2025 온라인 물리 올림피아드: 초청 대회



제II부

후원사

물리학, 수학, 교육 분야에서 활약하는 후원사들의 도움 덕분에 이 대회를 열 수 있었습니다.













실험 문제 [15점]

축구의 기술 [15점]

리오넬은 정체를 알 수 없는 행성에 와 있다. 가진 것은 촬영 주기가 일정하지만 불안정한 카메라와 구형 축구공뿐이다. 공기와 중력이 모두 이상하다고 느낀 그는 자신의 실력을 살려 공을 차고, 그 궤적을 카메라로 기록하기 시작한다. 공의 반지름은 $r = 11$센티미터, 질량은 $m = 430$그램이다. 항력 계수는 $C_d = 0.47$로 둔다. 실력이 뛰어나도 사람인 만큼 그가 공에 주는 속력, 발사각, 각속력에는 불확실성이 있다.

공기 중을 움직이는 공에 작용하는 힘은 다음 식으로 주어진다.

$$\vec{F}_{\text{drag}} = -\frac{1}{2}\rho C_d A v^2\,\hat{v}$$

$$\vec{F}_{\text{Magnus}} = Kr\vec{\omega} \times \vec{v}$$

여기서 ρ는 공기 밀도, A는 공의 단면적, $\vec{v}$는 공의 속도, $\vec{\omega}$는 공의 각속도, K는 마그누스 힘 계수이다. 공의 각속도 감소는 다음 식으로 주어진다.

$$\dot{\omega} = -B\omega v.$$

시뮬레이션 프로그램 안내. 실행 파일은 이 Google Drive 폴더에 있다. 컴퓨터의 운영체제에 맞는 폴더를 선택한다. Linux와 Windows에서는 해당 폴더의 실행 파일(각각 “magnus.bin” 또는 “magnus.exe”)을 받으면 된다. MacOS에서는 “magnus.zip”을 내려받고 두 번 클릭해 “magnus sim.dist”를 만든다. 이 파일을 오른쪽 클릭한 뒤 “패키지 내용 보기”를 선택하면 안에서 실행 파일 “magnus”를 찾을 수 있다. 패키지의 다른 파일은 삭제하지 않는다.

실행 파일을 두 번 클릭한다. 악성 코드 차단 소프트웨어를 잠시 꺼야 할 수도 있다. MacOS에서 실행이 차단되면 시스템 설정의 개인정보 보호 및 보안으로 이동한다. 보안 항목에 “magnus”를 열려고 한다는 알림이 표시되면 “그래도 허용” 또는 “그래도 열기”를 누른다.

실행 파일이 로드되기까지 잠시 걸릴 수 있다. 실행하면 다음 항목을 묻는다.
입력값:

- 초기 속력 v_0(m/s, 범위 [5 m/s, 40 m/s]), v_0의 불확실성은 약 0.5 m/s이다.
- 초기 발사각 θ_0(도), θ_0는 양수만 가능하다. θ_0의 불확실성은 약 0.5°이다.
- 초기 각속도 ω_0(rad/s, 범위 [-400 rad/s, 400 rad/s]), ω_0의 불확실성은 약 1 rad/s이다.
  시뮬레이션에서는 궤적에 수직인 각속도만 허용된다. 초기 각속도 ω는 공에 백스핀을 주면 양수, 톱스핀을 주면 음수이다.
- 출력 텍스트 파일의 이름을 정한다. 예를 들면 “output.txt”이다.

실행 파일에 출력 파일이 저장된 위치가 표시된다. 파일을 찾기 어렵다면 폴더 경로를 파일 탐색기의 주소 표시줄에 붙여 넣는다. Mac Finder에서는 Cmd+Shift+G를 사용한다.

출력 텍스트 파일에는 카메라로 찍은 공의 궤적 좌표 (x,y)가 시간순으로 들어 있다. 프로그램은 시뮬레이션을 다시 실행할지 묻는다.

원하면 이 Jupyter 노트북으로 궤적을 그릴 수 있다. 노트북을 복사한 뒤 출력 파일의 텍스트를 코드의 지정된 곳에 붙여 넣는다.

다음 양을 가능한 한 정확하게 구하고 각각의 불확실성을 제시한다. 사용한 자료, 표, 그래프 및 중간 계산값을 모두 제출한다.

- 바람 속력 v_w [2점]
- 공기 밀도 ρ [2.6점]
- 중력 가속도 g [2.6점]
- 카메라 프레임률 r_c Hz [0.8점]
- 마그누스 힘 계수 K [3점]
- 관성 계수 B [4점]