G0-1

korean (Korea)

일반 지시 사항: 관측 - 태양 물리학 (75점)

이 태양 물리학 경시는 2시간이 주어지며, 총 75점이다.

경시 시작 전

- 시험 시작을 알리는 신호가 있기 전까지는 문제지가 들어있는 봉투를 열어서는 안된다.
- 경시의 시작과 종료는 시험감독의 신호로 결정되며, 경시 종료 15분 전일 때도 알려줄 것이다.

경시 도중

1. 태양 물리학 경시는한 개의 문제와 5개의 파트로 구성된다. 학생의 책상에는 한개의 봉투가 있다. 이 봉투 안에는 다음이 포함되어 있다:
    - **문제 제목, 본인의 학생 코드, 문제 코드, 본인의 이름이 포함된 표지.** 예: Data Analysis 1 (제목) GBR-1 DA1 John Smith (본인 이름이 정확한지 확인)
    - **문제지 (Q로 표시)**
    - **답안지 (A로 표시)**
    - **작업지 (W로 표시)**
2. 이번 연도의 대회 양식은 학생들이 (브라우저 버전이 아니라) 설치 버전의 앱 (JHelioviewer)을 경시에서 사용하도록 허용하고 있다. 모든 국가의 참가자들에게 참가자들이 정직하고 본 경시가 완벽하게 공정했다는 것을 확신시키기 위해 모든 학생들은 엄격히 감독될 것임을 명심하라. 학생들은 위 앱 외에 그 어떤 프로그램(앱)도 접근할 수 없다.
3. 최종 답을 쓰기 위한 용도로만 IOAA **답안지(A로 표시)**를 사용하시오. 최종 답은 해당 **답안지**의 적절한 칸에 쓰시오. 답안지는 인쇄된 앞면만 사용하고 뒷면은 사용하지 마시오. **작업지(W로 표시)**는 계산할 때 사용하시오.
4. 계산 과정이나 최종 답을 쓸 때는 항상 검정색이나 청색 펜을 사용하시오. 그렇게 해야 채점자가 스캔된 답을 좀 더 명확하게 읽을 수 있다. 잘못한 부분은 선을 그어 지우시오.
5. 채점자가 학생 답안을 좀 더 잘 이해할 수 있도록 수학적 표현을 가능한 많이 사용하시오. 채점자는 학생의 모국어를 이해하지 못한다는 점을 유념하시오. 만약 말로 설명이 필요하다면 짧은 문구를 사용하시오(가능하다면 영어로).
6. 허가 없이 자신의 책상을 떠나서는 안된다. 도움이 필요하면 (계산기 고장, 화장실 방문, 등) 손을 들어 감독관에게 알리시오.
7. 경시가 종료되면 즉각 답안 작성을 멈추어야 한다. 감독관의 지시에 따라 문제 순서대로 답안지와 작업지를 정렬해서 해당 봉투에 넣은 뒤에 책상 위에 놓아두시오. 어떤 종이도 경시장 밖으로 가지고 나가서는 안 된다.

DELEGATION PRINT

G0-2

korean (Korea)

표준상수표

기본 상수

진공에서 빛의 속력	c	=	$2.998 \times 10^{8} ms^{-1}$
플랑크 상수	h	=	$6.626 \times 10^{-34} Js$
볼츠만 상수	k_B	=	$1.381 \times 10^{-23} JK^{-1}$
스테판-볼츠만 상수	σ	=	$5.670 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$
기본전하	e	=	$1.602 \times 10^{-19} C$
만유인력상수	G	=	$6.674 \times 10^{-11} Nm^{2}kg^{-2}$
보편기체상수	R	=	$8.315 Jmol^{-1}K^{-1}$
아보가드로 상수	N_A	=	$6.022 \times 10^{23} mol^{-1}$
비인의 변위법칙	$\lambda_m T$	=	$2.898 \times 10^{-3} m \cdot K$
전자의 질량	m_e	=	$9.109 \times 10^{-31} kg$
양성자의 질량	m_p	=	$1.673 \times 10^{-27} kg$
중성자의 질량	m_n	=	$1.675 \times 10^{-27} kg$
원자 질량 단위 (a.m.u.)		=	$1.661 \times 10^{-27} kg$

DELEGATION PRINT

G0-3

korean (Korea)

천문자료

1 파섹	$1\,pc$	$=$	$3.086 \times 10^{16} m$
		$=$	$206\,265\,au$
		$=$	$3.262\,ly$
1 천문단위	1 au	$=$	$1.496 \times 10^{11} m$
1 잰스키 (옌스키)	1 Jy	$=$	$10^{-26} W m^{-2} Hz^{-1}$
허블 상수	H_0	$=$	$70\,kms^{-1} Mpc^{-1}$
태양 광도	L	$=$	$3.826 \times 10^{26} W$
태양의 겉보기 각지름	θ	$=$	$32'$
태양의 유효온도	$T_{eff,}$	$=$	$5778K$
황도경사각 (지구)	ε	$=$	$23.5°$
황도에 대한 달궤도 경사		$=$	$05°08'43"$
보름달의 겉보기 안시등급		$=$	-12.74
황도의 북극(J2000.0)	(α_E, δ_E)		$(18^h 00^m 00^s, +66°33'39")$
은하의 북극 (J2000.0)	(α_G, δ_G)		$(12^h 51^m 26^s, +27°07'42")$
1 항성일		$=$	$23^d 56^m 04^s$
1 회귀년		$=$	$365.2422\,solar\,days$ (태양일)
1 항성년		$=$	$365.2564\,solar\,days$ (태양일)

태양의 등급

겉보기 안시	$=$	-26.75
절대 안시	$=$	$+4.82$
겉보기 복사	$=$	-26.83
절대 복사	$=$	$+4.74$

DELEGATION PRINT

G0-4

korean (Korea)

태양계

천체	평균 반지름 (km)	질량 (kg)	장반경 (au)	이심률
태양	695 500	1.988×10^{30}	—	—
수성	2 440	3.301×10^{23}	0.387	0.206
금성	6 052	4.867×10^{24}	0.723	0.007
지구	6 378	5.972×10^{24}	1.000000	0.016 710
달	1 737	7.346×10^{22}	0.002572	0.054 900
화성	3 390	6.417×10^{23}	1.524	0.093
목성	69 911	1.898×10^{27}	5.203	0.048
토성	58 232	5.683×10^{26}	9.537	0.054
천왕성	25 362	8.681×10^{25}	19.189	0.047
해왕성	24 622	1.024×10^{26}	30.070	0.009

가우스의 공식

코사인 정리 : $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$

사인 정리 : $\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$

DELEGATION PRINT

태양의 채찍질 (The Solar Slap; 75점)

일반적 지시사항을 읽고 시험을 시작하시오.

25번째 태양순환기가 시작되고 있다! 이 순환기는 2019년 12월 시작돼서 2025년 최고점을 찍을 것이다. 새로운 순환기의 시작은 대략 2025년 중순까지 태양 활동이 증가할 것이라는 의미이다. 이러한 활동성 증가의 직접적인 결과중 하나가 바로 빈번한 태양 플레어의 발생이다. 태양 플레어는 태양의 광구와 저고도 코로나(low-corona) 영역에서 관측되는 강력하고 폭발적인 복사(輻射, radiation)이다. 태양 플레어는 가끔 코로나 질량 방출(coronal mass ejection, CME)을 동반한다. CME는 코로나의 플라즈마를 행성간 공간으로 뿜어내는 현상이다.

지금 우리는 태양 천체물리학의 황금기에 살고 있다. 태양의 활동성이 증가하는 시점에 들어서고 있는 것에 더해, 태양에 대해 종전과 완전히 다른 연구를 가능케 하는 새로운 태양 망원경들이 등장했다. 이중 하나는 파커 태양 탐사선 (Parker Solar Probe, ParkerSP)이다. ParkerSP는 탐사선 사상 처음으로 태양의 저고도 코로나 안쪽으로 날아들어간다. ParkerSP는 꽤 찌그러진, 이심률이 큰 궤도를 가지고 공전하며 ($\varepsilon \approx 0.88$), 2025년에 공전할 최종 궤도의 근일점에서는 태양에 7 million km ($\sim$10 태양반지름) 만큼 다가갈 것이다.

한편, 최근 2021년 05월 28일(2021-05-28), 태양 우주 망원경인 SOHO에 탑재된 LASCO 코로나그래프(coronagraph)에서 C자형 CME가 발견되었다 (SOHO는 지구에서 km 떨어진, 태양-지구 L1 라그랑쥬점 근처에 있다). 22:19 UTC에 일어난 태양 폭발은 태양-지구 벡터로부터 황도 진행각 55° 방향의 CME를 발생시켰고, 이 CME는 곧장 ParkerSP가 있는 지점으로 날아갔다. 그림 1은 NASA에 의해 촬영된 세 장의 연속적인 이미지로, CME가 발생한 시점부터 ParkerSP에 도달할 때까지의 진화과정을 보여준다.

모든 탐사선은 정확히 황도면 상에 있고, 그림들은 황도면을 위에서 내려다 본 그림들이라고 가정하라.

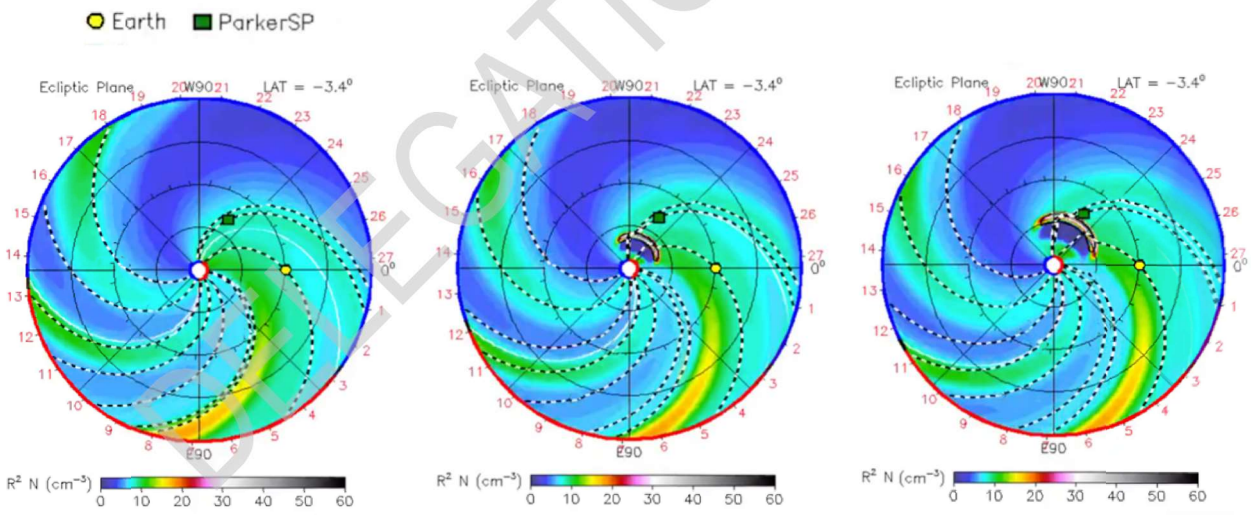


그림 1: 태양중심 좌표에서의 밀도 분포를 보여주는 일련의 이미지들. CME의 발생은 2021-05-28 22:19 UTC에 있었다. 각 그림에는 중심에 태양의 위치가 표시되어 있고, 지구 (태양으로부터 1 AU $\approx 1.5 \times 10^8$ km 떨어진 곳에 위치) 및 탐사선 ParkerSP의 위치가 표시되어 있다. 마지막 이미지에서 CME의 최전방이 ParkerSP를 강타하고 있다. 지구-태양-ParkerSP 가 이루는 각은 55° 이다.

DELEGATION PRINT

Observational Round: Solar Physics

Q1-2

korean (Korea)

Part 1 (30점).

1.1 태양 원반 전체(full disk)를 보는 태양활동 관측위성 (Solar Dynamics Observatory) 과, SOHO 탐사선의 두 코로나그래프인 LASCO-C2 (2에서 6 태양반지름까지 촬영)와 LASCO-C3 (3.7 에서 30 태양반지름까지 촬영) 자료를 사용하고, 그림 2에 보이는 것처럼 JHelioviewer 소프트웨어를 이용해서 적당한 갯수의 이미지를 골라 2021-05-28에 발생한 CME를 찾으라. 표를 만들고, 사용한 이미지들의 날짜와 시간을 표시하라. 10.0pt

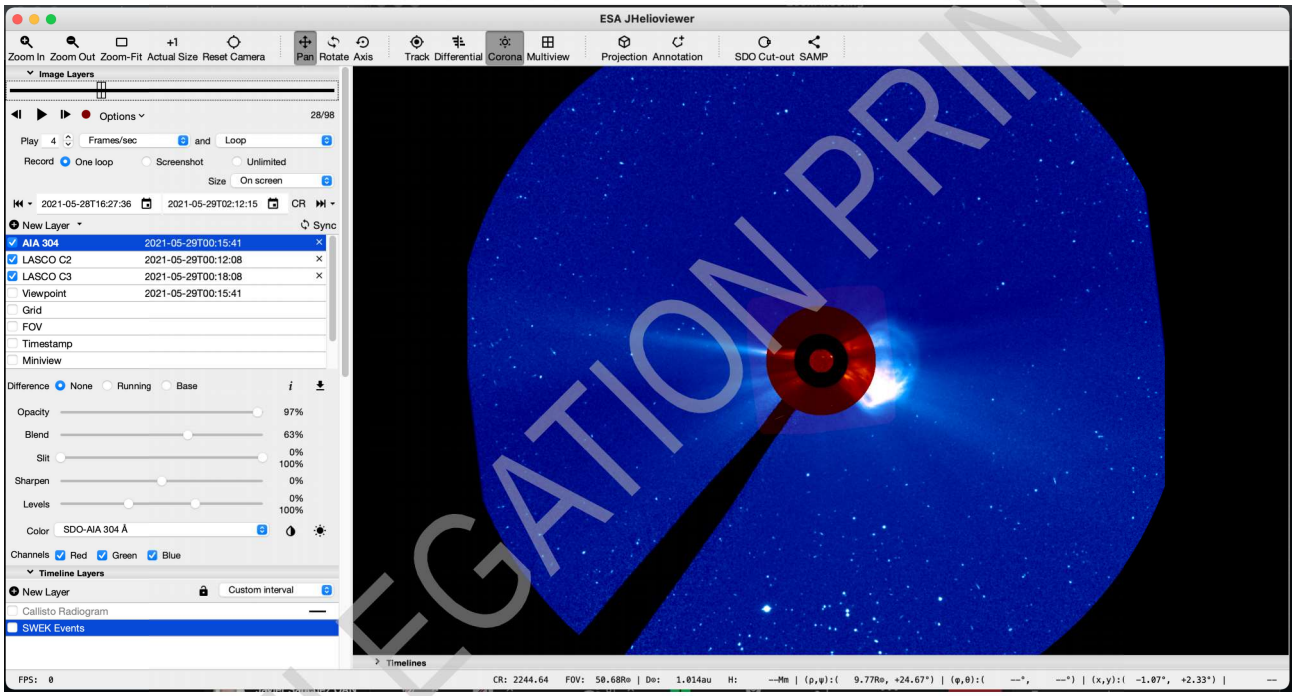


그림 2: 2021-05-28 태양 자료를 JHelioviewer로 탐구하는 과정.

DELEGATION PRINT

1.2 앞서 선택한 이미지들에서 CME의 최전방이 태양에서 얼마나 떨어져 있는지 km단위로 계산하라. 10.0pt

1.3 앞의 문제에서 만든 자료 표에 다음을 추가하여 표를 확장하라: 10.0pt

- 날짜와 시간 (1.1에서 구한 것)
- CME 최전방과 태양중심 사이의 거리를 km 단위로 (1.2에서 구한 것)
- 누적속도를 km/s 단위로 (예컨대 4 번째 이미지라면, CME의 방출에서 4 번째 이미지까지의 시간동안의 평균속도)
- 구간속도를 km/s 단위로 (예컨대 4 번째 이미지라면, 3 번째와 4 번째 이미지 사이 시간동안의 평균속도).

이 표를 작업지 (W) 에 만들어라.

노트: 두 속도 모두 태양에 대한 상대속도로 계산하라.

표의 각 열들에 적절한 이름(제목)을 붙이는 것을 잊지 말 것.

Observational Round: Solar Physics

Q1-3

korean (Korea)

Part 2 (15점).

2.1	학생 본인이 작성한 표의 측정 및 계산된 자료를 바탕으로, 시간에 따른 거리(distance-time) 및 시간에 따른 속력(velocity-time) 그래프를 그려라. 속력 그래프의 경우 누적속도와 구간속도 둘 모두 그려라.	15.0pt

Part 3 (10점).

3.1	CME는 30태양 반지름보다 먼 거리에서는 일정한 속력으로 움직인다. 이 CME의 최전방이 ParkerSP를 강타할 때 CME 최전방의 속력(km/s 단위로)을 구하고, CME가 처음 발생한 시점부터 이 강타 시점까지 걸린 총 시간을 계산하라 (시간 hour 단위로).	10.0pt

Part 4 (10점).

다음 명제들이 TRUE(참) 인지 FALSE(거짓) 인지 표시하라.

4.1	연속된 이미지들 사이의 시간 간격을 계속 줄이면, CME의 진화과정 및 위에서 계산한 물리량들의 정밀도(precision)는 언제나 계속 증가할 것이다.	2.0pt
4.2	CME의 진화에 대한 더 정확한(accurate) 분석과 측정을 위해서는 태양의 차등회전을 고려해야 한다 - 차등회전을 고려하면 위에 계산된 속력값이 변할 것이다.	2.0pt
4.3	소프트웨어가 이미지를 합성(mosaic)하는 과정에서 어긋남(조정불량, misalignment)이 발생하는 경우 계산의 정밀도(precision)에 직접적인 영향을 줄 것이다.	2.0pt
4.4	만약 그림 1에서 밀도 분포지도를 그릴 때, 다른 가정들을 사용했다면, 태양-ParkerSP사이 거리의 측정에 영향을 줄 것이다.	2.0pt
4.5	CME 최전방과, 2019년 보리소프(Borisov) 혜성이 남긴 먼지 잔여물의 상호작용에 의해 이미지(CME의 모습)가 뭉개지고 퍼지게 된다. 이로 인해 이미지의 대비(contrast)가 낮아지고, CME 최전방의 위치와 진행방향을 결정하는 데 있어 불확실성을 크게 증대시킨다.	2.0pt

Part 5 (10점)

5.1	CME 최전방은 많은 양의 양성자(陽性子, proton)와 알파입자(alpha particle)를 포함한다. 한편 ParkerSP에는 Solar Wind Electrons Alphas and Protons(SWEAP)라는 기기가 탑재되어 있다. SWEAP가 측정한 양성자 1개 와 알파입자 1개의 에너지를 각각 계산해 보라 (eV 단위로). 오직 CME 최전방에서 진행할 때 나오는 역학적(力學的, mechanical) 에너지만을 고려하고, 다른 형태의 모든 에너지는 무시하라.	10.0pt

도구:

JHelioviewer 소프트웨어 (https://www.jhelioviewer.org/download.html)는 그림 2에 보인 것처럼 다양한 태양 망원경 자료를 탐구하는데 사용할 수 있다. 그래픽 인터페이스를 이용해 관측자료를 고르고 (Observation Date) 레이어를 추가(AddLayer)하여 복수의 태양이미지를 업로드할 수 있다. 기능을 사용하여 여러장의 연속적인 이미지를 분석하고 분출 사건(eruptive event)의 진화를 공부할 수 있다. 커서를 이동하여 커서의 위치 정보를 태양 중심의 좌표

DELEGATION PRINT

(x:0” y:0”) 기준으로 알아낼 수도 있다.

DELEGATION PRINT

The Solar Slap (태양의 채찍질) ; 75점

Part 1 (30 points).

1.1 (10.0 pt)

1.2 (10.0 pt)

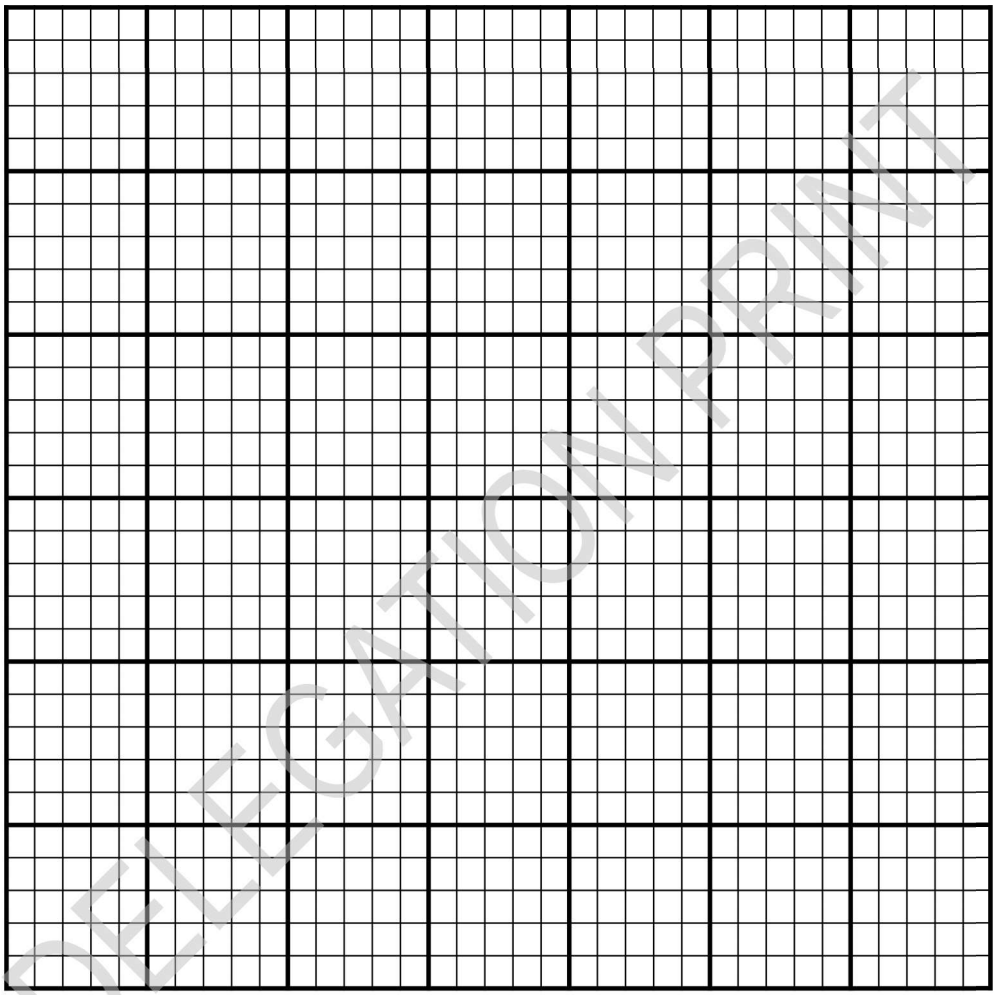
DELEGATION PRINT

1.3 (10.0 pt)

DELEGATION PRINT

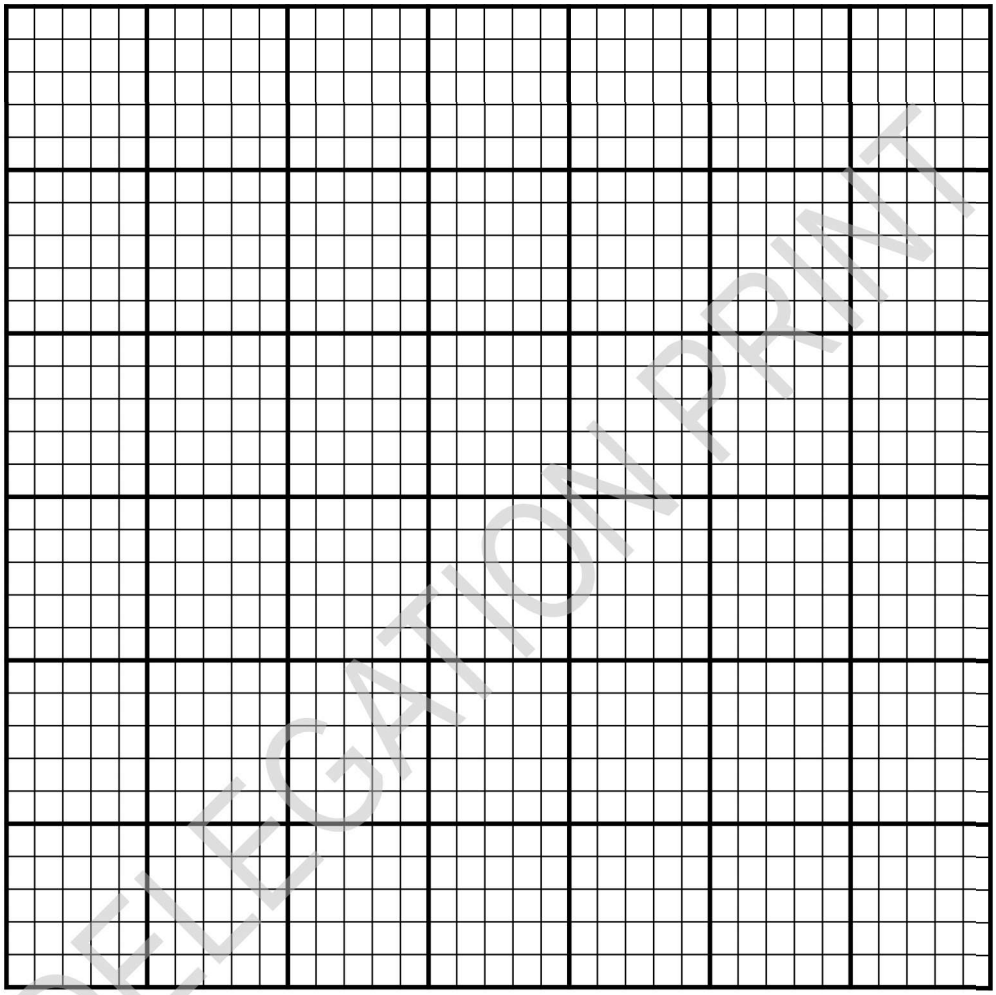
Part 2 (15 points)

2.1 (15.0 pt)



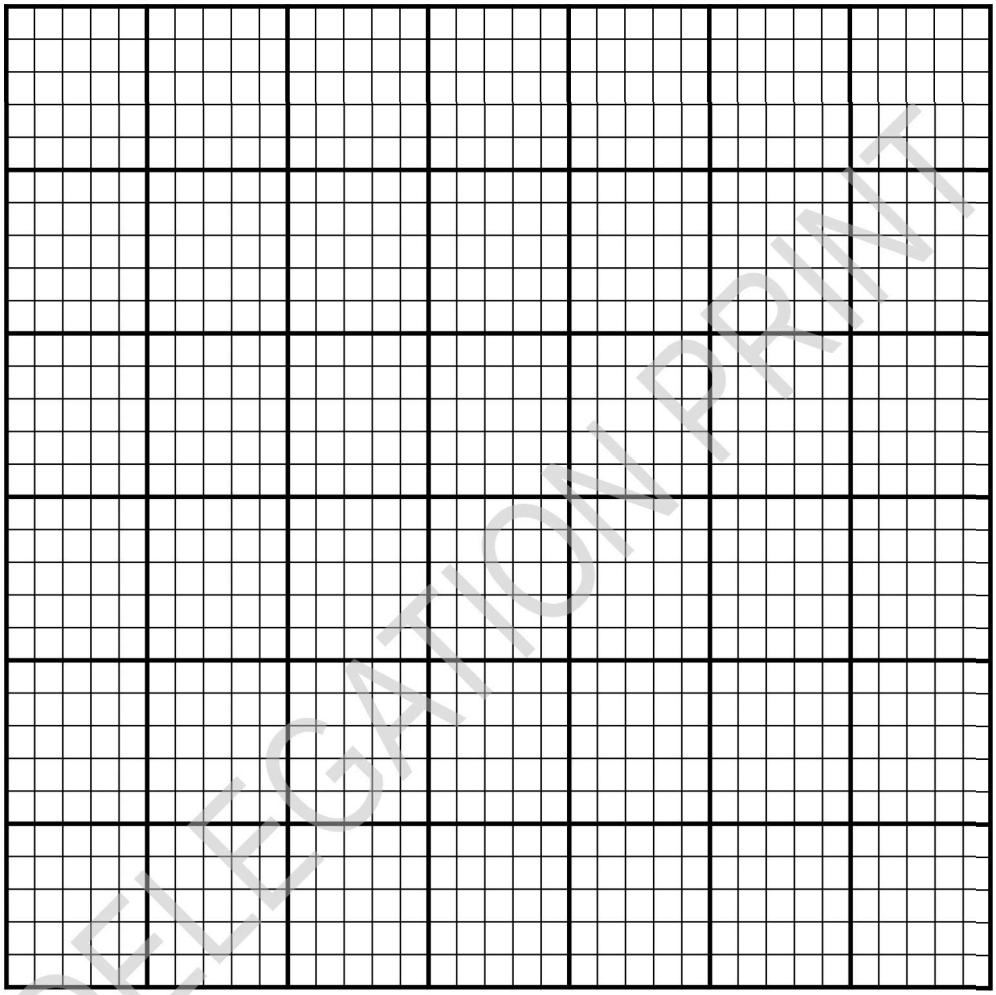
DELEGATION PRINT

2.1 (cont.)



DELEGATION PRINT

2.1 (cont.)



DELEGATION PRINT

Part 3 (10 points)

3.1 (10.0 pt)

$t =$

Part 4 (10 points)

4.1 (2.0 pt)

4.2 (2.0 pt)

4.3 (2.0 pt)

4.4 (2.0 pt)

4.5 (2.0 pt)

Part 5 (10 points)

5.1 (10.0 pt)

$E_p =$

$E_\alpha =$

DELEGATION PRINT