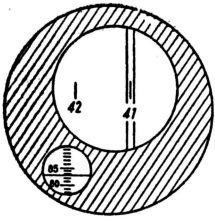


GRAWIMETR Askania Gs 11 jest aparatem bardzo skomplikowanym. Właściwa obsługa tego grawimetru jest uzależniona od dokładnego poznania jego budowy oraz warunków jakim powinien odpowiadać w czasie wykonywania pomiarów. Przystępując do pisania artykułu zdecydowałem się na umieszczenie w nim trzech bardzo istotnych zagadnień mających ścisły związek z wykonywaniem pomiarów. Omówione poniżej badania stanowią jedynie część prac wykonanych przez autora w celu poznania charakterystyki grawimetru Askania Gs 11 Nr 125.

1. Wpływ odczytu mikrometru oraz galwanometru na wynik pomiaru

Istota pomiaru grawimetrem Askania Gs 11 polega na wykonaniu serii odczytów ze skali zasadniczej oraz ze skali galwanometru (oczywiście przed tym muszą być spełnione wszystkie warunki dla zagwarantowania poprawnego pomiaru). W celu wykonania odczytu skali zasadniczej należy pokręcając śrubą mikrometryczną doprowadzić dwie równoległe linie pionowe do takiego położenia, aby kreska głównego



Ryc. 1.

podziału znajdowała się dokładnie w środku między nimi. Operacja ta spowoduje odpowiednie przesunięcie się skali mikrometru. Naprowadzając kilkanaście razy śrubą mikrometryczną linie równoległe na kreskę głównego podziału, uzyskamy odpowiednią ilość odczytów na podziacie mikrometru. A więc na błąd średni pojedynczego określenia wartości skali mikrometru będą wpływały: błąd ustawienia kreski głównego podziału między dwoma równoległymi liniami oraz błąd odczytu. Poniższa rycina przedstawia obraz pola widzenia okularu z przykładem odczytu skali. Podziałka mikrometru umieszczona jest w małym kółku, prawidłowy odczyt wynosi — 41,828.

Aby wyliczyć błąd średni pojedynczej obserwacji na skali mikrometru wykonano szereg obserwacji wskazań mikrometru na jednej określonej wartości skali zasadniczej (wartość skali zasadniczej w tym przypadku wynosi 39).

Tabela I

Nr	Odczyt skali	V	VV
1	39 011	-0,2	0,04
2	39 010	+0,8	0,64
3	39 010	+0,8	0,64
4	39 009	+1,8	3,24
5	39 012	-1,2	1,44
6	39 012	-1,2	1,44
7	39 011	-0,2	0,04
8	39 010	+0,8	0,64
9	30 013	-2,2	4,84
10	39 009	+1,8	3,24
11	39 011	-0,2	0,04
12	39 011	-0,2	0,04
	39 010,8	+0,6	16,28

$$m_1 = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} = \sqrt{\frac{16,28}{11}} = \pm 1,22 \cdot 0,001 = \pm 0,0012$$

Błąd średni pojedynczego określenia wartości skali mikrometru $m_1 = \pm 0,0012$ dz. skali. Po przemnożeniu wartości $\pm 0,0012$ przez 7,9449 mg/l otrzymamy błąd średni pojedynczego określenia wartości skali mikrometru w miligalach = $\pm 0,0095$. Przystępując do określenia średniego błędu pojedynczej obserwacji galwanometru zagadnienie upraszcza się o tyle, że każdy odczyt na skali galwanometru poprzedza jedynie odaregowanie grawimetru; położenie wskazań na skali głównej i mikrometru pozostaje bez zmian. Błąd średni pojedynczej obserwacji galwanometru obliczono z następujących wskazań:

Tabela II

Nr	Odczyt na skali galwanometru	V	VV
1	-9,2	+0,2	0,04
2	-9,3	+0,3	0,09
3	-9,0	0,0	0,00
4	-9,3	+0,3	0,09
5	-8,8	-0,2	0,04
6	-8,8	-0,2	0,04
7	-8,7	-0,3	0,09
8	-9,1	+0,1	0,01
9	-9,0	0,0	0,00
10	-8,9	-0,1	0,01
11	-9,0	0,0	0,00
12	-8,9	-0,1	0,01
	-9,0	0,0	0,42

$$m_2 = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,42}{11}} = \pm 0,195 \approx \pm 0,2$$

$m_2 = 0,2$ — jest to wartość błędu średniego pojedynczej obserwacji wyrażona w działkach skali; aby otrzymać wartość tego błędu w miligalach należy wykonać obliczenie

$$\pm 0,2 \cdot 0,00830 \cdot 7,9449 = \pm 0,013 \text{ mg/l}$$

gdzie

$\pm 0,2$ — błąd średni pojedynczej obserwacji wyrażony w dz. sk.

0,00836 — wartość skali zasadniczej równa 1 dz. galw.

7,9449 — wartość jednostki skali zasadniczej w mg/l.

Ponieważ wyliczone powyżej błędy średnie pojedynczego określenia wartości skali mikrometru oraz pojedynczego wskazania galwanometru zostały obliczone z obserwacji niezależnych od siebie, wykonałem zestaw obserwacji, z których można wyliczyć błąd pojedynczego pomiaru, uwzględniający jednocześnie wpływ odczytu i nastawienia skali mikrometru oraz wpływ odczytu skali galwanometru. Poniższa tabela ilustruje serię wykonanych obserwacji oraz efekt obliczeń.

Tabela III

Nr kol.	Czas obserw.	Odczyt galwan.	Zero galwan.	Interwał galwan.	Interwał galwan. w dz. skali 0,00830	Odczyt skali	Wynik pom. w działkach skali	V	VV
1	10 ^h	-8,8	+3,0	11,8	0,098	39 010	38 912	+2	4
2		-10,7		13,7	0,114	39 024	38 910	+4	16
3		-11,6		14,6	0,121	39 033	38 912	+2	4
4		-12,6		15,6	0,129	39 043	38 914	0	0
5		-14,2		17,2	0,143	39 057	38 914	0	0
6		-15,0		18,0	0,149	39 064	38 915	-1	1
7		-15,8		18,8	0,156	39 069	38 913	+1	1
8		-16,1		19,1	0,159	39 073	38 914	0	0
9		-17,4		20,4	0,169	39 085	38 916	-2	4
10		-18,2		21,2	0,176	39 093	38 917	-3	9
11		-20,7		23,7	0,197	39 112	38 915	-1	1
12	10 ^h	-23,1		26,1	0,217	39 133	38 916	-2	4
							38 914	0	44

$$m_3 = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} = \sqrt{\frac{44}{11}} = \pm 2 \cdot 0,001 = \pm 0,002$$

Ze wzoru wynika, że m w działkach skali = $\pm 0,002$. Po przemnożeniu wartości $\pm 0,002$ przez 7,9449 mg/l otrzymamy błąd średni pojedynczego pomiaru wyrażony w mg/l.

$$m_3 \text{ w mg/l} = \pm 0,002 \cdot 7,9449 = \pm 0,016 \text{ mg/l}$$

Błąd średni pojedynczego pomiaru obliczony jako suma kwadratów pod pierwiastkiem błędów średnich: pojedynczego określenia wartości skali mikrometru oraz błędu pojedynczej obserwacji galwanometru, będzie równy:

$$m_3 = \sqrt{0,0095^2 + 0,013^2} = \sqrt{0,000259} = \pm 0,016 \text{ mg/l}$$

Widzimy więc całkowitą zgodność wyników w obydwu niezależnych od siebie seriach obserwacji oraz metodach wyliczeń średniego błędu pojedynczego pomiaru. Powołując się na wyliczoną wartość średniego błędu pojedynczego pomiaru, równą $\pm 0,016$ mg/l możemy łatwo określić błąd średni pojedynczego pomiaru Δg równy $\pm 0,016 \cdot \sqrt{2}$ (oczywiście przy założeniu, iż czynności podłączenia fotokomórki, ogrzewania oraz spoziomowania grawimetru jak i różne warunki atmosferyczne oraz błędy spowodowane przez samego obserwatora, nie będą miały wpływu na wynik pomiaru). Tak więc:

$$m_{4g} = \pm 0,0016 \cdot \sqrt{2} = \pm 0,022 \text{ mg/l}$$

Wielkość błędu $m_{\Delta g} = \pm 0,022$ mgł zgadza się w zupełności z wynikami wyliczonymi przez mgr inż. W. Bujnowskiego przy opracowaniu podstawowej sieci grawimetrycznej Polski I rzędu.

Biorąc pod uwagę bardzo korzystne warunki pomiaru podczas wykonywania obserwacji badawczych z całą pewnością można stwierdzić, iż reklamowana przez Firmę Askania dokładność 0,01 mgł na punkcie jest nieosiągalna dla grawimetru Gs 11 Nr 125 w warunkach polowych.

2. Wpływ wychylenia libeli na wynik pomiaru

W celu wykonania poprawnych obserwacji grawimetrem Askania Gs 11 należy przede wszystkim, przestrzegając odpowiednich warunków dla danego aparatu, przygotować go do prac pomiarowych, po czym na punkcie obserwacyjnym w odpowiedni sposób spoziomować grawimetr i zabezpieczając wszelkie inne warunki pomiaru wykonać serię odczytów na skali głównej oraz na skali galwanometru. Jak wielką rolę odgrywa właściwe poziomowanie grawimetru podczas wykonywania pomiarów, świadczyć mogą niżej przedstawione wyniki badań libeli grawimetru Askania Gs 11 Nr 125. Nie wnikając w konstrukcję libeli, gatunek i grubość szkła oraz chemiczne i fizyczne własności płynu wypełniającego libele, przeprowadzono badanie, które pozwoliło ustalić:

1) wpływ wychylenia grawimetru z położenia poziomego na wynik pomiaru,

2) wyznaczyć miejsce na systemie odczytowym każdej libeli, w którym grawimetr posiada najmniejszą czułość na nachylenie.

Badanie polegało na kolejnym doprowadzaniu jednego końca pęcherzyka libeli (lub obydwu libeli) do styczności z poszczególnymi kreskami systemu odczytowego libeli. Przesuwanie pęcherzyka libeli powoduje zmiany odczytu na skali galwanometru. Zanotowane zmiany odczytu na skali galwanometru przy określonych położeniach pęcherzyków libeli pozwalają w sposób dostatecznie dokładny sprecyzować miejsce na libeli I i II, do którego należy doprowadzać jeden koniec pęcherzyka, aby grawimetr wykazywał minimum czułości na nachylenie. W czasie przeprowadzonego badania robiono odczyty zmian śladu świetlnego na skali galwanometru. W celu przeliczenia wartości otrzymanych ze skali galwanometru na wartości skali zasadniczej grawimetru wykonano serię następujących obserwacji:

Tabela IV

Czas obserwacji	Odczyt skali galwanometru	Odczyt skali zasadniczej
14 ⁰⁵	-31,4	39 118
	-31,8	39 117
	-31,6	39 117
	-31,8	39 117
	-31,7	39 117
14 ¹³	+32,8	38 590
	+32,8	38 590
	+32,6	38 590
	+32,6	38 590
	+32,7	38 590

Sumując bezwzględne wartości średnich odczytów ze skali galwanometru otrzymamy:

$$31,7 + 32,7 = 64,4$$

Wykonując różnicę średnich odczytów ze skali zasadniczej, będziemy mieli:

$$39 117 - 38 590 = 0,527$$

Tak więc 64,4 działkom skali galwanometru odpowiada 0,527 dz. skali zasadniczej, czyli 1 dz. galw. =

= 0,527 : 64,4 = 0,00818 sk. zasad. Znając wartość jednostki skali zasadniczej w mgł dla grawimetru Askania Gs 11 Nr 125 przy $M = 39,0$ wartość ta jest równa 7,9449) możemy łatwo dokonać przeliczeń wartości otrzymanych ze skali galwanometru na mili-gale. Po przeliczeniu otrzymujemy, że jedna działka galwanometru = 0,0568 mgł. Przeliczone wartości skali galwanometru uwidocznił przy wykresach przedstawiających wpływ wychylenia libeli na wynik pomiaru grawimetrem.

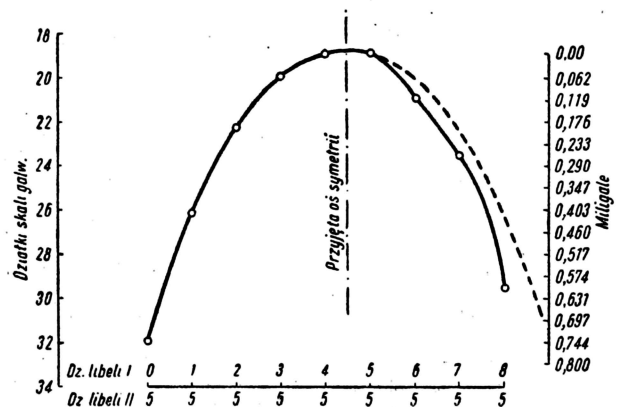
BADANIE LIBELI I

Badanie przeprowadzono zachowując styczność pęcherzyka libeli II z piątą kreską podziału. Natomiast pęcherzyk libeli I doprowadzono do styczności z kreską zerową podziału i w tym położeniu libeli wykonano 4 odczyty na skali galwanometru. Następnie nie przesuwając pęcherzyka libeli II, dokonano kolejnych przesunięć libeli I doprowadzając ją do styczności z 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 i 8 kreską podziału, za każdym razem wykonując odczyty na skali galwanometru.

W poniższej tabelce zestawione są wartości zaobserwowane podczas przeprowadzenia badania:

Tabela V

Styczność pęcherzyka libeli I z kreską	Styczność pęcherzyka libeli II z kreską	Odczyt skali galwanometru	Odczyt średni skali galwanometru
0	5	-32,4 -32,0 -31,8 -31,8	-32,0
1	5	-26,3 -26,2 -26,0 -26,3	-26,2
2	5	-22,4 -22,3 -22,3 -22,2	-22,3
3	5	-20,0 -20,0 -19,9 -19,8	-19,9
4	5	-18,9 -19,1 -18,8 -18,7	-18,9
5	5	-19,0 -18,9 -18,8 -18,8	-18,9
6	5	-21,0 -20,9 -20,9 -20,8	-20,9
7	5	-23,5 -23,5 -23,5 -23,5	-23,5
8	5	-29,6 -29,5 -29,6 -29,4	-29,5



Ryc. 2. Wykres wpływu wychylenia libeli I na wyniki pomiaru.

Tabela VI

Stycznność pęcherzyka libeli I z kreską	Stycznność pęcherzyka libeli II z kreską	Odczyt skali galwanometru	Średni odczyt galwanometru
5	2	-26,1 -26,0 -25,8 -25,9	-26,0
5	3	-23,5 -23,4 -23,3 -23,2	-23,4
5	4	-21,3 -21,3 -21,2 -21,1	-21,2
5	5	-20,9 -21,0 -21,0 -21,0	-21,0
5	6	-21,8 -21,9 -21,8 -21,7	-21,8
5	7	-23,7 -23,8 -23,7 -23,6	-23,7
5	8	-26,4 -26,3 -26,2 -26,3	-26,3
5	9	-29,1 -29,3 -29,2 -29,2	-29,2
5	10	-33,9 -34,0 -33,7 -33,8	-33,9

Tabela VII

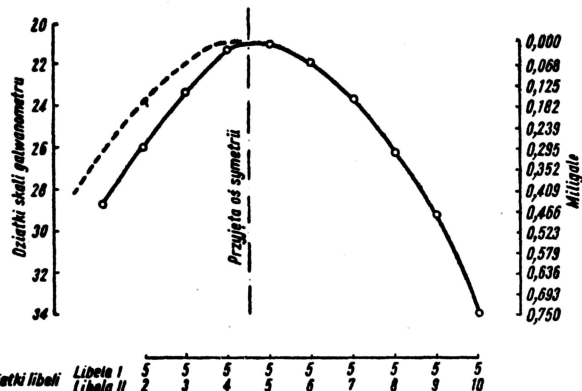
Stycznność pęcherzyka libeli I z kreską	Stycznność pęcherzyka libeli II z kreską	Odczyt skali galwanometru	Średni odczyt galwanometru
1	9	-33,3 -33,3 -33,2 -33,2	-33,3
2	8	-26,8 -26,6 -26,7 -26,8	-26,7
3	7	-22,0 -21,8 -21,7 -21,7	-21,8
4	6	-18,8 -18,5 -18,4 -18,5	-18,6
5	5	-18,4 -18,3 -18,4 -18,2	-18,3
6	4	-20,8 -20,6 -20,8 -20,7	-20,7
7	3	-26,3 -26,2 -26,3 -26,3	-26,3
8	2	-33,0 -33,2 -33,0 -32,7	-33,0

Analizując wykresy sporządzone na podstawie wykonanych obserwacji na grawimetrze Askania Gs 11 Nr 125 stwierdzamy, iż instrument ten wykazuje najmniejszą czułość na nachylenie wówczas, gdy końce pęcherzyków libeli I i II zajmą położenie między czwartą a piątą kreską podziału. Niesymetryczność wykresów sporządzonych dla każdej libeli świadczy o różnym wpływie na wynik pomiaru jednakowych wychyleń pęcherzyka w obydwie strony od miejsca najmniejszej czułości na nachylenie. Przypuszczać należy, iż powstała niesymetryczność na wykresach świadczy o nieprawidłowym wyszlifowaniu wewnętrznych części ampułek (ampulka — szklana część libeli).

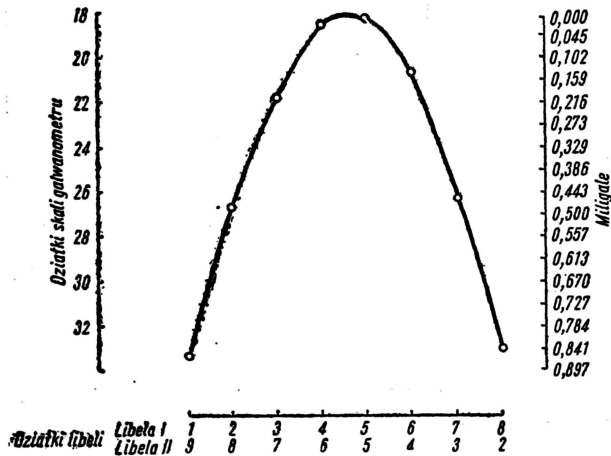
Wykres dla libeli II (tab. VI i ryc. 3) nie jest symetryczny, lewa gałąź wykresu przebiega bliżej osi symetrii, a więc wychylenie libeli I* w stronę malejącego podziału od punktu najmniejszej czułości na nachylenie ma bardziej niebezpieczny wpływ na wyniki pomiaru, od wychylenia pęcherzyka w stronę wzrastającego podziału libeli. W celu zobrazowania wpływu wychylenia obydwu libel jednocześnie na wynik pomiaru wykonano poniższe obserwacje, na podstawie których sporządzono wykresy (tab. VII, VIII i ryc. 4, 5).

Następne badanie wykonano doprowadzając do styczności pęcherzyki libel z odpowiadającymi sobie wartościami systemów odczytowych tych libel.

Wysnuwając wnioski z opracowanych obserwacji należy stwierdzić, iż w czasie wykonywania pomiarów grawimetrem Askania Gs 11 Nr 125 trzeba libelę pierwszą doprowadzić do położenia między czwartą a piątą kreską podziału, a w żadnym przypadku nie dopuścić do zajęcia przez libelę I położenia styczności z szóstą kreską podziału, gdyż jak widzimy z wykresu wykonanego dla libeli I, takie położenie powoduje błąd w wynikach pomiaru równy ok. 0,11 mgł. Jeżeli chodzi o libelę II należy tak samo doprowadzać ją do położenia między czwartą a piątą kreską podziału, bowiem doprowadzenie jej do styczności z szóstą kreską powoduje błąd pomiaru równy ok. 0,07 mgł. Jeżeli zaistniałby przypadek zajęcia przez oba pęcherzyki libel położenia styczności z szóstymi kreskami, błąd pomiaru wyniósłby z tego powodu osiągnięcie wielkości rzędu ok. 0,15 mgł.



Ryc. 3. Wykres wpływu wychylenia libeli II na wyniki pomiaru.

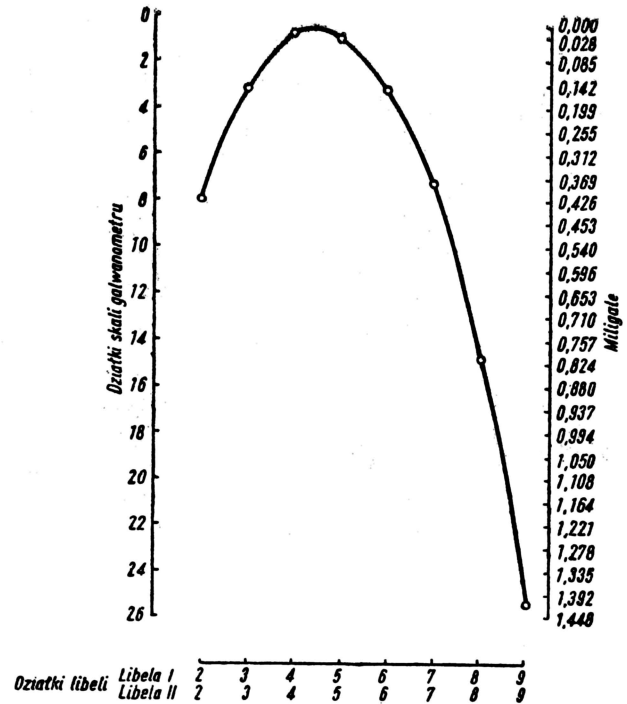


Ryc. 4. Wykres wpływu wychylenia libeli I i II na wyniki pomiaru.

Tabela VIII

Styczność pęcherzyka libeli I z kre- ską	Styczność pęcherzyka libeli II z kre- ską	Odczyt skali galwanomet- ru	Średni odczyt skali galwano- metru
2	2	-7,9	-7,9
		-7,8	
		-8,0	
		-7,9	
		-7,9	
3	3	-3,0	-3,0
		-2,9	
		-3,1	
		-3,0	
		-3,0	
4	4	-0,7	-0,7
		-0,7	
		-0,7	
		-0,7	
		-0,7	
5	5	-1,0	-1,0
		-1,0	
		-1,0	
		-1,0	
		-1,0	
6	6	-3,2	-3,2
		-3,1	
		-3,2	
		-3,3	
		-3,3	
7	7	-7,2	-7,2
		-7,2	
		-7,2	
		-7,2	
		-7,0	
8	8	-14,7	-14,8
		-14,8	
		-14,8	
		-14,9	
		-14,9	
9	9	-25,4	-25,3
		-25,3	
		-25,3	
		-25,3	
		-25,2	

Instrukcja do grawimetru Askania Gs 11 Nr 125 zaleca doprowadzać pęcherzyki obydwu libel do styczności z piątymi kreskami ich podziału. Można powiedzieć, iż piąte kreski znajdują się w strefie najmniejszej czułości na nachylenie grawimetru, bynajmniej jednak nie stanowią środka tej strefy. Wykonując pomiary grawimetrem Askania Gs 11 Nr 125 przy położeniach pęcherzyków libel stycznych z piątymi kreskami nie robimy z tego powodu zasadniczych błędów w pomiarze, niemniej jednak znajdują się w dużym niebezpieczeństwie popełnienia



Ryc. 5. Wykres wpływu wychylenia libel I i II na wyniki pomiaru.

błędu, ponieważ często daje się zaobserwować zjawisko samoczynnego przesuwania się pęcherzyków libel o bardzo małe wartości z położeń ustalonych przez obserwatora. Tak więc doprowadzenie libel do właściwego położenia jest czynnością bardzo ważną przy wykonywaniu pomiaru, gdyż małe wychylenie ich z położenia właściwego o jedną lub półtorej działki obarcza pomiar błędem równym ok. 0,10 mgł do 0,15 mgł, a tak duży błąd pomiaru przekreśla z góry dokładność jaką chcemy osiągnąć.