XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

E-1

(스페인어판)

코드

실험 시험:

관–용수철 진동계의 분석

이 문서에서는 소수점으로 마침표를 사용한다.

결과를 국제단위계(SI) 단위로 나타내어라.

“E”로 표시된 종이에는 실험 과제가 제시되어 있다.

“W”로 표시된 종이에 측정값 표, 계산, 그래프를 작성하여라.

- **W-2에는 실험에 사용하는 모든 기구의 개략도가 있다.**
  - **W-2a에는 모든 기구의 사진이 있다.**
- **W-3에 지시된 일반 측정값을 기록하여라.**
  - **지시에 따라 계산의 주요 결과를 W-4에 기록하여라.**

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

E-2

(스페인어판)

서론:

고체의 진동(진자, 용수철, 진자–용수철 결합계)을 통해 질량, 관성 모멘트, 고유 진동수, 공명 모드 등 여러 성질을 분석할 수 있다.

용수철 진동은 대개 질량과 관성 모멘트가 없는 용수철로 모형화하여 연구한다. 그러나 이 실험의 용수철 질량은 무시할 수 없어 자체 진동에 관성을 제공하고, 분석할 관–용수철 진동계에도 관성 모멘트를 제공한다. 또한 일정한 질량을 매달아야만 훅 법칙을 따르는, 조밀하게 감긴 원뿔형 용수철을 사용한다.

이 실험에서는 먼저 수직으로 진동하는 용수철의 등가 질량을 측정한다. 이어 한 축에 대해 진자 운동을 하는 관의 관성 모멘트를 측정한다. 마지막으로 용수철에 결합된 관의 관성 모멘트와 진동의 감쇠 상수를 측정한다.

각 과제의 종이에 중간 계산을 모두 적을 공간이 부족하면 “W- ”로 표시된 추가 종이를 사용하여라. 각 과제의 지시에 따라 “W- ” 뒤에 해당 과제의 번호를 붙여라.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험 E-3
시험

(스페인어판)

과제 1- (2.0점)

첫 번째 목표는 200 g의 부착 질량(m_{ac} = 200 g)의 무게로 늘어난 원뿔형 용수철의 용수철 상수 k를 구하는 것이다. 이 질량은 용수철 자체의 일부로 간주하여라. (부착 질량은 용수철을 훅 법칙이 성립하는 영역까지 늘리는 역할을 한다.)

그림 2와 같이 장치를 설치하여라. 반지름이 작은 끝이 용수철의 위쪽에 와야 한다. 제공된 질량 의 추를 이용해 진동시키지 않는 정적 방법으로 k를 구하여라. m_p

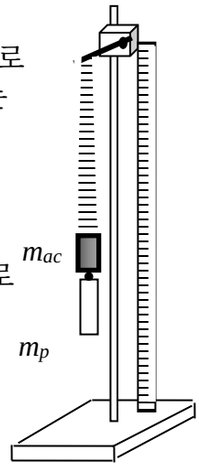


그림2

이 지역의 중력 가속도 g = 9.78 m/s^{2}를 사용하여라.

W-5a를 사용하여라. 추가 종이는 W-5b, W5c 등으로 표시하여라.

k를 W-4에 기록하여라.

이 과제에서는 k의 불확도를 구하지 마라.

과제 2- (5.5점)

원뿔형 용수철과 그에 붙인 질량으로 이루어진 계는 용수철 상수 k인 이상적인 무질량 용수철에 매달린 입자처럼 진동한다. 이 입자의 질량을 계의 *등가 질량* m_{eq}라 한다.

이 과제의 목표는 이 *등가 질량*을 구하는 것이다. 수직 진동 방법을 사용하여라.

측정으로부터 늘어난 용수철의 *등가 질량* m_{eq}를 구하고 k를 다시 구하여라. 질량–용수철 계의 주기 T는

$T = 2\pi\sqrt{m/k}$ 이며, 여기서 $m = m_{eq} + m_p$이다.

W-6a를 사용하여라. **추가 종이는 W-6b, W-6c 등으로 표시하여라.**

k와 m_{eq} 및 각각의 불확도를 W-4에 기록하여라.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험 E-4
시험

(스페인어판)

과제 3- (3.0점)

이 과제에서는 **진동 방법**으로 관의 질량 중심을 지나는 y축에 대한 주관성 모멘트 I_{yy}를 측정한다(그림 3). 관은 서로 다른 축에 대해 진자 운동을 할 수 있다. 진자의 주기 T와 매단 축에 대한 관성 모멘트 I의 관계는 다음과 같다:

$$2\pi/T = \sqrt{mgh/I}\ ,$$

여기서 h는 매단 점에서 질량 중심까지의 거리이다.

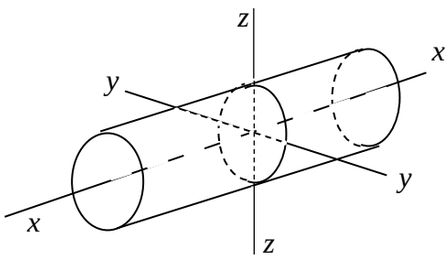


그림3

그림 3에는 세 주축이 나타나 있다. yy축에 대한 관성 모멘트 I_{yy}만 측정한다. 주축 yy에 **평행한**

$y'y'$축에 매단 관의 진자 운동을 이용하여 관성 모멘트를 계산하는 데 필요한 측정을 할 수 있도록 막대와 받침대가 제공된다(그림 4).

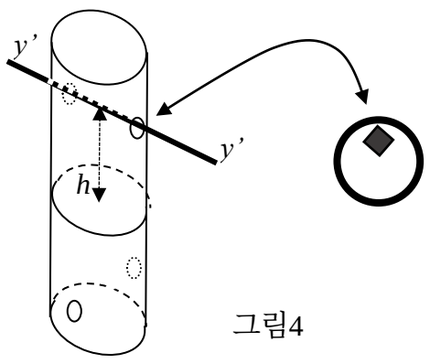


그림4

$I_{y'y'}$를 측정한 후 주관성 모멘트 I_{yy}를 계산하여라. 그림 4는 $y'y'$축의 설치 방법을 보여 준다.

계산에는 W-7a를 사용하여라. 필요하면 앞서 지시한 방식으로 번호를 붙여 종이를 추가하여라.

관의 평균 바깥 반지름 R_e, 평균 안쪽 반지름 R_i, 길이 L 및 추정 불확도를 W-3에 기록하여라.

관의 한쪽 끝 근처에는 구멍 $y'y'$ 두 개가 있다. 여기에 단면이 정사각형인 수평 막대를 끼워 진자를 매다는 축으로 사용할 수 있다. 축 막대의 수평, 지지점의 견고함, 축과 접촉하는 면적의 최소화 등에 주의하여 설치하여라. 관의 질량 m_t는 관에 붙은 카드에 적혀 있다. 질량과 그 불확도를 W-3에 기록한 뒤 카드를 떼어라.

실험으로 구한 I_{yy}를 다음 이론값과 비교하여라:

$$I_{yy\ teor} = (m_t/4)[R_i^2 + R_e^2 + L^2/3].$$

실험값 $I_{y'y'}$와 그 불확도, 불확도를 제외한 I_{yy}, 불확도를 제외한 $I_{yy\ teor}$, I_{yy}와 $I_{yy\ teor}$ 사이의 백분율 오차를 W-4에 기록하여라.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험 E-5
시험

(스페인어판)

과제 4- (5.0점)

그림 5와 같이 관을 수직으로 늘어난 용수철(용수철 + 부착 질량)에 결합하고 관을 수평으로 놓아라. 관과 용수철의 연결은 W-2의 그림 2를 참고하여라.

그림 5의 계의 회전 관성 모멘트에는 관의 질량뿐 아니라 용수철의 질량도 기여한다. 용수철은 관에 붙어 있는 입자로 모형화할 수 있다. 용수철의 기여분을 *용수철의 등가 관성 모멘트* I_{eq}라 한다.

이 과제의 목표는 용수철이 관에 결합되어 관의 한쪽 끝 근처를 지나는 수평축 $y'y'$ 주위로 진동할 때 등가 관성 모멘트 I_{eq}를 구하는 것이다. 관–용수철 계의 관성 모멘트 $I_{t\text{-}r}$를 실험으로 구한 뒤 *용수철의 등가 관성 모멘트* I_{eq}를 계산하여라.

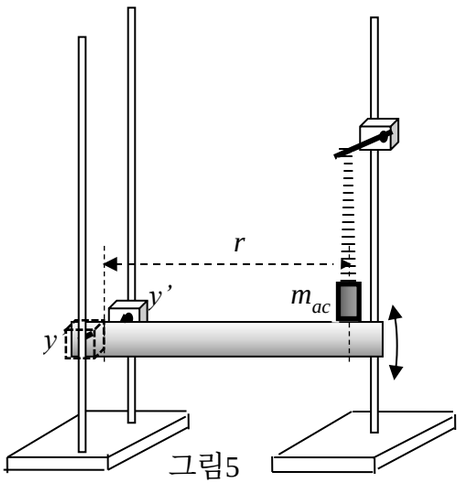


그림5

진동 주기를 여러 번 측정하고, $y'y'$축에 대한 계의 관성 모멘트 $I_{t\text{-}r}$를 계산하여라.

$I_{t\text{-}r}$를 계산할 때 진동 주기에 대한 다음 관계를 사용하여라:

$$2\pi/T = \sqrt{kr^2/I_{t-r}}\,,$$

여기서 r은 진동축에서 용수철 부착점까지의 거리와 거의 같다.

관성 모멘트의 가법성을 이용하여 $I_{t\text{-}r}$로부터 용수철의 I_{eq}를 계산하여라: $I_{t\text{-}r} = I_{y\acute{y}'} + I_{eq}$.

한편 $I' = m_{eq}\, r^2$도 계산하여라. I'는 용수철이 부착점에 있는 입자처럼 거동한다고 가정했을 때의 이론적 관성 모멘트이다.

직접 계산한 실험 오차 범위 안에서, 늘어난 용수철에 대해 $I' = I_{eq}$라고 결론 내릴 수 있는가? 아니면 물체–용수철 진동과 수평 막대 진자 진동의 이론 모형에서 이들은 독립적인 매개변수인가? 답을 W-9a에 적어라.

측정과 계산에는 W-9a와 번호를 올바르게 붙인 추가 종이를 사용하여라.

I_{eq}와 I' 및 각각의 불확도와, 두 값을 같다고 볼 수 있는지에 대한 결론을 W-4에 기록하여라.

주의: $y'y'$축이 통과하는 구멍의 반지름은 관의 길이에 비해 매우 작다. 따라서 1차 근사에서는 그림 4, 5와 같이 $y'y'$축이 구멍의 어느 가장자리에서 관을 지지하든 관성 모멘트 $I_{y'y'}$가 거의 같다고 볼 수 있다. 두 값의 차이는 약 1%이다.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA
Puerto Rico 2018

실험 E-6
시험

(스페인어판)

과제 5- (3.5점)

다섯 번째이자 마지막 목표는 그림 6과 같이 설치한 관–용수철 계 진동의 지수 감쇠 인자를 구하는 것이다. (접착테이프로 관 끝에 지시자 I를 붙여라.)

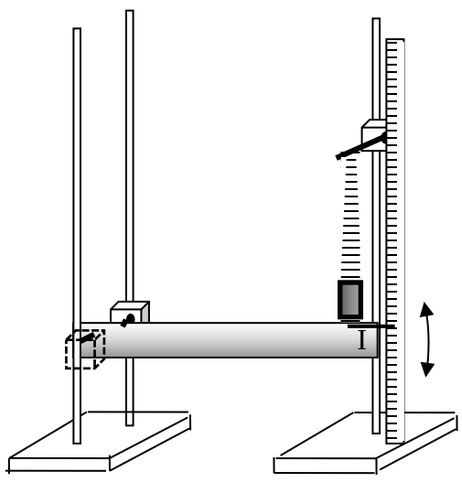


그림6

이 장치에서 막대 자유단의 진폭이 8.0 cm에서 4.0 cm로 줄어드는 동안 측정하여라. 진폭이 8 cm에서 7 cm로, 8에서 6으로, 8에서 5로, 8에서 4로 감소하는 데 걸리는 시간을 기록하여라. 같은 구간의 시간 측정을 여러 번 반복하여라.

진폭 A와 시간 t의 표를 만들고, 진폭이 대략 $A = A_o e^{-\lambda t}$에 따라 줄어든다고 가정하여 그래프로 λ를 구하여라.

λ의 불확도는 불필요.

측정값 표와 실험 그래프를 W-10a에 작성하여라.

λ를 W-4에 기록하여라.

W-3의 측정값 목록 (1.0점)

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

W-1

(스페인어판)

알림

먼저 요구된 물리량의 측정, 그래프 작성 및 계산을 모두 마친 뒤

마지막에 요구된 오차

(또는 불확도)를 계산하여라.

오차 분석은 중요하며 평가의 일부이지만,

올바른 데이터를 얻는 실험 능력,

그래프를 올바르게 그리는 능력,

데이터를 수학적으로 처리하여

물리량을 계산하는 능력을 우선 평가한다.

맨 뒤에 추가 계산용 종이가 있다. 예를 들어

과제 4에서 추가 계산지를 사용한다면,

오른쪽 위 모서리에 W-4b, W-4c 등으로 번호를 붙여

W-4a 뒤에 넣어라.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

W-2

(스페인어판)

준비물:

원통

짧은 막대

긴 막대

클램프

클램프

클램프

축 고정용 짧은 받침대 두 개

초시계

기포 수준기

200 g 추

자·용수철 지지대 **S**

자를 지지대 **S**에 고정하는 집게

용수철을 매다는 긴 받침대

버니어

지지대 **S**에 매단 원뿔형 용수철

추걸이와 추

테이프 조각

철사 지시자

자

금속 고리

그림1

금속 고리로 관과 용수철을 연결하는 방법

용수철

연결 하중

그림 2

관

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

W-2a

(스페인어판)



원통



원뿔형 용수철



축 고정용 짧은 받침대 두 개



용수철을 매다는 긴 받침대



긴 막대



짧은 막대



클램프



200 g 추



자·용수철 지지대 **S**



기포 수평계



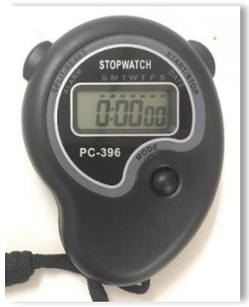
접착 테이프



추걸이와 추



버니어 캘리퍼스



초시계



금속 고리



자를 지지대 **S**에 고정하는 집게



철사 지시자

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

W-3

(스페인어판)

제출할 결과

(최종 확인표)

과제 1-

k = ____9.2 N/m _____

과제 2-

k = ___9.2 N/m _____

δk = _____± 0.3 N/m _____

m_{eq} = ____0.23 kg _____

δm_{eq} = ___± 0.02 kg _____

과제 3

$I_{x'x'}$ = ____0.001166 kg m^2_____

I_{xx} = _____0.00058 kg m^2_____

$I_{xx,teor}$ = ___0.0057 kg m^2_____

$Dif(\%)_{exp\text{-}teor}$ (I_{xx}와 $I_{xx\ teor}$ 사이) = _____1.7%_____

$I_{y'y'}$ = _____0.0197 kg m^2_____

$\delta_{y'y'}$ = _____0.0003 kg m^2 _____

I_{yy} = _____0.0072 kg m^2_____

$I_{yy,teor}$ = ____0.0066 kg m^2 _____

$Dif(\%)_{exp\text{-}teor}$ (I_{yy}와 $I_{yy\ teor}$ 사이) = _____9%_____

과제 4-

$I_{t\text{-}r}$ = _____0.0534 kg m^2_____

I_{eq} = _____0.034 kgm^2_____

δI_{eq} = _____0.004 kg m^2_____

I' = _____0.0373 kgm^2_____

$\delta I'$= _____0.0005 kg m^2_____

결과에 따라 $I_{eq} = I'$로 볼 수 있는가?

같다: 불확도 구간이 겹친다

과제 5-

λ = _____0.020 s^{-1}_____

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA
Puerto Rico 2018

실험
시험

W-4

(스페인어판)

측정값 기록지: 각 물리량의 불확도를 포함하여라.

용수철 질량 m_r: 0.101 ± 0.001 kg

관의 질량 m_t: 0.304 ± 0.001 kg

관의 길이 L: 0.500 ± 0.001 m

관의 바깥지름 D_e: (0.088 및 0.090): 0.089 ± 0.001 m

관의 안지름 D_i: (0.086 및 0.087): 0.086 ± 0.001 m

관의 바깥 반지름 R_e: 0.0445 ± 0.0005 m

관의 안쪽 반지름 R_i: 0.0435 ± 0.0005 m

옆 구멍의 지름 d: 0.007 ± 0.001 m

관의 끝에서 옆 구멍의 가까운 가장자리까지의 거리 s: 0.048 ± 0.001 m

관의 끝에서 가장 가까운 옆 구멍의 중심까지의 거리 l: 0.050 ± 0.001 m

$y'y'$축에서 $z'z'$축까지의 거리 r(그림 4): 0.407 ± 0.001 m

$y'y'$축에서 관의 중심까지의 거리 h: 0.200 ± 0.001 m

(어느 거리를 여러 번 측정해야 한다면 그 우연 오차를 추정하여라.)

각 과제의 측정값 표에서 모든 행과 열을 채울 필요는 없다. 필요하다고 판단한 만큼만 사용하여라.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA
Puerto Rico 2018

실험
시험

W-5a

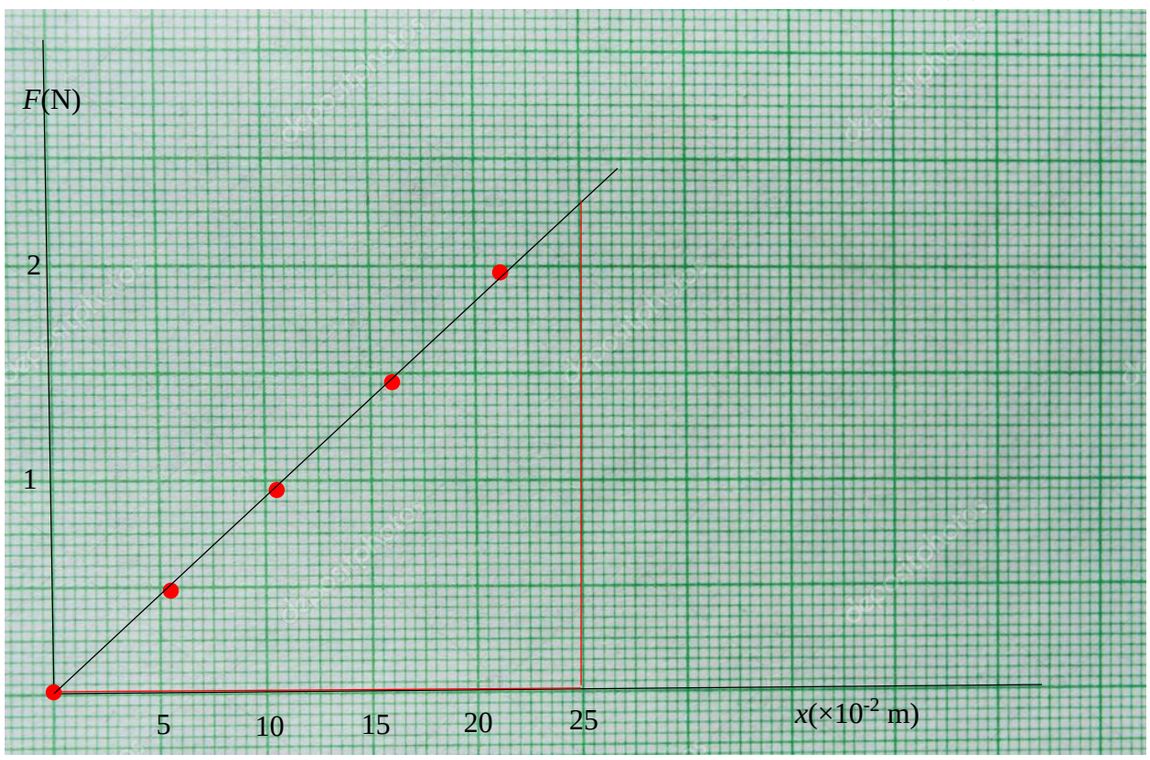
(스페인어판)

과제 1-

***k*의 측정(정적 방법):**

m(g)	*x*(cm)	*Δx*(cm)	*mg*(N)			
0	41.6	0	0			
50	46.7	5.1	0.484			
100	52.1	10.5	0.979			
150	57.5	15.9	1.457			
200	62.9	21.2	1.957			

그래프: (1)



$k = \Delta F/\Delta x$ = 2.3 / (25×10^{-2}) = 9.2 N/m

……..*k* : (0.5)

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

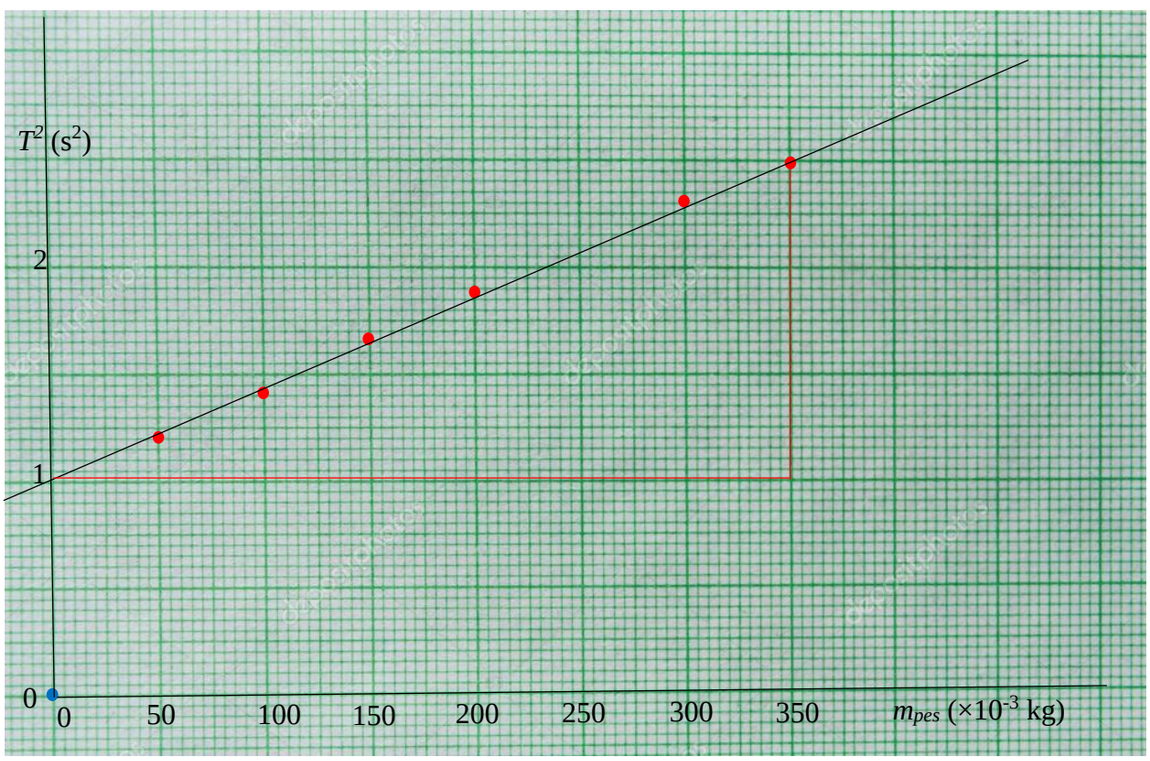
W-6a

(스페인어판)

과제 2-

***m_{eq}*와 *k*의 측정(동적 방법):** (10회 진동 시간 *t*)

m(g)	t_1(s)	t_2(s)	t_3(s)	t_{avg}(s)	*T*(s)	T^2(s^2)
50	10.97	11.00	10.94	10.97	1.097	1.203
100	11.97	12.03	11.97	11.99	1.999	1.438
150	12.93	12.94	12.96	12.94	1.294	1.674
200	13.72	13.69	13.62	13.68	1.368	1.871
300	15.28	15.21	15.28	15.26	1.526	2.327
350	15.81	15.81	15.84	15.82	1.582	2.503



$2\pi/T = [k/m]^{1/2} = [k/(m_{pes} + m_{eq})]^{1/2}$

$T^2 = (4\pi^2/k)\, m_{pes} + (4\pi^2/k)\, m_{eq}$

기울기 = (2.5 – 1.0) / (0.350 – 0) = 4.286 = $4\pi^2/k$; k = 9.21 N/m

절편 = 1.00 = $(4\pi^2/k)\, m_{eq}$; m_{eq} = 0.233 kg

오차 전파를 이용하면(그래프 눈금으로부터):

$\delta k = k\,[\delta m_{pes}/\Delta m_{pes} + \delta T^2/\Delta T^2)] = 9.2(2/350 + 0.05/2.5) \approx$ 0.3 N/m

$\delta m_{eq} = m_{eq}\,[\delta k/k + \delta T^2/\ interc)] = 0.233(0.3/9.2 + + 0.05/1.0) \approx$ 0.02 kg

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

W-7a

(스페인어판)

과제 3-

***I_{yy}*의 측정:** (10회 진동 시간 t의 측정)

t(s)	T(s)					
11.31	1.131					
11.35	1.135					
11.34	1.134					
1132	1.132					
11.36	1.136					
			T_{avg}(s)	δT_{avg} (s)		
			1.134	±0.003		

$I_{y'y'} = mghT^2/(4\pi^2) = 0.304\times9.786\times0.203\times1.134^2 / (4\pi^2) =$ 0.0197 kg m^2 (h = 0.200 + 0.003 m)

$I_{yy} = I_{y'y'} - mh^2 = 0.0197 - 0.304\times0.203^2 =$ 0.0072 kg m^2 ≈ 0.007 kg m^2

$I_{yy\ teor} = 1/4\ m(R_e^2 + R_i^2 + L^2/2) = 0.25\times0.304(0.044^2 + 0.043^2 + 0.500^2/3)$

$I_{yy\ teor} =$ 0.0066 kg m^2 ≈ 0.007 kg m^2

$\delta I_{y'y'} = I_{y'y'}(\delta m/m + \delta g/g + \delta h/h + 2\delta T/T) =$

$= 0.0194(0.001/0.304 + 0 + 0.001/0.203 + 2\times0.003/1.134) =$ 0.0003 kg m^2

Dif(%) = (6/66)×100 = 9%

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

W-9a

(스페인어판)

과제 4-

***I_{eq}*의 측정:** (10회 진동 시간 t의 측정)

t(s)	T(s)				δT_{avg} (s)		
12.10	1.210						
11.88	1.188						
12.00	1.200						
11.91	1.191						
11.97	1.197						
				T_{avg}(s)	δT_{avg} (s)		
				1.197	±0.013		

$I_{t\text{-}r} = kr^2T^2/(4\pi^2) = 9.2\times0.400^2\times0.200\times1.197^2 / (4\pi^2) =$ 0.0534 kg m^2

한편: $I_{t\text{-}r} = I_{y'y'} + I_{eq}$

$I_{eq} = I_{t\text{-}r} - I_{y'y'} = 0.0534 - 0.0197 = 0.0337$ kgm^2 = 0.034 kg m^2 $(I_{y'y'} = 0.0197 - 0.0004)$

$\delta I_{t\text{-}r} = I_{t\text{-}r}(\delta k/k + 2\delta r/r + 2\delta T/T) =$

$\delta I_{t\text{-}r} = 0.0534(0.3/9.2 + 2\times0.003/0.400 + 2\times0.013/1.197) \approx 0.004$ kg m^2

$\delta I_{eq} = \delta I_{t\text{-}r} + \delta I_{y'y'} = 0.004 + 0.0003 \approx$ 0.004 kg m^2

$I'_{eq} = m_{eq}r^2 = 0.233\times0.400^2 = 0.0373$ kg m^2 = 0.0373 kg m^2

$\delta I'_{eq} = I'_{eq}(\delta m_{eq}/m_{eq} + 2\delta r/r) = 0.037(0.002/0.233 + 2\times0.001/0.400) =$ 0.0005 kg m^2

$I'_{eq} = 0.0373 \pm 0.0005$ kg m^2

$0.030 < I_{eq} < 0.038$ 및 $0.0368 < I'_{eq} < 0.0378$

두 값은 불확도 범위 안에서 일치한다.

XXIII Olimpiada IBEROAMERICANA de FÍSICA

Puerto Rico 2018

실험
시험

W-10a

(스페인어판)

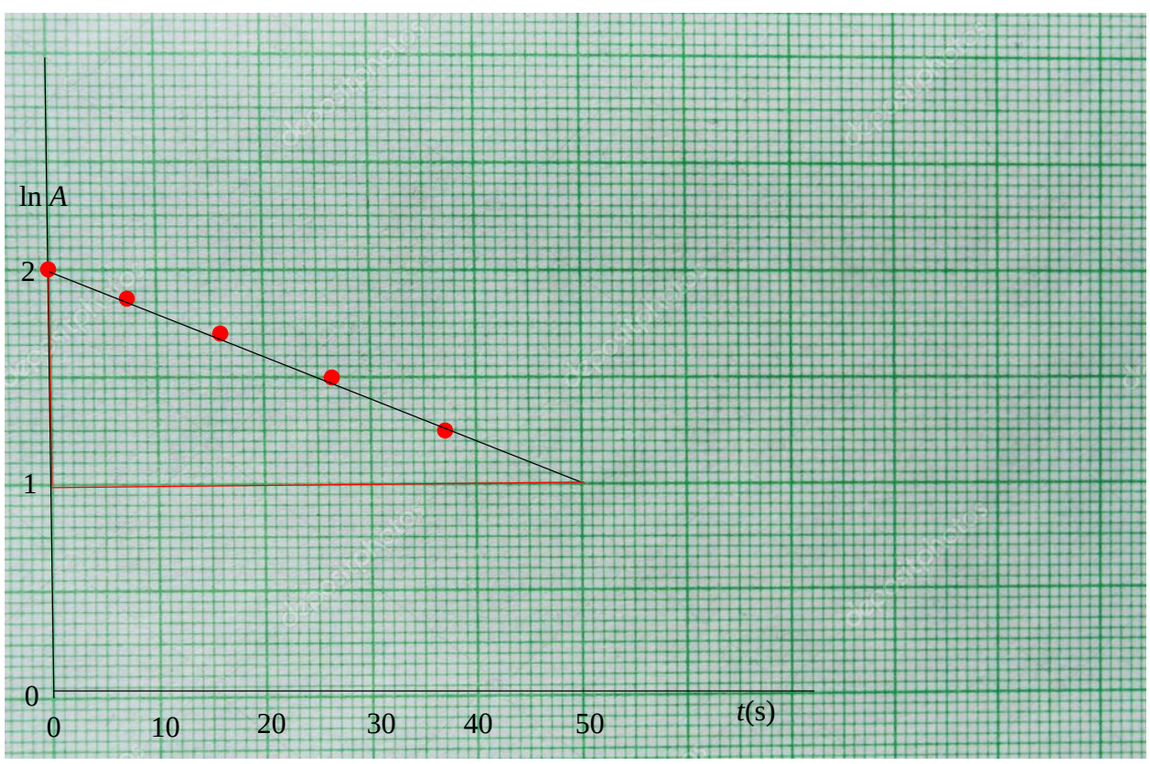
과제 5-

λ의 측정.

자에서의 평형 위치: x_o = 30.5 cm

x(cm)	t_1(s)	$t2_1$(s)	t_3(s)	t_{avg}(s)	A(cm)	ln A
38	0	0	0	0	7.5	2.01
37	8.28	6.19	7.35	7.2	6.5	1.87
36	17.47	14.35	15.78	15.8	5.5	1.70
35	26.51	26.66	25.36	26.2	4.5	1.50
34	37.50	36.75	36.41	36.9	3.5	1.25

λ = 0.020 s^{-1}



λ =(2 -1) / (50 – 0) = 1/50 = 0.020 s^{-1} $A = 7.5(\text{cm})\, e^{-.020t}$