AAPT UNITED STATES PHYSICS TEAM
AIP 2022

실험 대표 선발 시험

제한 시간 3시간

올해는 실험실에서 실제 실험을 할 수 없었기 때문에, 대표 선발에 쓰이던 실험들을 이 하나의 시뮬레이션 실험으로 대신한다.

미래 원형 충돌기 (The Future Circular Collider)

1 안전 경고

이 실험에는 특별히 주의할 안전 문제가 없다.

2 개요

입자 물리학자, 응집 물질 물리학자, 원자 물리학자, 화학자 모두 산란 실험으로 물질의 구조를 들여다본다. 이런 실험에서는 입자를 다른 입자에 부딪친 다음, 무엇이 나오는지 보고 충돌 중에 무슨 일이 일어났는지 추론한다. 이 실험에서 여러분은 이 전통을 이어, 정해진 초기 조건에서 수평 탁자 위를 미끄러지는 원판들의 충돌을 시뮬레이션하여 분석한다. 원판은 항상 탁자 위에 납작하게 놓여 있고, 탁자에는 마찰이 없다. 시뮬레이션에서 물체 사이의 충돌은 다음 규칙을 따른다.

- 법선 방향의 상대 속도는 부호가 바뀌고 반발 계수 c가 곱해진다. 완전 탄성 충돌이면 $c = 1$이다.
- 접선 방향의 상대 속도는 보통의 방식으로 마찰에 의해 바뀐다. 상대 속도가 0이면 정지 마찰이 그것을 0으로 유지하려 하고, 0이 아니면 운동 마찰력 μN이 그것을 0 쪽으로 민다. 여기서 N은 수직항력이다.

요구된 매개변수를 얻는 방법은 여러 가지이므로, 채점은 주로 결과의 정밀도와 정확도로 한다. 여러분이 정하는 초기 조건에는 고유한 절대 불확도와 상대 불확도가 함께 붙으므로, 적절한 값을 고르고 여러 번 시행하여 정확한 결과를 얻어야 한다. **모든 부분에 불확도 추정이 필요하다.** 다만 실험을 어떻게 하느냐에 따라 각 소문항에 그래프가 필요할 수도 있고 필요 없을 수도 있다. 늘 그렇듯이, 결과를 어떻게 얻었는지 보이는 데 필요한 그림, 뒷받침하는 계산과 그 밖의 정보를 보고서에 모두 포함하라.

Copyright ©2022 American Association of Physics Teachers

3 장비

이것은 물리적 장비가 전혀 없는 순수한 시뮬레이션 실험이다. 필요한 것은 충돌을 시뮬레이션하는 `collision-black-box` 프로그램뿐이며, 여기에서 내려받을 수 있다.

프로그램을 실행하는 방법은 운영체제에 따라 다르다. Windows에서는 다음과 같다.

- 시작 메뉴에서 **powershell**을 검색해 실행하여 터미널을 연다. 실험 전체를 이 터미널에 명령을 입력하여 진행한다.
- `cd <path-to-folder>`를 실행하여 내려받은 `collision-black-box` 프로그램이 있는 폴더로 이동한다. 대부분의 컴퓨터에서는 `cd ~/Downloads`가 맞는 명령이다.
- 실험의 첫 번째 부분은 `collision-black-box-windows.exe wall`로, 두 번째 부분은 `collision-black-box-windows.exe disk`로 실행한다.

macOS에서는 절차가 조금 더 복잡하다.

- 터미널(Terminal) 앱을 실행한다. 실험 전체를 이 터미널에 명령을 입력하여 진행한다.
- `cd <path-to-folder>`를 실행하여 내려받은 `collision-black-box` 프로그램이 있는 폴더로 이동한다. 대부분의 컴퓨터에서는 `cd ~/Downloads`가 맞는 명령이다.
- `chmod +x collision-black-box-macos`를 실행하여 파일을 실행 가능한 프로그램으로 표시한다.
- `open .`을 실행하여 현재 폴더를 Finder에서 연다. Finder에서 `collision-black-box` 프로그램을 control-클릭하여 메뉴를 열고 **열기**를 선택한다. 나타나는 대화 상자에서 확인한다. 다른 터미널 창이 잠깐 나타났다 사라질 것이다. 이제 프로그램에 실행 권한이 주어졌다.
- 터미널로 돌아와 실험의 첫 번째 부분은 `./collision-black-box-macos wall`로, 두 번째 부분은 `./collision-black-box-macos disk`로 실행한다.

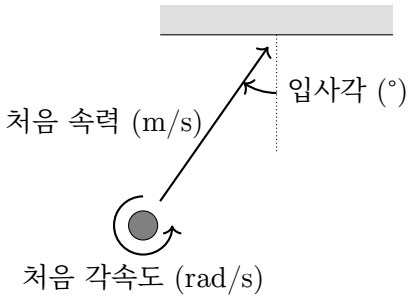
Copyright ©2022 American Association of Physics Teachers

4 실험

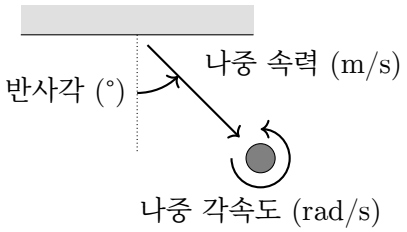
4.1 벽과의 충돌

이 부분에서는 질량 M, 반지름 R, 관성 모멘트 $I = \beta MR^2$인 원판을 고정된 긴 수직 벽을 향해 발사한다. 원판의 처음 속력과 반시계 방향 각속도, 그리고 처음 속도가 벽의 법선과 이루는 입사각을 정한다. 프로그램은 충돌을 시뮬레이션하여 충돌 후의 이 매개변수 값들을 돌려준다.

입력하는 값:



프로그램이 돌려주는 값:



정하는 매개변수는 다음 범위 안에 있어야 한다.

- $0.5\,\mathrm{m/s} \leq$ 처음 속력 $\leq 10\,\mathrm{m/s}$.
- $-50\,\mathrm{rad/s} \leq$ 처음 각속도 $\leq 50\,\mathrm{rad/s}$.
- $0^\circ \leq$ 입사각 $\leq 75^\circ$.

원판 발사 장치의 불완전함을 흉내 내기 위해, 정한 초기값에는 항상 다음 불확도가 붙는다.

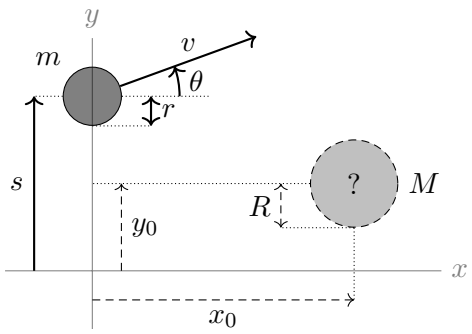
- 처음 속력: 상대 불확도 5%와 절대 불확도 0.05 m/s가 겹쳐 붙는다.
- 처음 각속도: 상대 불확도 5%와 절대 불확도 0.2 rad/s가 겹쳐 붙는다.
- 입사각: 절대 불확도 1°.

1. (a)원판과 벽 사이의 반발 계수 c를 구하라.
   (b)원판의 반지름 R과, μ, β의 값을 구하라.

Copyright ©2022 American Association of Physics Teachers

4.2 원판과의 충돌

이 부분에서는 "탐사" 원판을 탁자 위의 숨겨진 두 번째 원판을 향해 발사한다. 숨겨진 원판은 질량 M, 반지름 R이며, 중심이 알려지지 않은 위치 (x_0, y_0)(단, $x_0 > 0$)에 놓인 채 정지해 있다. 탐사 원판의 반지름은 $r = (0.250 \pm 0.001)\,\mathrm{m}$이지만, 질량 m, 처음 위치 $(0, s)$, 처음 속력 v, 처음 속도의 방향 θ(수평과 이루는 각)는 여러분이 정한다. 두 원판 모두 마찰이 없으므로 회전은 상관없다. 프로그램은 충돌이 일어나면 그것을 시뮬레이션하여 탐사 원판의 나중 속도(속력과 각도)를 돌려준다.



정하는 매개변수는 다음 범위 안에 있어야 한다.

- $1\,\mathrm{kg} \le m \le 5\,\mathrm{kg}$.
- $-2\,\mathrm{m} \le s \le 2\,\mathrm{m}$.
- $0.5\,\mathrm{m/s} \le v \le 10.0\,\mathrm{m/s}$.
- $-90^\circ \le \theta \le 90^\circ$.

정하는 매개변수에는 다음 불확도가 붙는다.

- m: 상대 1%와 절대 0.05 kg.
- s: 절대 2 mm.
- v: 상대 1%와 절대 0.05 m/s.
- θ: 절대 0.1°.

2. (a) 숨겨진 원판의 처음 위치 (x_0, y_0)를 구하라.
   (b) 숨겨진 원판의 반지름 R을 구하라.
   (c) 숨겨진 원판의 질량 M과, 두 원판 사이의 반발 계수 c를 구하라.

Copyright ©2022 American Association of Physics Teachers