

# Електрика та магнетизм.

## Лабораторна робота №4

### Магнітний момент у магнітному полі

[Журавльова Софія, Познанський Тимур, Яковець Арина, Щербина Софія]

#### Мета роботи:

Визначити момент сили, зумовлений магнітним моментом у постійному магнітному полі, як функцію:

1. Напруженості магнітного поля;
2. Кута між напрямком магнітного поля та магнітного моменту;
3. Величини магнітного моменту;

#### Теоретичне підґрунтя.

Якщо контур, по якому тече електричний струм, помістити у постійне магнітне поле, на нього буде діяти момент сили. Він визначається як функція радіусу, кількості петель у контурі, сили струму в контурі та напруженості зовнішнього поля. Магнітний момент  $\mathbf{M}$  через замкнутий контур  $L$ , скрізь який тече струм  $I$ , визначається як  $\mathbf{M} = I/2 \oint_L \mathbf{r} \times d\mathbf{r} = I \oint_S d\mathbf{\Omega}$  (1), де  $S$  - довільна площа, що обмежується контуром  $L$ . Завдяки наявності магнітного моменту, магнітне поле створює обертальний момент  $\mathbf{T}$ :  $\mathbf{T} = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$  (2). Для створення постійного магнітного поля використовують дві котушки, які розташовують одна навпроти іншої, і відстань між якими рівна їх радіусу (пристрій Гельмгольца). У даній роботі контур - це плоска петля з постійним струмом, діаметр якої  $d$ , а кількість витків  $n$ . Його магнітний момент дорівнює:  $\mathbf{M} = I * n * \mathbf{S}$ ;  $|\mathbf{M}| = I * n * (\pi/4)d^2$  (3), де  $\mathbf{S}$  - напрямний вектор площини петлі. Якщо по котушках Гельмгольца тече струм  $I'$ , тоді з (1) маємо:  $|\mathbf{T}| = C * I * n * |\mathbf{S}| * I' * \sin \alpha$  (4), де  $\alpha$  - кут між  $\mathbf{B}$  та вектором площини  $\mathbf{S}$ ,  $C$  - константа котушок Гельмгольца.

#### Експериментальне обладнання:

Пристрій Гельмгольца, крутильні терези (моментометр) з пристроєм для утримання електричного контуру, два стабілізовані джерела струму, два амперметри та набір змінних електричних контурів.

# Обробка та аналіз результатів

Ми провели дослідження залежності обертового моменту  $T$ , як функції від  $I$ ,  $I'$ ,  $\alpha$ ,  $d$  та  $n$ . Нижче наведено дані вимірювань, графіки залежності обертового моменту від усіх досліджених параметрів та розрахунки для кожного з них окремо.

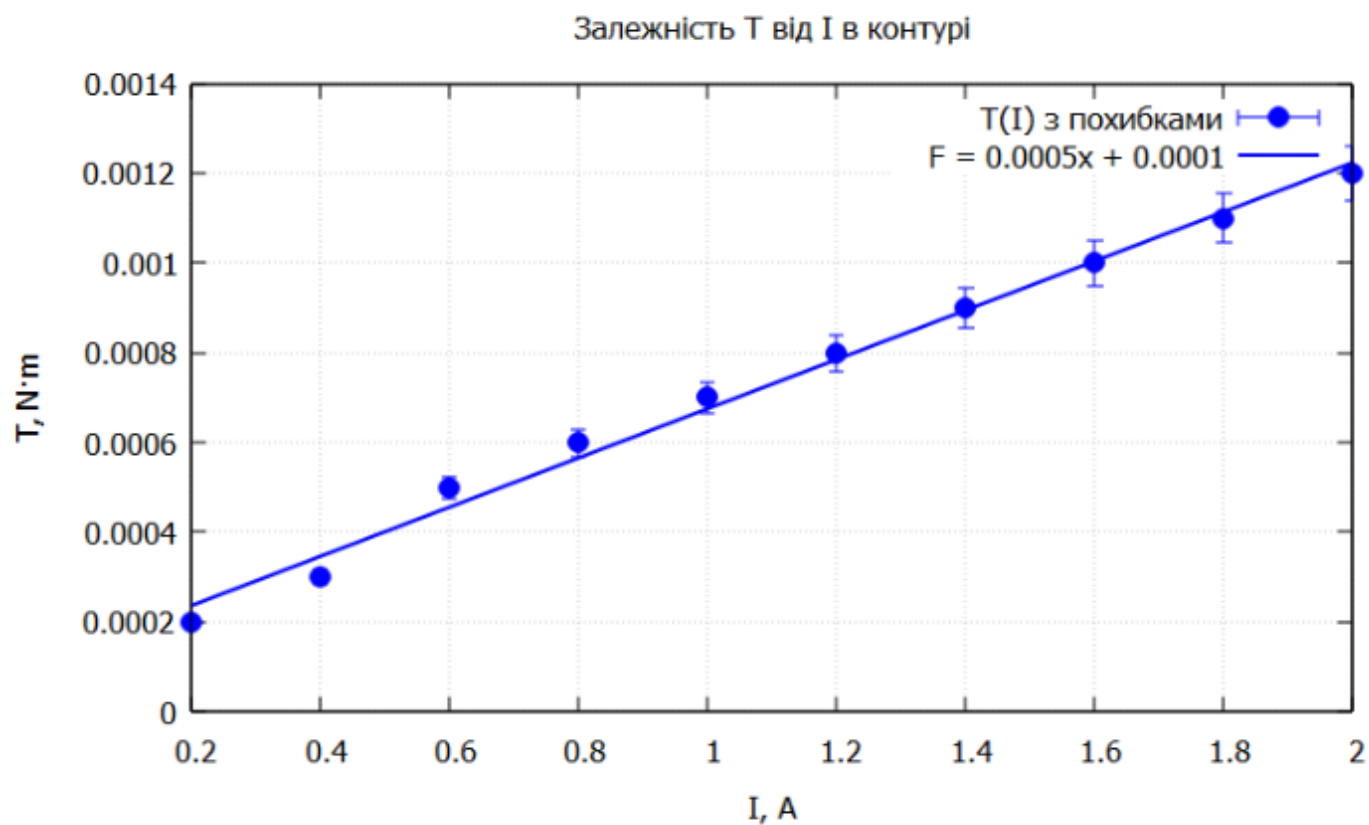
## 1. Залежність обертового моменту $T$ від струму в контурі $I$

Дані вимірювань та графіки залежності:

n	d, м	I, A	I', A	$\alpha$ , градус	T, Н	I, A	T, Н	C
3	0,127	2	2,45	90	0,0012	2	0.0012	0,005891
		1,8			0,0011	1.8	0.0011	
		1,6			0,001	1.6	0.001	$\delta C$
		1,4			0,0009	1.4	0.0009	0,000280
		1,2			0,0008	1.2	0.0008	
		1			0,0007	1	0.0007	
		0,8			0,0006	0.8	0.0006	
		0,6			0,0005	0.6	0.0005	
		0,4			0,0003	0.4	0.0003	
		0,2			0,0002	0.2	0.0002	

Рис. 1: Таблиця вимірів для залежності  $T(I)$

**Графіки:** На графіку залежності обертового моменту  $T(I)$  бачимо, що відносно лінії тренду, залежність має незначне відхилення від прямої.



Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
a	= 0.000548485	+/- 1.767e-05	(3.222%)
b	= 0.000126667	+/- 2.193e-05	(17.31%)

Рис. 2: Графік залежності  $T(I)$

З логарифмічного графіку залежності обертального моменту  $T$  від струму в контурі  $I$ , отримали коефіцієнт 0,792.

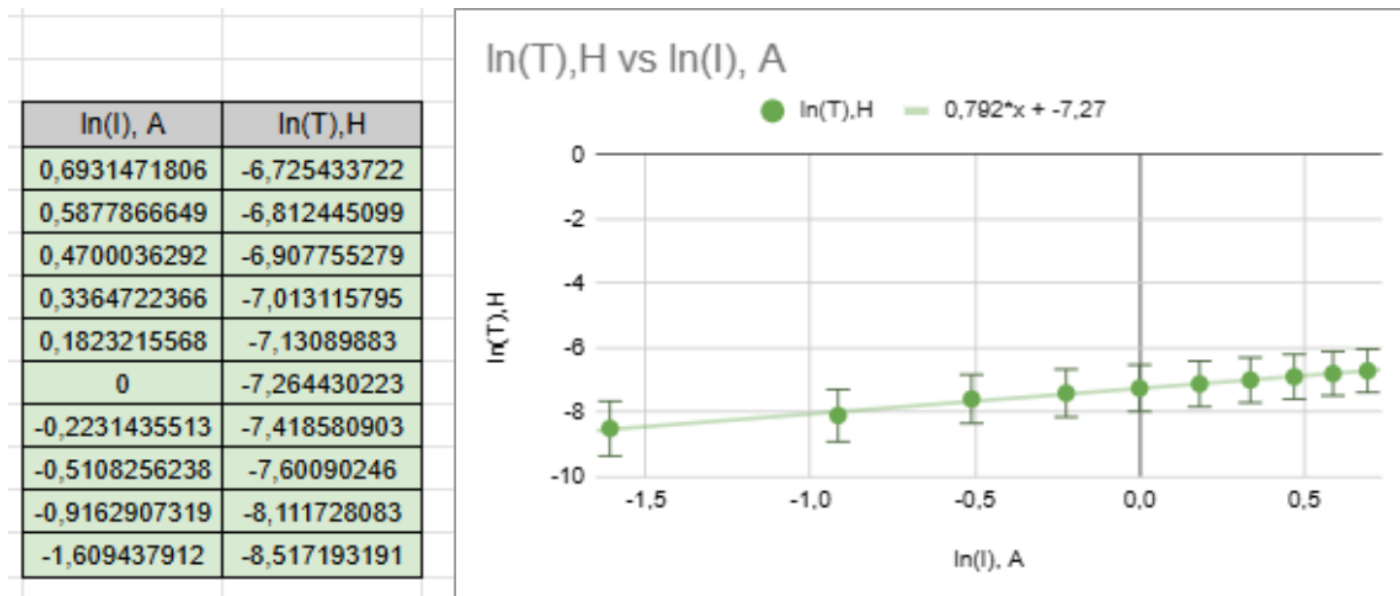


Рис. 3: Логарифмічний графік залежності  $T(I)$

Константа пропорційності  $C$  вийшла наступною:  $C = 0,00589$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00028$ .

## 2. Залежність обертального моменту $T$ від струму, що проходить через пристрій Гельмгольца $I'$

Дані вимірювань та графіки залежності:

n	d, м	I, A	I', A	$\alpha$ , градус	T, Н	I', A	C
3	0,127	2	2,475	90	0,0013	2.475	0,006743
			2,225		0,0012	2.225	
			1,975		0,0011	1.975	$\delta C$
			1,725		0,0009	1.725	0,00036362
			1,475		0,0008	1.475	
			1,225		0,00065	1.225	
			0,975		0,0005	0.975	
			0,725		0,0004	0.725	
			0,5		0,0003	0.5	
			0,225		0,0002	0.225	

Рис. 4: Таблиця вимірів для залежності  $T(I')$

**Графіки:** На графіку залежності обертального моменту  $T(I')$  бачимо пряму та лінійну залежність,.

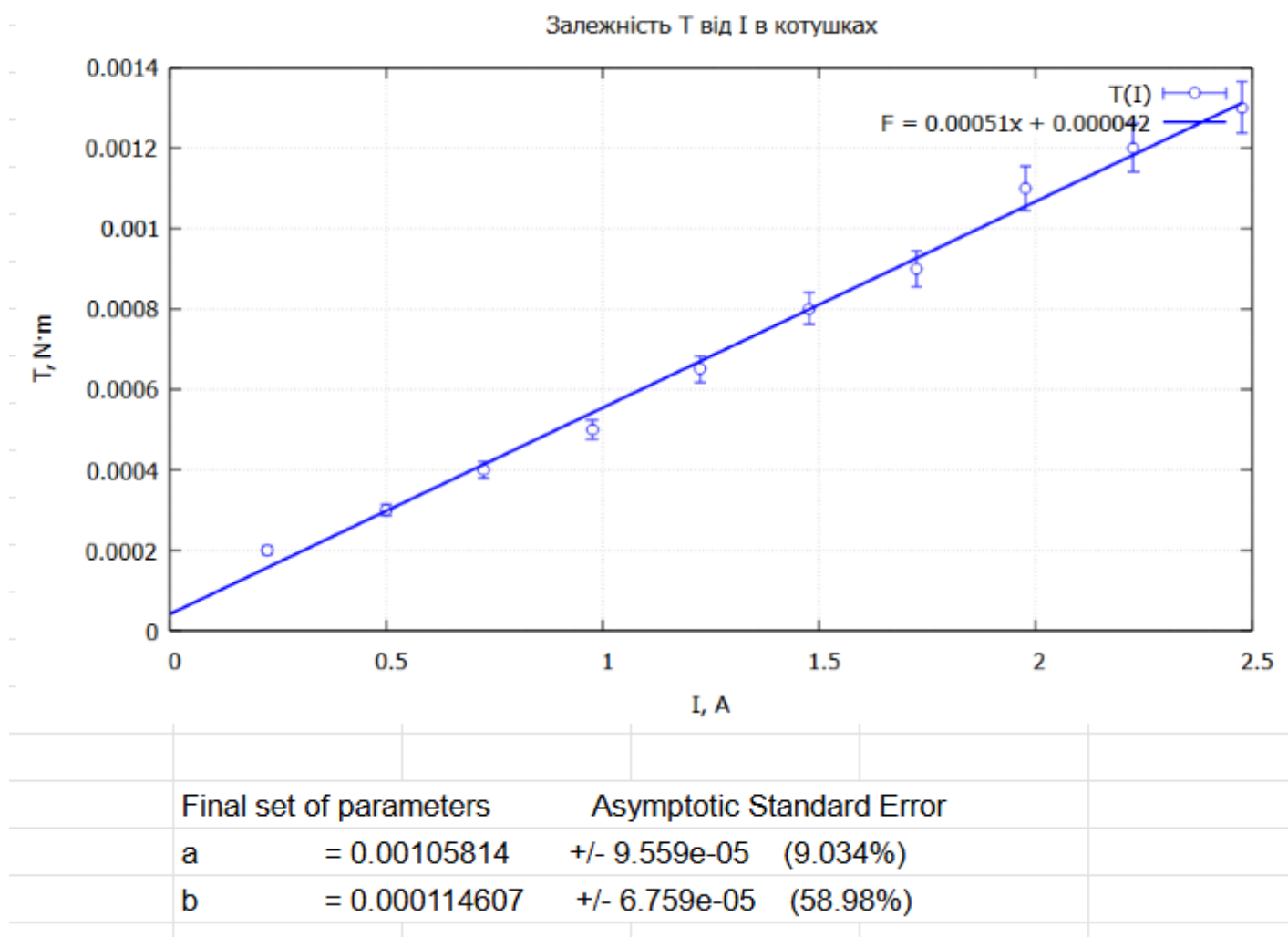


Рис. 5: Графік залежності  $T(I')$

З логарифмічного графіку залежності обертального моменту  $T$  від струму в контурі  $I'$ , отримали коефіцієнт 0,824.

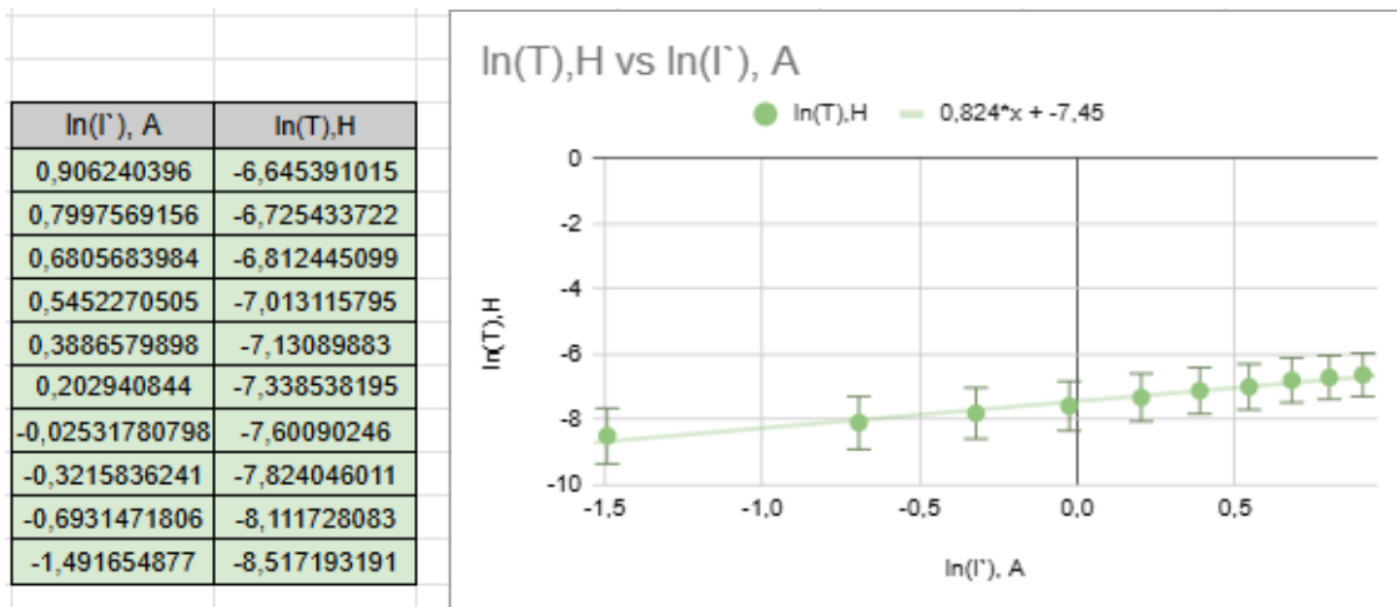


Рис. 6: Логарифмічний графік залежності  $T(I')$

Константа пропорційності  $C$  вийшла наступною:  $C = 0,00674$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00036$ .

### 3. Залежність обертального моменту $T$ від куту $\alpha$

Дані вимірювань та графіки залежності:

n	d, м	I, A	I', A	$\alpha$ , градус	T, H	sin(a)	C
3	0,127	2	2,5	90	0,0012	1	0,005263
				75	0,00105	0,9659258263	
				60	0,001	0,8660254038	$\delta C$
				45	0,0009	0,7071067812	0,000251
				30	0,0007	0,5	
				15	0,0005	0,2588190451	
				0	0	0	
				-15	0,0004	-0,2588190451	
				-30	0,0007	-0,5	
				-45	0,0009	-0,7071067812	
				-60	0,0011	-0,8660254038	
				-75	0,00105	-0,9659258263	
				-90	0,0012	-1	

Рис. 7: Таблиця вимірів для залежності  $T(\alpha)$

**Графіки:** На графіку залежності обертового моменту  $T(\alpha)$  бачимо те, що обертовий момент  $T$  залежить від кута як функція  $\sin \alpha$ .

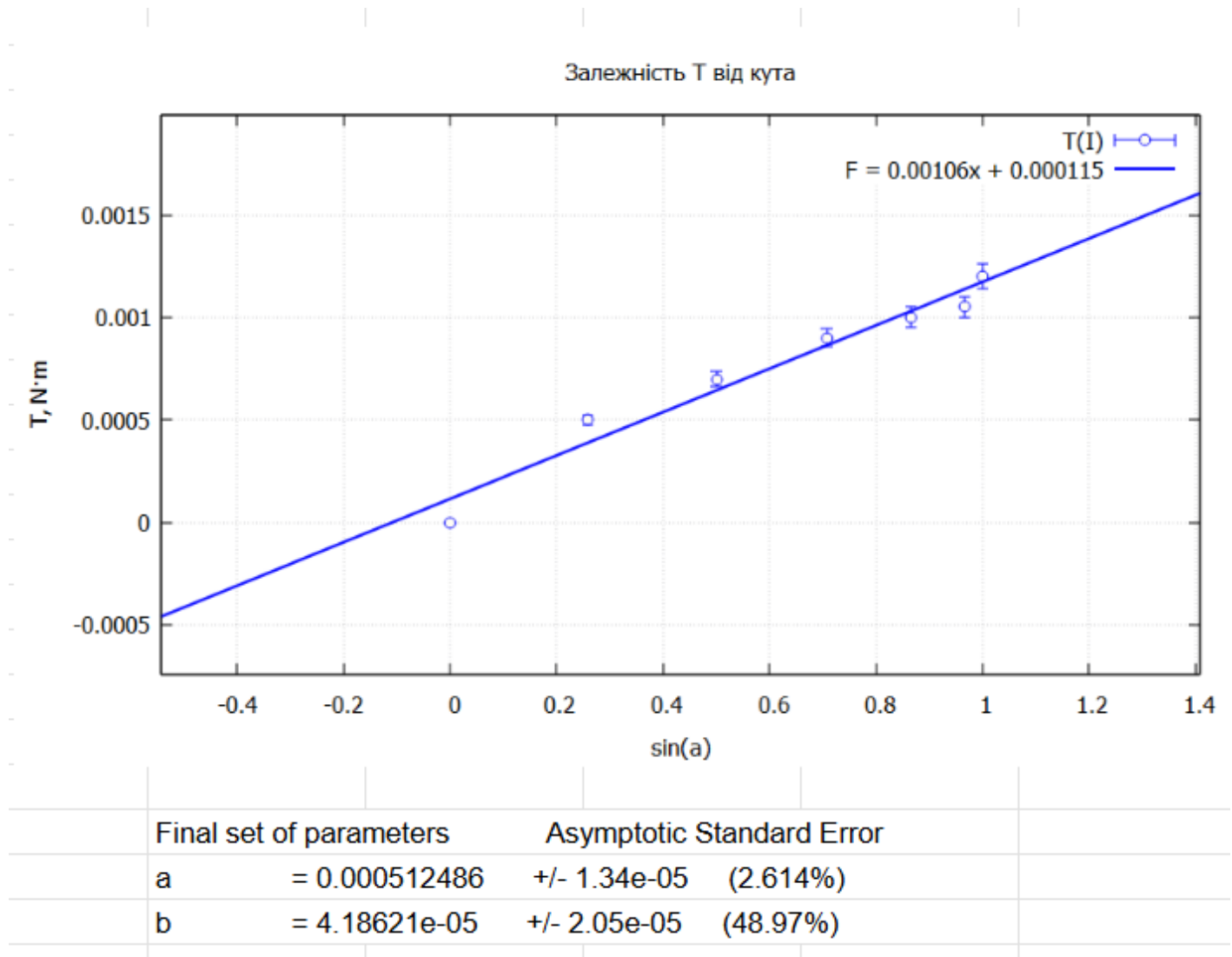


Рис. 8: Графік залежності  $T(\alpha)$

З логарифмічного графіку залежності обертового моменту  $T$  від струму в контурі  $\alpha$ , отримали коефіцієнт 0,61.

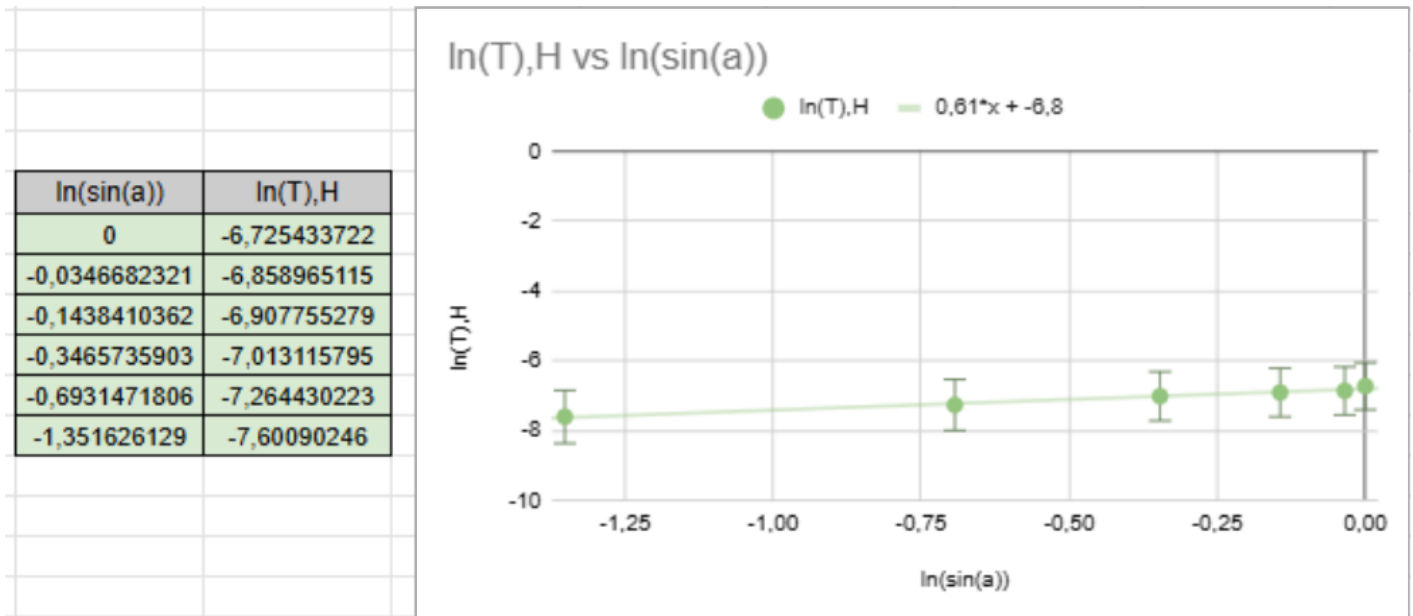


Рис. 9: Логарифмічний графік залежності  $T(\alpha)$

Константа пропорційності  $C$  вийшла наступною:  $C = 0,00526$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00025$ .

#### 4. Залежність обертового моменту $T$ від діаметру петлі контуру $d$

Дані вимірювань та графіки залежності:

n	d, м	I, A	I', A	$\alpha$ , градус	T, Н
1	0,125	2	2,5	90	0,0004
	0,085				0,0003
	0,061				0,00015
	$d^2, \text{м}^2$				
	0.015625	0.0004			
	0.007225	0.0003			
	0.003721	0.00015			
Final set of parameters		Asymptotic Standard Error			
a	= 0.0193353	+/- 0.007016	(36.29%)		
b	= 0.000112081	+/- 7.134e-05	(63.65%)		

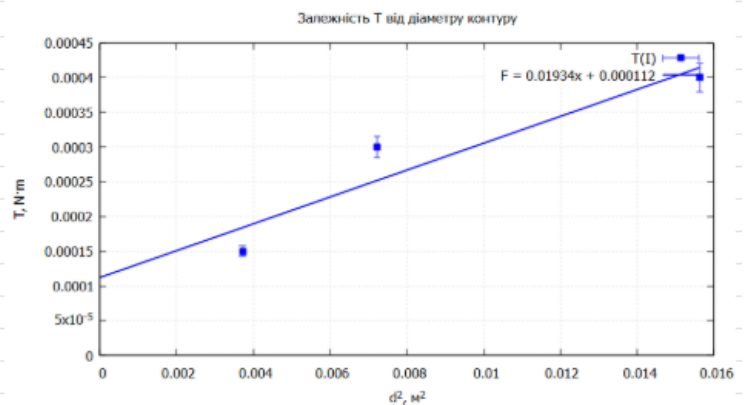


Рис. 10: Таблиця вимірів та графік залежності для  $T(d)$

**Графіки:** На графіку залежності обертового моменту  $T(d)$ ,  $T$  прямо залежить від  $d$ , всього зроблено 3 точки, тому має місце певна не точність.



З логарифмічного графіку залежності обертального моменту  $T$  від струму в контурі  $d$ , отримали коефіцієнт 0,675.

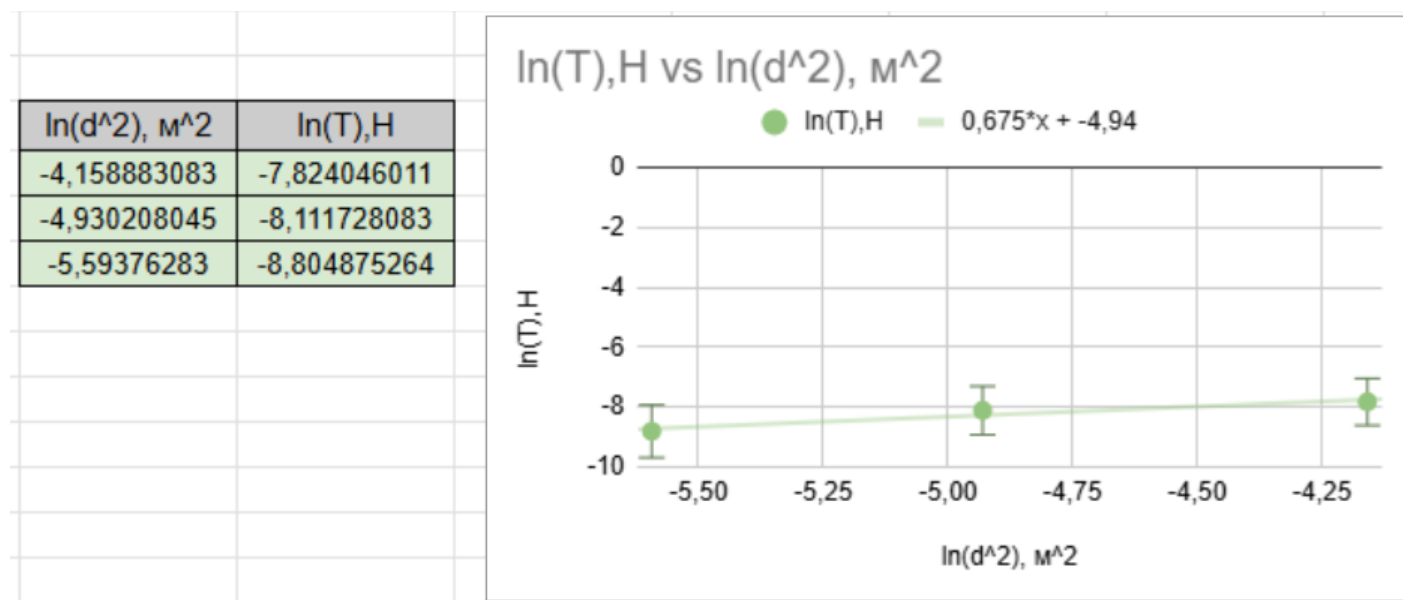


Рис. 11: Логарифмічний графік залежності  $T(d)$

Константа пропорційності  $C$  вийшла наступною:  $C = 0,00492$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00017$ .

## 5. Залежність обертального моменту $T$ від кількості петель контуру $n$

Дані вимірювань та графіки залежності:

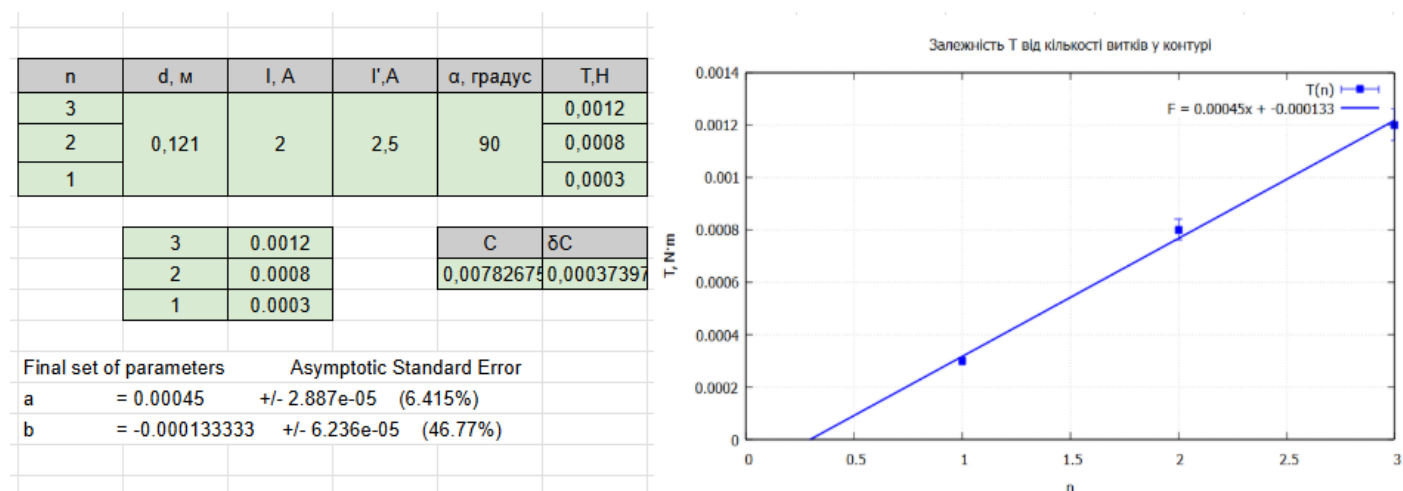


Рис. 12: Таблиця вимірів для залежності  $T(n)$

**Графіки:** На графіку залежності обертального моменту  $T(n)$ ,  $T$  прямо залежить від  $n$ , всього зроблено 3 точки, тому має місце певна не точність.

З логарифмічного графіку залежності обертального моменту  $T$  від струму в контурі  $n$ , отримали коефіцієнт 1,28.

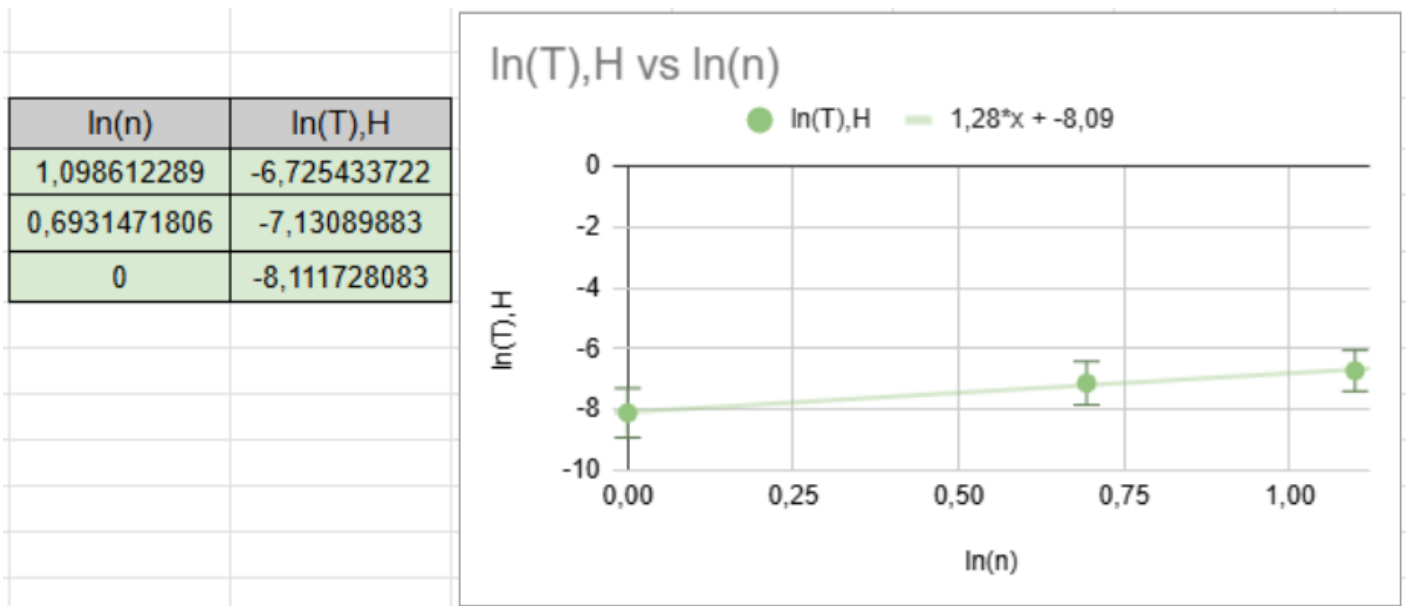


Рис. 13: Логарифмічний графік залежності  $T(n)$

Константа пропорційності  $C$  вийшла наступною:  $C = 0,00783$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00037$ .

## Висновки

У лабораторній роботі визначили момент сили, що зумовлений магнітним моментом у постійному полі, як функцію: напруженості магнітного поля; кута між напрямком магнітного поля та магнітного моменту; величини магнітного моменту. 1. Для  $T(I)$  з логарифмічного графіка отримали коефіцієнт 0,792; константа пропорційності  $C = 0,00589$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00028$ . 2. Для  $T(I')$  з логарифмічного графіка отримали коефіцієнт 0,824; константа пропорційності  $C = 0,00674$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00036$ . 3.  $T(\alpha)$  з логарифмічного графіка отримали коефіцієнт 0,61; константа пропорційності  $C = 0,00526$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00025$ .  $T(d)$  з логарифмічного графіка отримали коефіцієнт константа 0,675; константа пропорційності  $C = 0,00492$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00017$ .  $T(n)$  з логарифмічного графіка отримали коефіцієнт 1,28; константа пропорційності  $C$  вийшла наступною:  $C = 0,00783$ ; з похибкою  $\delta C = 0,00037$ . Значення коефіцієнтів з логарифмічних графіків значне відхилення від теоретичних значень(3), так як значення степенів параметрів не

співпадають з логарифмічними коефіцієнтами. Імовірно, на спотворення значень вплинули такі фактори: магнітне поле Землі та сторонніх об'єктів; не точний кут  $\alpha$ , може покращити точність введення поправки на кут  $\alpha_0$ ; людський фактор, наприклад, виставлення контуру під кутом на око.