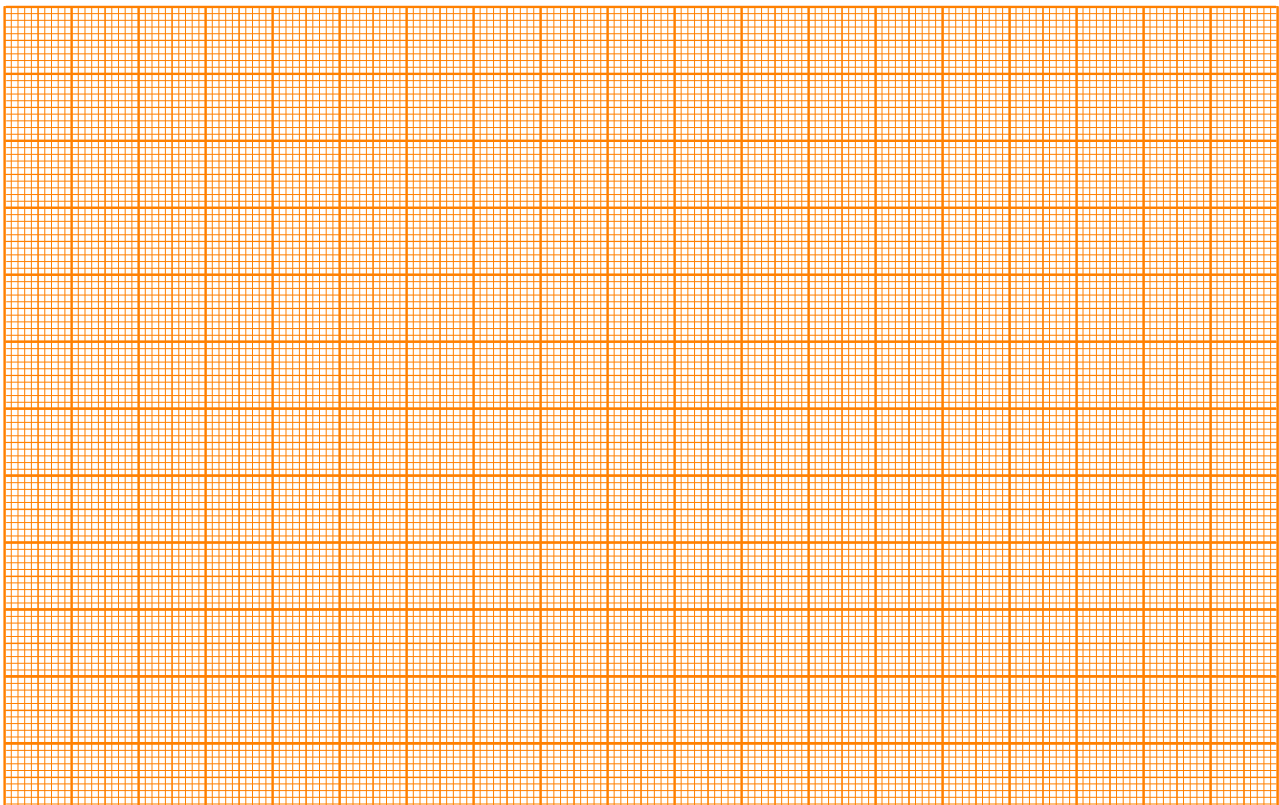
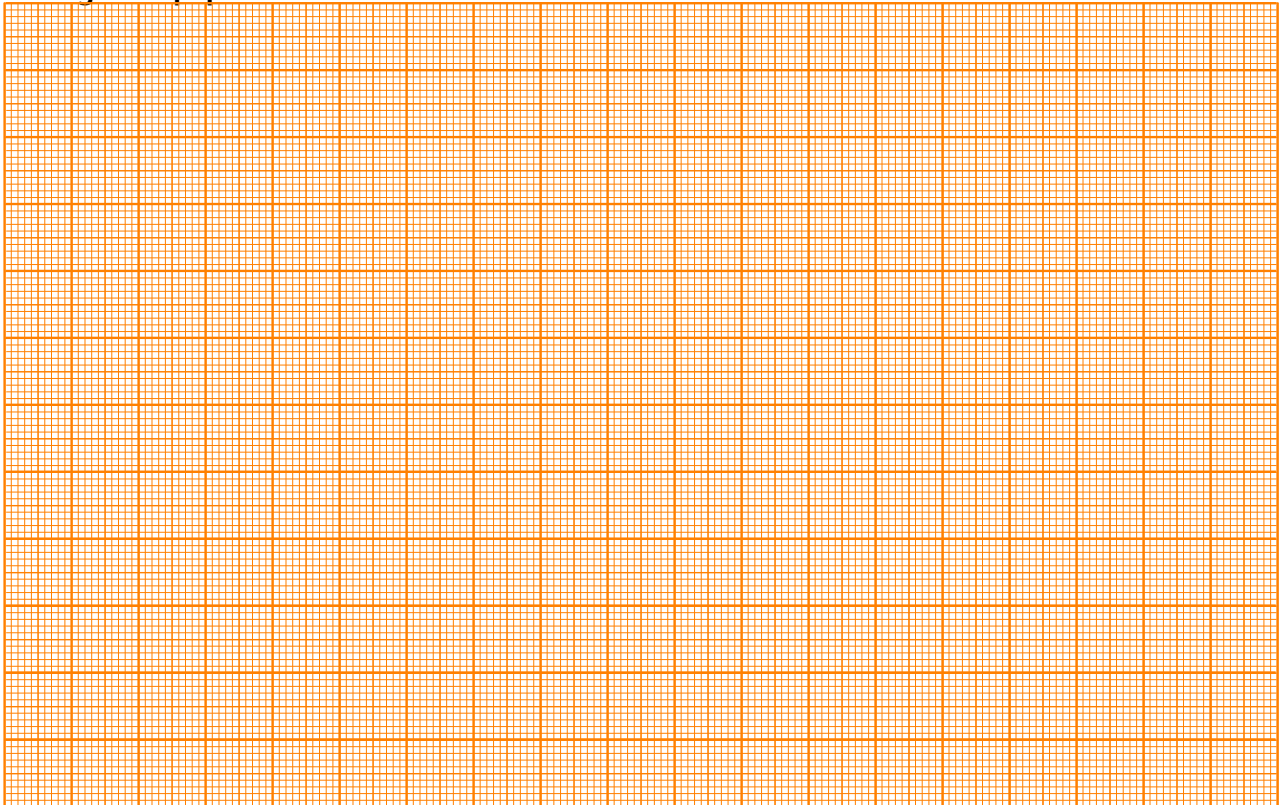
Experiment



A1-11

Dutch (Netherlands)

Extra grafiekpapier



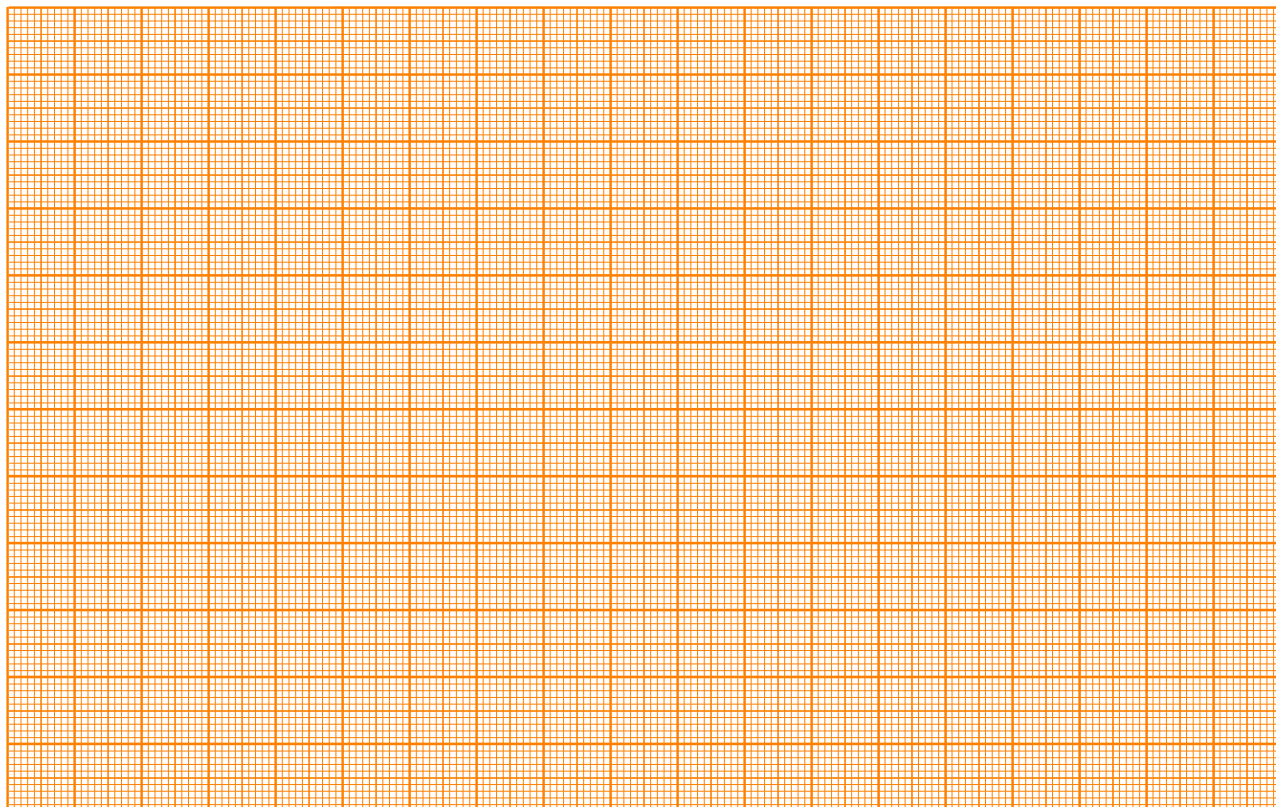
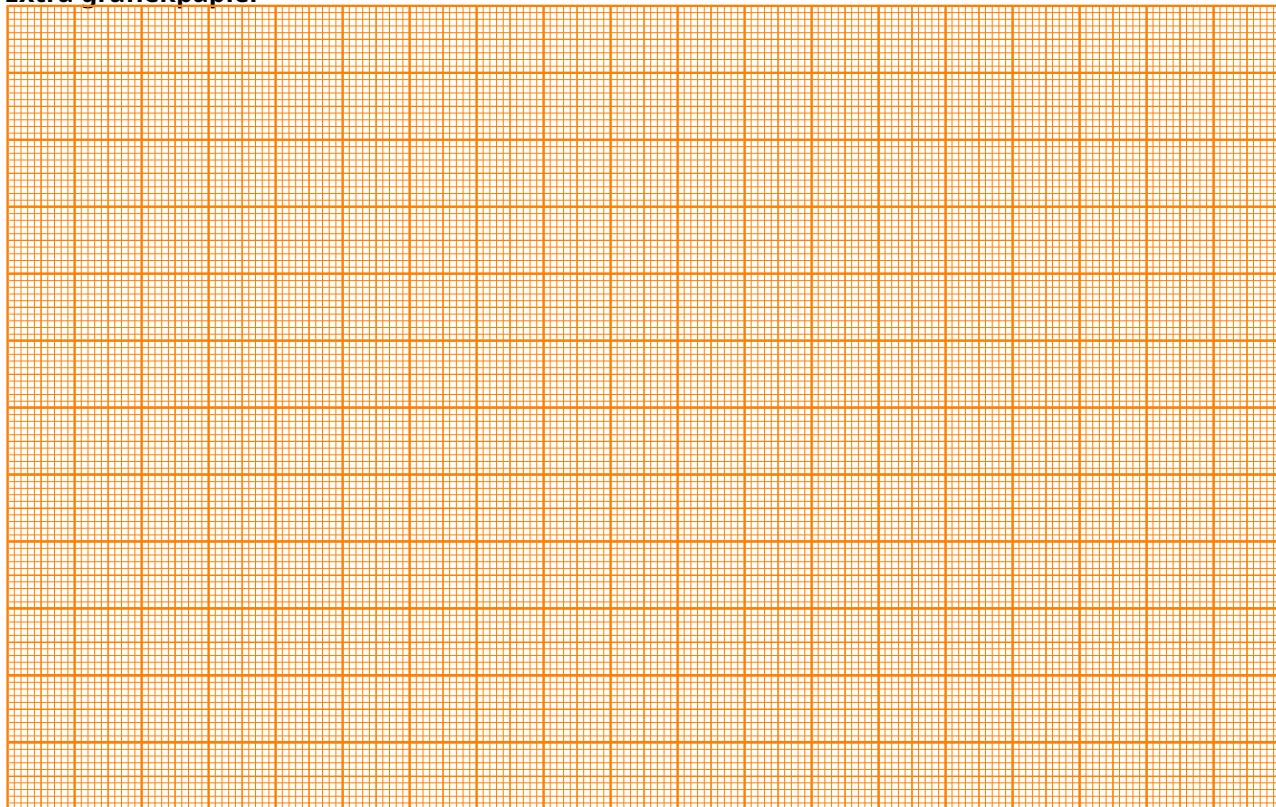
Experiment



A1-12

Dutch (Netherlands)

Extra grafiekpapier



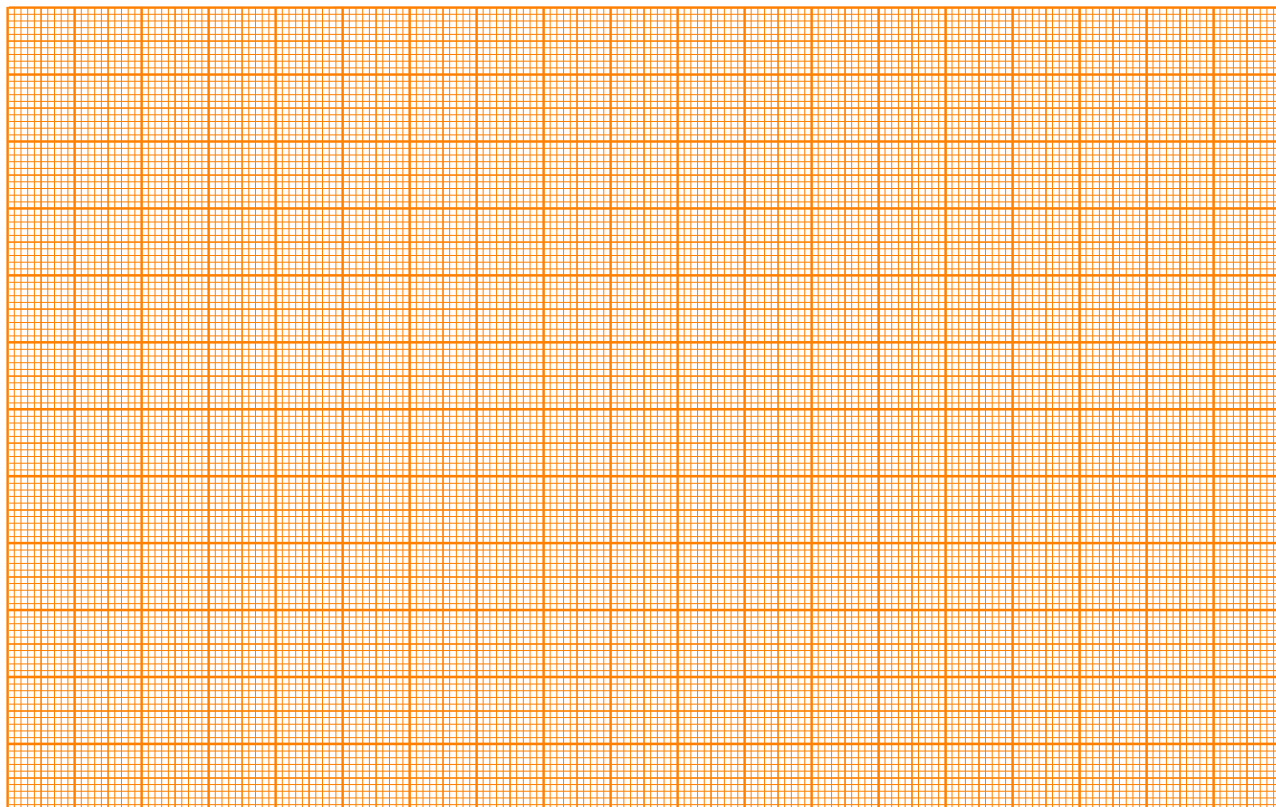
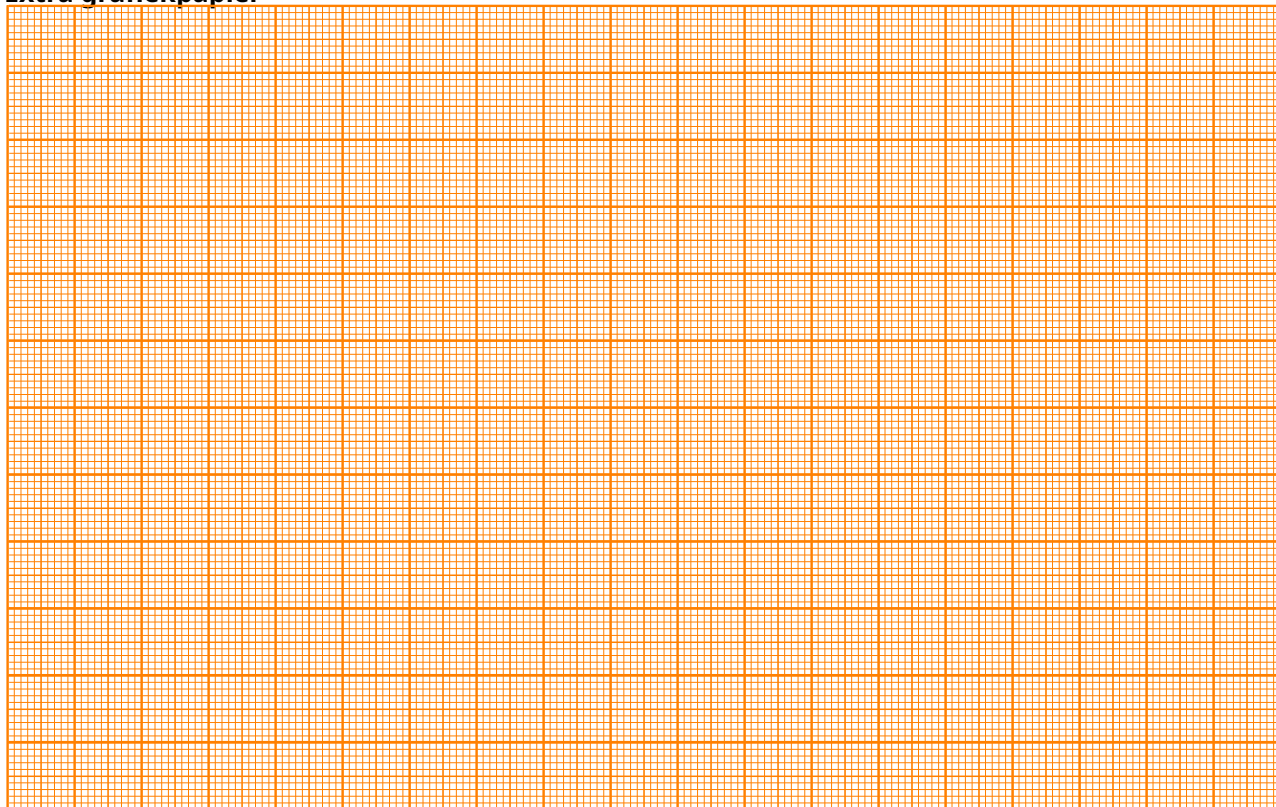
Experiment



A1-13

Dutch (Netherlands)

Extra grafiekpapier



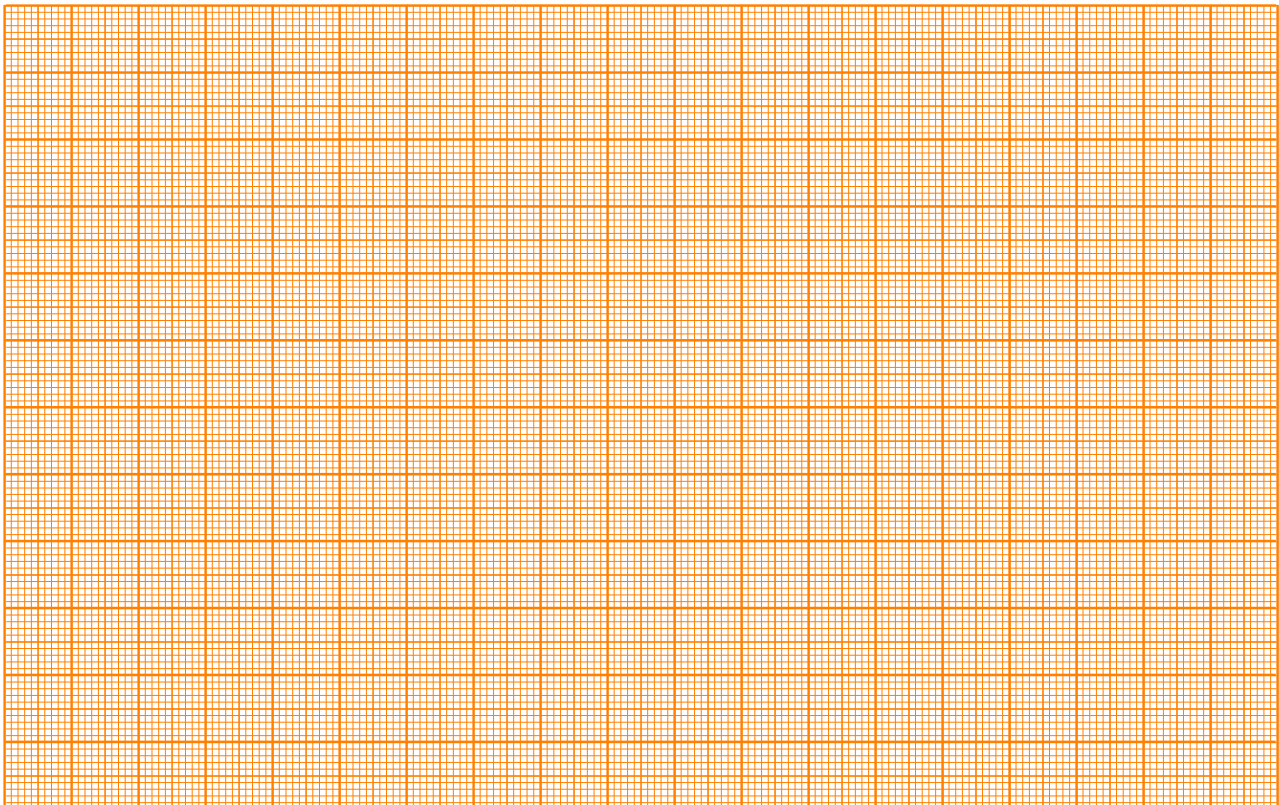
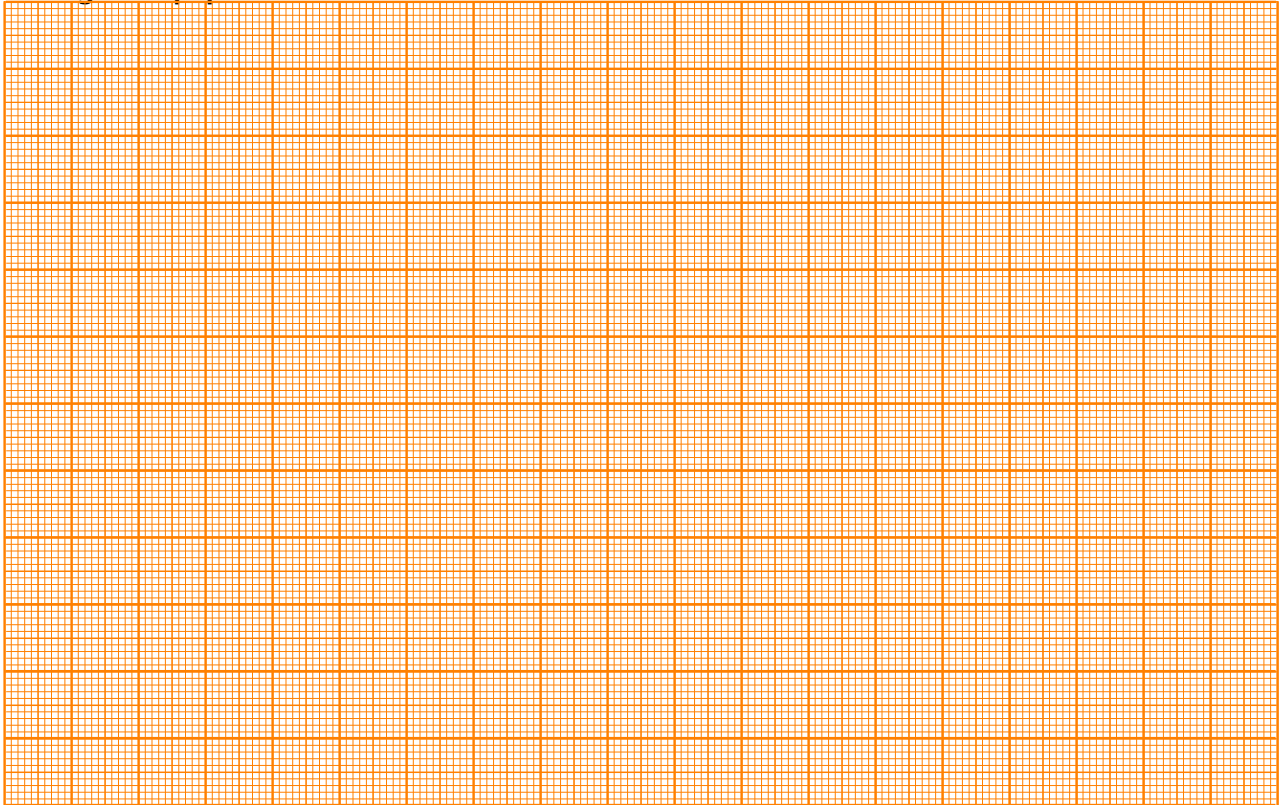
Experiment



A1-14

Dutch (Netherlands)

Extra grafiekpapier



Experiment



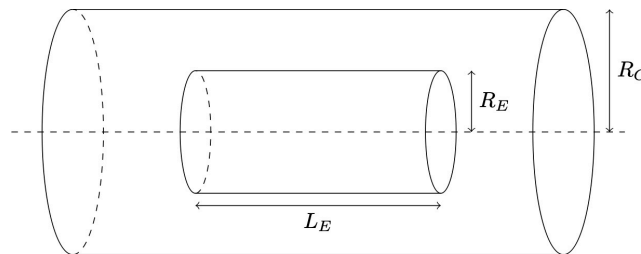
A1-15

Dutch (Netherlands)

Cilindrische diode (8.0 punten)

Experimentele opzet en opgaven

Een cilindrische vacuümdiode bestaat uit twee coaxiale cilinders. Er is een emitter met straal R_E en lengte L_E , deze emitter geeft elektronen af; deze elektronen verplaatsen zich door het vacuüm naar de collector. Deze collector heeft een straal R_C en een effectieve oneindige lengte. De collector heeft een positieve potentiaal V , terwijl de emitter geaard is, zodat elektronen van de emitter naar de collector gaan.



De emitter wordt verwarmd zodat er altijd een overschot aan elektronen beschikbaar is om door het potentiaalverschil naar de collector te worden versneld. De elektronen vullen het vacuüm met een plasma. Door de eigenschappen van een plasma is er een maximale stroom die door de diode kan gaan. Deze hangt af van de potentiaal van de collector en de geometrische eigenschappen van het systeem.

Beperk in dit experiment je metingen tot $R_C \geq 5R_E$.

Als L_E groot genoeg is in vergelijking met R_C , wordt verondersteld dat de maximale stroom door de diode gelijk is aan

$$I_\infty = GR_C^\alpha L_E^\beta V^\gamma \quad (1)$$

waarbij $G = G(R_C/R_E)$ geen constante is, maar een functie van de dimensieloze verhouding R_C/R_E .

Als L_E vergelijkbaar is met R_C , is een correctie op bovenstaande uitdrukking noodzakelijk, en de maximale stroom door de diodes wordt gegeven door

$$I_L = I_\infty F(R_C, R_E, L_E, V) \quad (2)$$

waarin F een dimensieloze functie is van één of meer van de grootheden R_C , R_E , L_E en V . Vergelijking (1) is het speciale geval van vergelijking (2) wanneer $F = 1$.

Bij dit experiment heb je de beschikking over een gesimuleerde cilinder met een straal van 0,1 cm tot maximaal 20,0 cm, in stappen van 0,1 cm. De cilinderlengtes kunnen liggen tussen 1,0 cm en 99,0 cm, eveneens in stappen van 0,1 cm. Er is een gesimuleerde voeding die de collector kan voorzien van een positieve spanning tussen 0 en 2000 volt, en een ampèremeter die de stroom door de diode kan meten.

Lees alle taken snel door voordat je begint, zodat je je gegevensverzameling efficiënter kunt plannen.

Beschrijving van de simulatie software

Met het simulatieprogramma, **Exp2** genaamd, kun je een onbeperkt aantal metingen verrichten van de maximale stroom I voor verschillende reeksen invoerparameters: de collectorstraal R_C , de emitterstraal en -lengte R_E en L_E , en het potentiaalverschil tussen de emitter en de collector V . Alle waarden van de invoerparameters worden ingevoerd via het toetsenbord op aanwijzing en gevalideerd door op de **Enter**-toets te drukken.

Gebruik, om te beginnen, de volgende autorisatiesleutel als erom wordt gevraagd.

Enter Valid Authorization Key: 12345678.888

Als je een onjuiste waarde invoert, wordt het programma in de testmodus gezet; je moet het programma dan opnieuw starten.

Een typische interface van een enkele simulatiecyclus van het programma ziet er als volgt uit:

```
0.1 < R_C (cm) < 20.0 | R_C (cm): 18.5
0.1 < R_E (cm) < 20.0 | R_E (cm): 13.2
0.1 < L_E (cm) < 99.0 | L_E (cm): 35.3
1.0 < V_C (V) < 2000.0 | V_C (V): 207

I (A) = 1.04
=====
0.1 < R_C (cm) < 20.0 | R_C (cm):
```

Eerst wordt de straal van de collector ingevoerd, dan de straal van de emitter, daarna de emitterlengte, alles in centimeters, en tenslotte het potentiaalverschil, in volt. Elke invoer wordt bevestigd met de **Enter**-toets.

Het programma keert dan terug naar een nieuwe vraag voor invoer van de straal van de collector.

Als je een waarde invoert dat buiten het bereik van het experiment valt, krijg je een foutmelding,

Value Out Of Bounds

en keer je terug naar de prompt met het onjuiste antwoord.

Alle lengten worden slechts tot op de millimeter nauwkeurig geregistreerd, terwijl alle spanningen slechts tot op de volt nauwkeurig worden geregistreerd; het invoeren van een nauwkeuriger getal verbetert de meting niet. Er is echter een onzekerheid van maar liefst 0,5 mm in elke lengte, en 0,5 V in elke spanning. Herhaalde metingen kunnen dus verschillende resultaten voor de stroom opleveren.

De ampèremeter is auto ranging en geeft slechts drie significante cijfers aan en schakelt tussen de ampère- of milliampèreschaal, afhankelijk van de situatie. De onzekerheid is $\pm \frac{1}{2}$ van het laatst getoonde cijfer. Let erop of hij in mA of A aangeeft.

Overschrijding van 40 ampère stroomsterkte op de ampèremeter zal deze doen doorbranden. Het programma zal u hiervan op de hoogte brengen, en de ampèremeter dan automatisch 'repareren' voor de volgende meting.

Telkens wanneer je het programma wilt verlaten om opnieuw te starten, drukt je op Ctrl+C.

Deel A: Bepalen van exponenten (4.5 punten)

Bepaal de exponenten in Eq (1) en geef een analyse van de foutgrenzen van elk resultaat:

A.1 Verzamel een reeks gegevens die kunnen worden gebruikt om de exponent γ op de variabele V te vinden. Schets een passende grafiek in de daarvoor bestemde ruimte; voor het gemak is lineair en log-log grafiekpapier bijgeleverd, maar je hoeft slechts één grafiek te tekenen. Geef je waarde van γ en geef een analyse van de onzekerheid van je resultaat. 1.5pt

A.2 Verzamel een reeks gegevens die kunnen worden gebruikt om de exponent β op de variabele L_E te vinden. Schets een passende grafiek in de daarvoor bestemde ruimte; een enkele grafiek is voldoende. Noem je waarde van β en geef een analyse van de onzekerheid van je resultaat. 1.5pt

A.3 Verzamel een reeks gegevens die kunnen worden gebruikt om de exponent α op de variabele R_C te vinden. Schets een passende grafiek in de daarvoor bestemde ruimte; een enkele grafiek is voldoende. Geef je waarde van α en geef een analyse van de onzekerheid van je resultaat. 1.5pt

Deel B: De coëfficiënt G vinden (1.0 punten)

Bepaal de waarde van de functie G als $R_C = 10R_E$:

B.1 Bepaal, hetzij door het verzamelen van aanvullende gegevens, hetzij door hergebruik van eerdere gegevens, de waarde voor G wanneer $R_C = 10R_E$ en geef een analyse van de onzekerheid van je resultaat. 1.0pt

Deel C: Bepaling dimensieloze functie F (2.5 punten)

Bepaal experimenteel welke van R_E en V van invloed is op F wanneer L_E vergelijkbaar is met de grootte van R_C in vergelijking (2).

C.1 Geef in de lijst van variabelen op het antwoordblad de richting van het effect aan; bijvoorbeeld, neemt F toe, neemt F af of blijft hij gelijk als R_C wordt verhoogd? 0.5pt

C.2 Men stelt vast dat wanneer $L_E \approx R_C$ de functie F kan worden benaderd als lineair in één variabele x , waarbij x een functie is van slechts twee uit R_C , R_E , L_E , en V . Het antwoordblad heeft verschillende mogelijke functievormen voor x ; kies degene die het meest significante gedrag weergeeft. 0.5pt

C.3 Veronderstel een lineaire functie van de vorm $F(x) = A + Bx$ voor waarden van $L_E \approx R_C$, en bepaal experimenteel de parameter B . Beperk je tot het bereik $R_C/2 \leq L_E \leq 2R_C$. Schets een geschikte grafiek voor F in termen van je enige geschikte grootte x om F als een lineaire functie te benaderen. Foutenanalyse is niet nodig. 1.5pt



Cilindrische diode

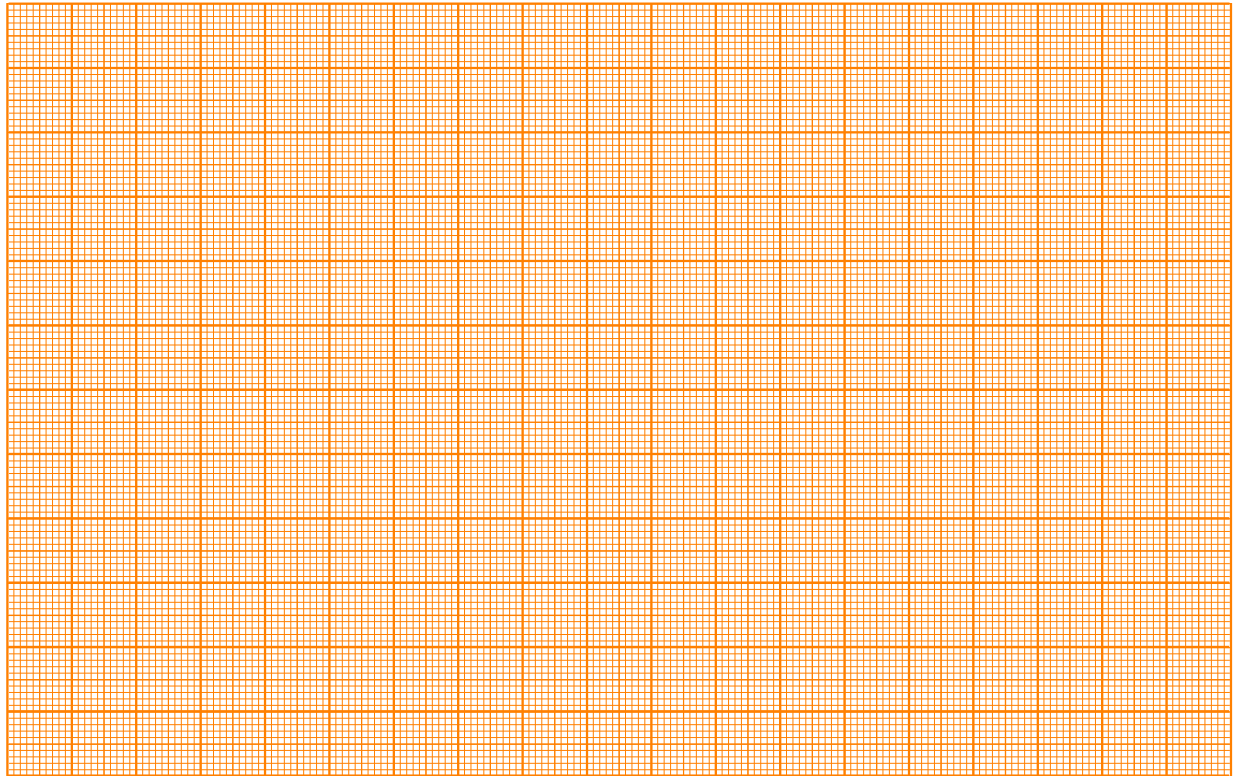
Deel A: Exponenten vinden (4.5 punten)

A.1 (1.5 pt)

Data-tabel



A.1 (cont.)



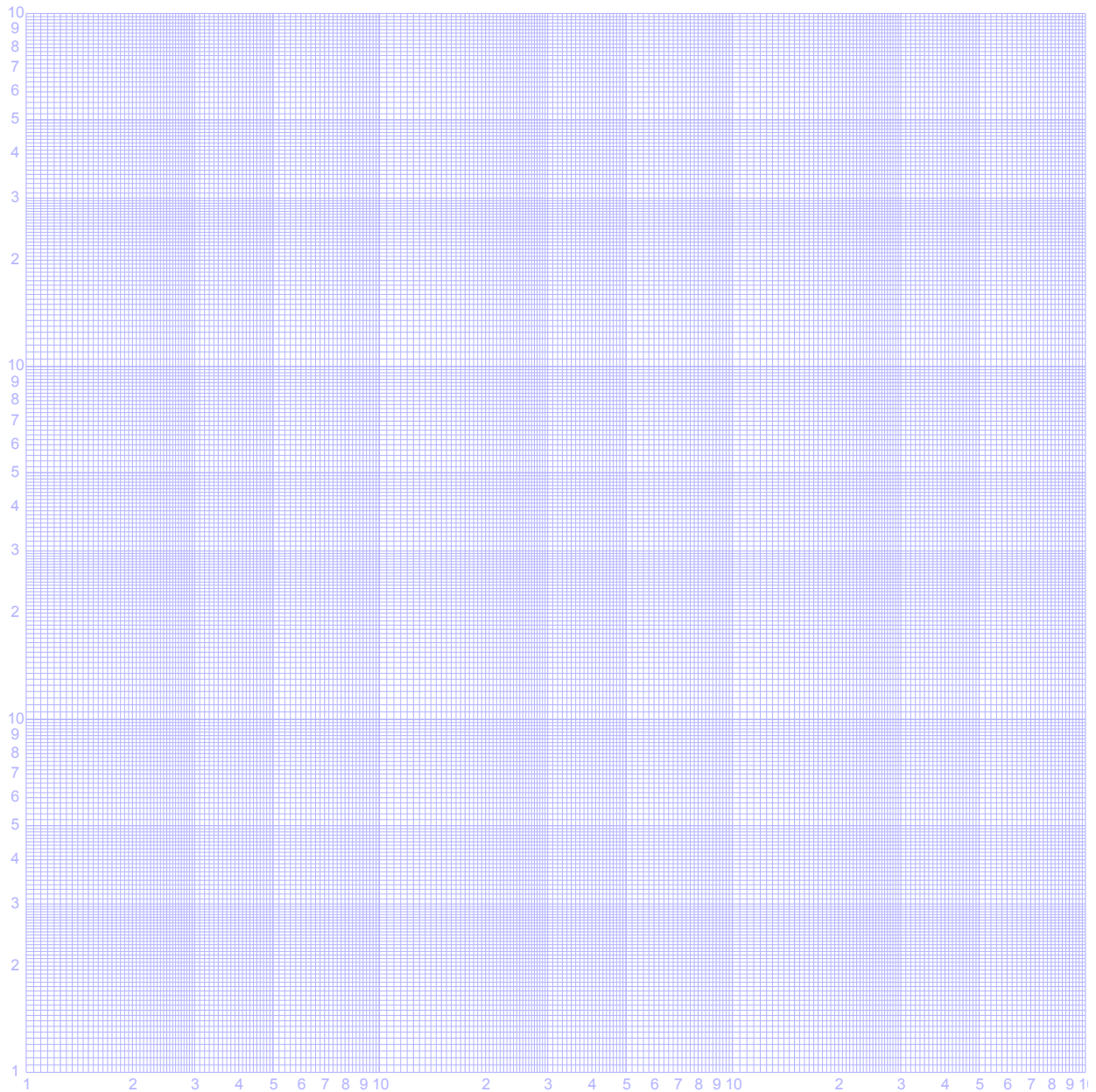
$\gamma =$

$\delta\gamma =$



A.1 (cont.)

De log-log plot is optioneel; je hoeft slechts één grafiek te tekenen voor dit onderdeel.



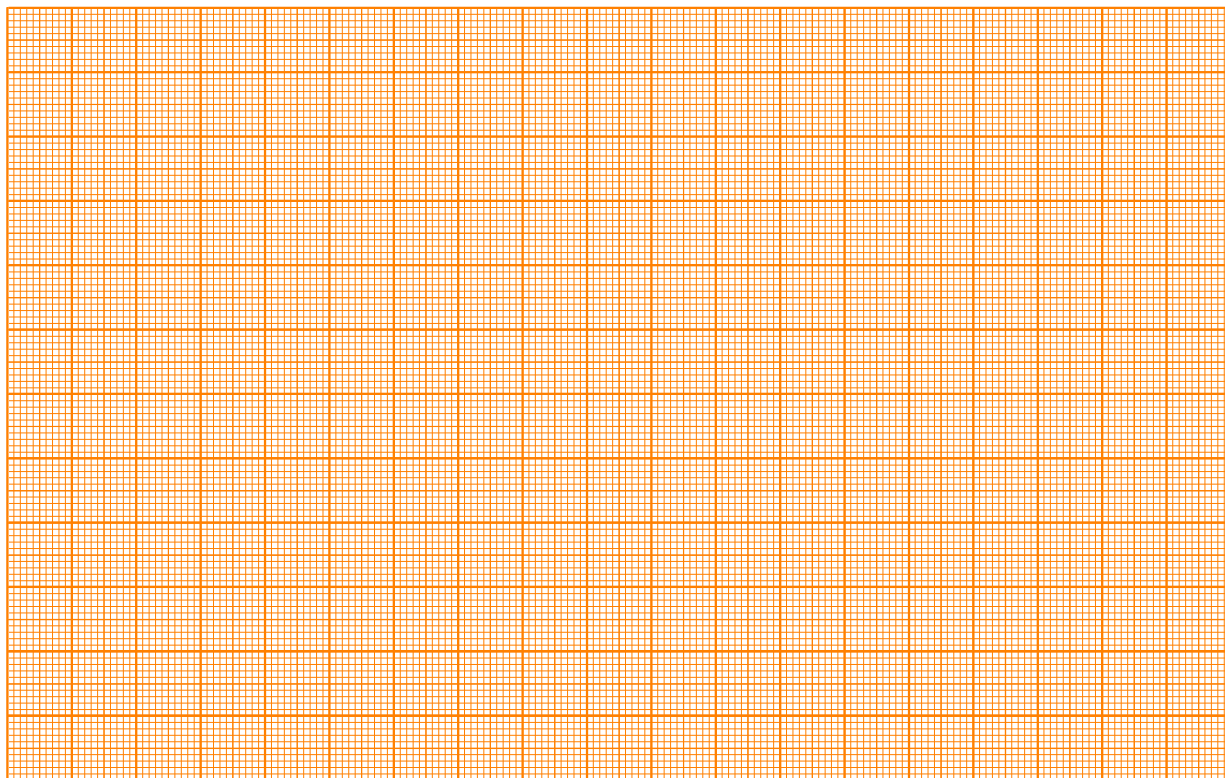


A.2 (1.5 pt)

Data-tabel



A.2 (cont.)



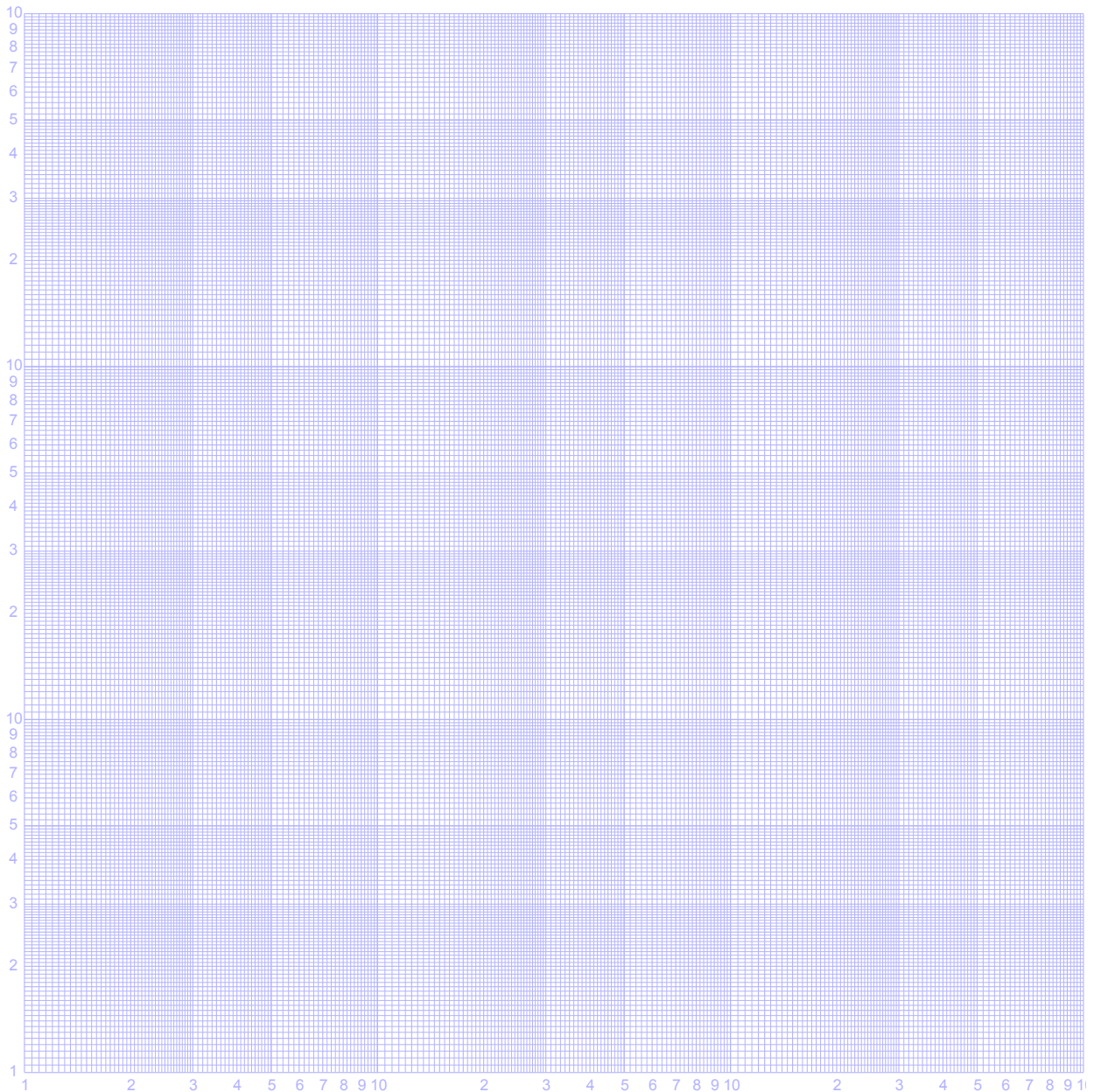
$\beta =$

$\delta\beta =$



A.2 (cont.)

De log-log plot is optioneel; je hoeft slechts één grafiek te tekenen voor dit onderdeel.



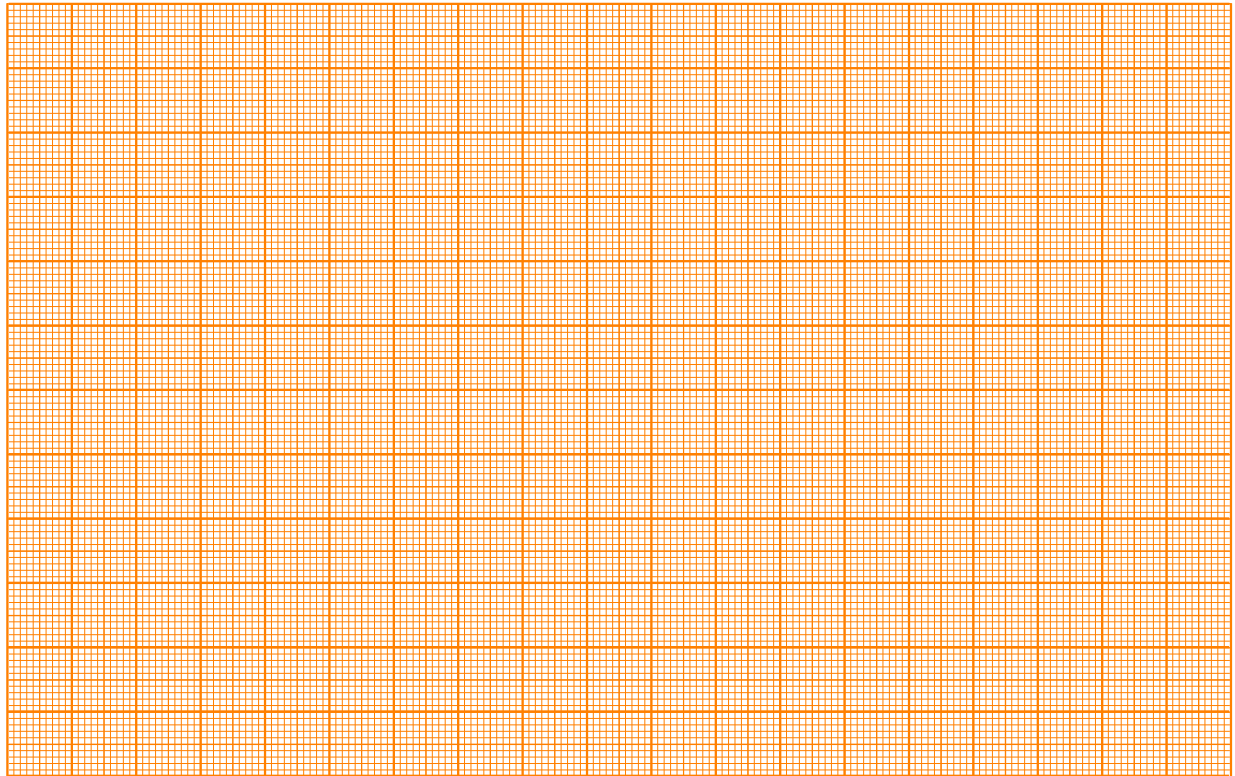


A.3 (1.5 pt)

Data-tabel



A.3 (cont.)



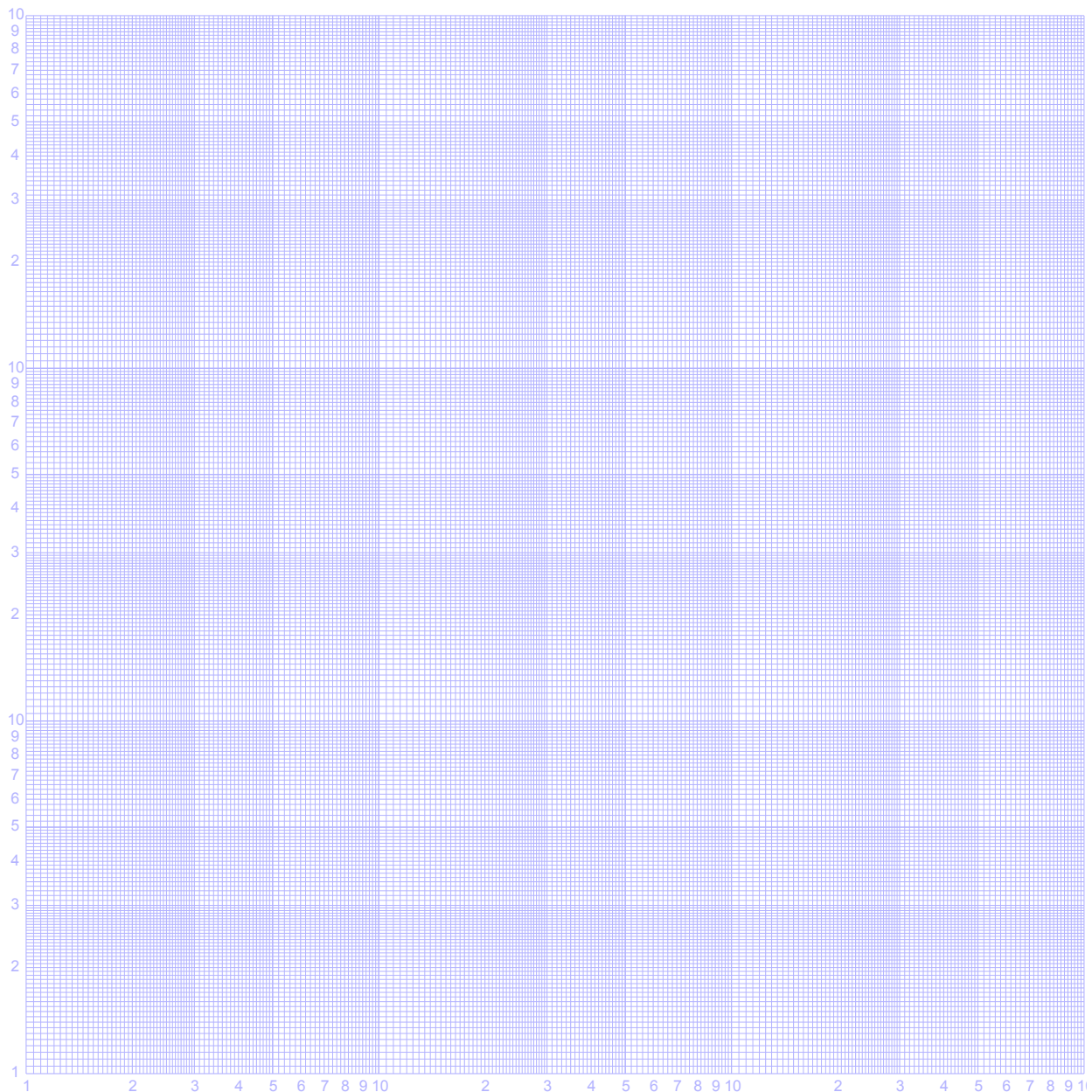
$\alpha =$

$\delta\alpha =$



A.3 (cont.)

De log-log plot is optioneel; je hoeft slechts één grafiek te tekenen voor dit onderdeel.



Experiment



A2-10

Dutch (Netherlands)

Deel B: Bepaal de coëfficiënt G (1,0 pts)

B.1 (1.0 pt)

$$G(10) =$$

$$\delta G(10) =$$

Deel C: Bepaling dimensieloze functie F (2.5 punten)

C.1 (0.5 pt)

Gebruik in elk van de onderstaande gevallen een van de symbolen om de verandering aan te geven:
↑ toename; ↓ afname; \leftrightarrow geen verandering

Als R_c toeneemt, zal F :

Als R_e toeneemt, zal F :

Als L_e toeneemt, zal F :

Als V toeneemt, zal F :

Experiment



A2-12

Dutch (Netherlands)

C.2 (0.5 pt)

Voorgestelde functie voor x in $F(x)$:

$R_C L_E$	$R_C V$	$R_C R_E$	$L_E V$
R_C / R_E	R_C / V	R_C / L_E	L_E / V

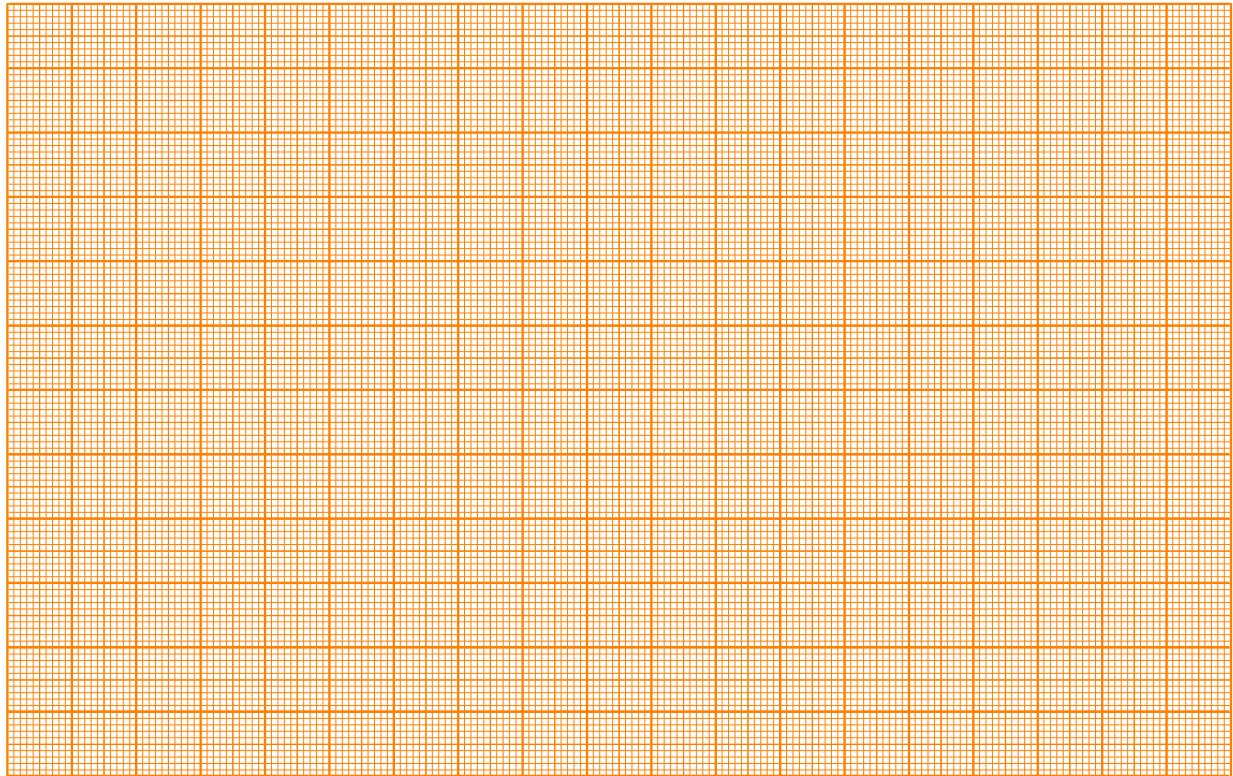


C.3 (1.5 pt)

data-tabel (indien nodig)



C.3 (cont.)



Richtingscoëfficiënt van de lijn voor $F(x) = A + Bx$: