



APhO

1st ASIAN PHYSICS OLYMPIAD KARAWACI, INDONESIA

THEORETICAL COMPETITION

APRIL 25, 2000

Time available : 5 hours

READ THIS FIRST :

1. Use only the pen provided.
2. Use only the marked side of the paper
3. Each problem should be answered on separate sheets
4. In your answers please use primarily symbols, equations, numbers, graphs, tables and as little text as possible.
5. Write at the top of every sheet in your report:
 - Your candidate number (APhO identification number).
 - The problem number and section identification, e.g.2/a.
 - Number each sheet consecutively.
6. Write on the front page the total number of sheets in your report

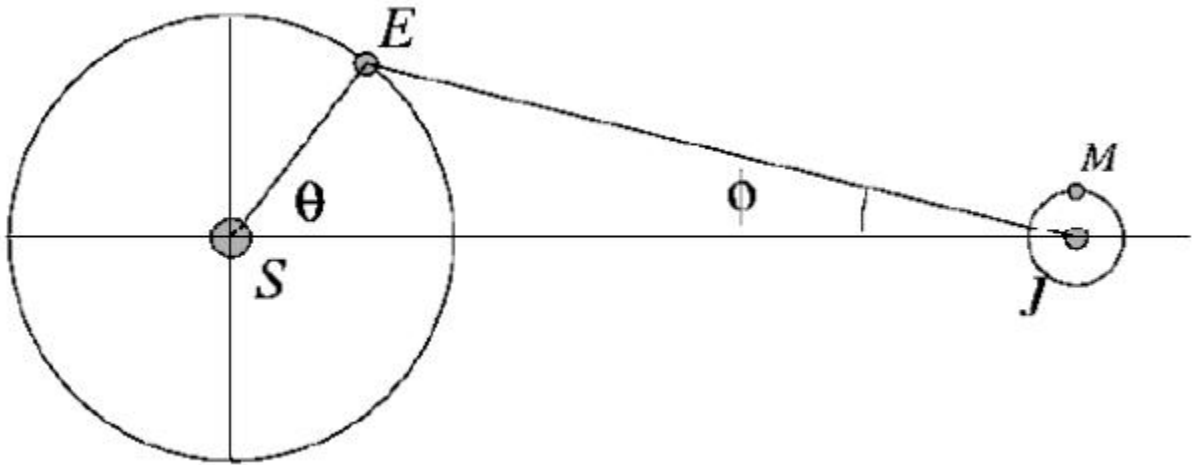
This set of problems consists of pages

Problem 1

Eclipses of the Jupiter's Satellite

덴마크의 천문학자 뢰머(O. Römer)는 오래 전에 과학자들이 빛의 속도를 정확히 측정 할 수 있기 전에 목성의 위성의 식(eclipse)에 관한 연구했다. 뢰머는 목성의 위성이 식을 나타내는 주기를 이용하여 빛의 속도를 결정할 수 있었다. 그림1은 태양 S의 주위를 도는 지구 E의 궤도와 목성 J의 주위를 돌고 있는 위성 M의 궤도를 나타낸 것이다. (뢰머는 위성 M이 목성 뒤에서 다시 나타나는 시간들 사이의 간격을 관찰하였다.)

오랜 시간 동안 식을 관찰한 결과 M의 주기에 대해서는 정확하게 알 수 있었고, 태양과 목성 SJ를 좌표계의 한 축으로하는 관성계에서 지구의 상대적인 위치에 따라 관측된 주기 T가 의존하는 것을 알아내었다. M의 평균 공전 주기 $T_0 = 42\text{시간 } 28\text{분 } 16\text{초}$ 였고, 관측된 주기의 최대값은 $T_0 + 15s$ 였다.



[그림1 : 태양 S의 주위를 도는 지구 E의 궤도와 목성 J의 주위를 돌고 있는 위성 M의 궤도. 지구 E와 태양 S 사이의 평균 거리 $R_E = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$, 최대 거리 $R_{E, \max} = 1.015 R_E$, 지구의 공전 주기는 365일이고, 목성의 공전 주기는 11.9년이다. 목성과 목성 위성 사이의 거리 $R_M = 422 \times 10^3 \text{ km}$ 이다.]

- 뉴턴의 중력 법칙을 이용하여 목성에서 태양까지의 거리를 구하시오.
- 태양에 대해서 목성이 정지하고 있는 관성계 SJ에서 지구의 상대적인 각속도 ω 와 지구의 속력을 구하시오.

c. 지구의 관찰자가 위치 θ_k 에 있을 때 목성의 위성 M이 목성의 그림자에서 벗어나는 것을 관측한 후에 다시 θ_{k+1} 에서 다음 번으로 목성의 그림자에서 벗어나는 것을 관측하였다. 이 관측을 통해 그림1의 시간 t_k 의 함수로서 관측되는 주기 $T(t_k)$ 를 구하고, 거리가 M의 관측된 주기에 어떻게 영향을 미치는지 설명하기 위해 근사식을 사용한다. 근사식을 사용하여 구한 거리의 상대오차가 어떻게 되는지 구하시오.

d. $d(t_k)$ 와 $T(t_k)$ 의 관계를 알아내시오. 관측 시간 t_k 의 함수로 주기 $T(t_k)$ 의 그래프를 그리시오. 위성 M의 최대 주기와 최소 주기를 관찰할 때 지구의 위치와 위성 M의 실제 주기를 구하시오.

e. 위 결과를 바탕으로 빛의 속도를 추론하시오. 이렇게 추론한 값의 오차 원인을 알아내고, 오차의 크기를 계산하시오.

f. 지구의 질량은 $5.98 \times 10^{24} \text{kg}$ 이고, 한 달은 27일 7시간 3분이다. 목성의 질량을 구하시오.

Problem 2

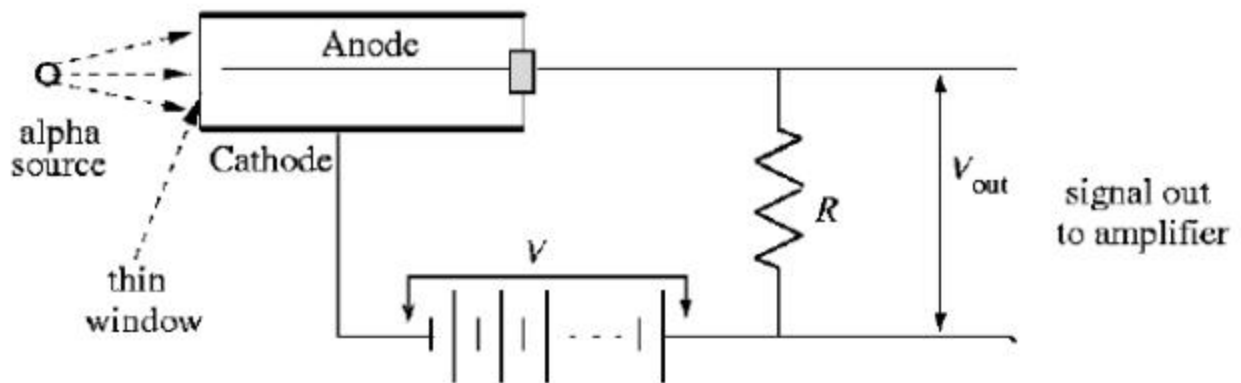
Detection of Alpha Particles

인간은 자연적이든, 인공적이든 방사선에 지속적으로 노출되고 있다. 원자력 발전소의 발전과 농업, 산업, 생물학 및 의학에서의 방사성 동위 원소의 이용으로 인위적인 방사능의 수는 매년 증가하고 있다. 방사능 물질인 α 입자는 헬륨 원자핵으로 +2로 대전되어 있으며, 원자질량으로 4배 크기의 질량이다.

전기적으로 α 입자를 검출하는 방법으로는 이 입자가 기체 및 다른 물질을 통과 할 때 이온화를 일으키는 능력에 기초한다. 대기압에서 공기 중의 α 입자가 이온화 시키는 범위 R_α 와 그리고 에너지 E 에는 다음과 같은 식이 성립한다. 여기서 R_α 는 cm 단위이고, E 는 MeV 단위이다.

$$R_\alpha = 0.318 E^{3/2} \quad (1)$$

α 입자를 검출할 때 이온화 챔버를 이용할 수 있다. 이온화 챔버는 α 입자가 지나갈 때 기체 원자들이 이온화되면서 발생하는 (+)와 (-) 전하를 분리하고 이 분리된 전하들은 검출이 가능한 펄스를 만들어내고, 이 펄스 신호를 증폭하여 기록한다. 양극과 음극에는 충분한 전위차를 걸어줘서 양극과 음극을 통과하는 동안에 전하들이 재결합하는 것은 무시할 수 있다.



[그림1 : 이온화 챔버와 회로의 간략한 그림]

a. 전기용량이 45pF 인 이온화 챔버 검출기 시스템을 이용하여 R_α 가 5.50 cm인 α 입자를 검출하려고 한다. 공기 중의 이온쌍(ion-pair, 가벼운 전자와 무거운 양전하를 띤 이온으로 만들어졌으며, 각 전하량의 크기 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ Coulomb이다.)의 이온화 에너지가 35eV라고 가정할 때, α 입자가 만드는 전압을 얼마인지 구하시오.

b. α 입자가 만드는 전압 펄스는 그림과 같이 저항 R에 걸린다. 이 검출기로 측정할 수 있는 가장 작은 포화 전류(α 입자가 만드는 것과 검출기가 수집하는 것의 비율이 같다고 가정하면, 전

류는 거의 일정하다.)는 10^{-12}A 이다. 검출기로 측정할 수 있는 α 입자 소스의 최소 활동성 A (방사성 동위원소의 붕괴율)을 계산하시오. α 입자의 이온화 범위 R_α 는 5.50cm이고, 검출기는 구조상 방출된 입자의 10%만을 측정한다.

c. 이온화 챔버가 시간 상수 $\tau = 10^{-3}$ 인 펄스를 측정하기 위해 사용된다. 필요한 저항 값을 계산하고, 0.25V의 신호를 만들어내기 위해 전압 펄스의 증폭비를 계산하시오.

d. 이온화 챔버는 원통형 계수기와 중심에 금속 와이어(양극, 지름 d)와 얇은 금속 덮개(음극, 지름 D)로 구성되어 있다. 금속 와이어에 흐르는 단위 길이당 전하량이 λ 일 때, 중심으로부터 거리 r ($\frac{d}{2} \leq r \leq \frac{D}{2}$)인 지점에서 전기장 $E(r)$ 와 퍼텐셜 $V(r)$ 를 구하시오. 또한, 단위 길이당 전기용량을 구하시오. 공기의 유전한계(물질 내 최대 전기장) E_b 는 3MV m^{-1} 이다. 만약 $d = 1\text{mm}$, $D = 1\text{cm}$ 일 때, 절연이 깨지는(breakdown) 와이어와 덮개 사이의 전위차를 계산하시오.

데이터 : $1\text{MeV} = 10^6\text{eV}$, $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$, $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{분열/초}(\text{disintegration/second}) = 10^6\mu\text{Ci}$
(Curie, 활동성 activity A 의 SI 단위) $\int \frac{dr}{r} = \ln r + C$

Problem 3

Stewart-Tolman Effect

1917년 Stewart와 Tolman은 원통 주변에 감겨있는 코일이 축 방향으로, 특정 각가속도로 회전하게 되면, 코일에 전류가 흐른다는 것을 발견했다.

반지름이 τ 이고 저항이 R 인 얇은 금속 와이어로 만들어진 금속 고리가, 내부가 진공인 매우 긴 유리 원통에 균일하게 배열되어 있다고 가정하자. 고리들은 원통에 접착되어 있어 각각 고리가 고정되어 있다. 원통의 대칭 축을 따라 단위 길이당 n 개의 고리가 있으며, 고리의 평면은 원통의 대칭 축에 수직하게 고정되어 있다.

원통을 각가속도 α 로 대칭축에 대해 회전 운동을 시켰다. 충분한 시간이 흐른 후, 원통의 중심 축에서 자기장 B 값을 구하시오. 전자의 전하량은 e , 질량은 m 이다.