

2021학년도 수시 면접·구술고사

물리 기출

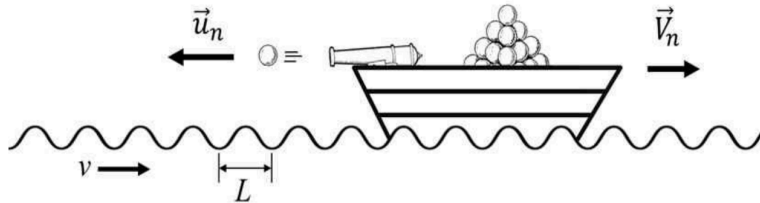
문항 · 채점 기준 · 예시 답안

한국과학기술원 (KAIST)

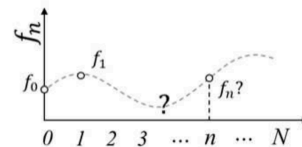
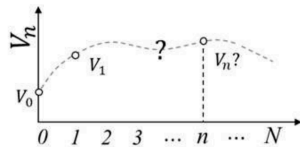
[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 5] 문제 5. 운동량 보존과 도플러 효과

문항 및 제시문

배에 질량이 m 인 포탄이 N 개 실려 있고 포탄을 제외한 배의 질량은 M 이다. 배는 물의 흐름이 없는 호수에서 수평 방향의 초기속력 v_0 로 등속직선운동을 한다. 호수 밖의 정지해 있는 관찰자가 보기에, 수면에는 인접한 두 마루 사이의 거리가 L 이고 v 의 속력으로 움직이는 물결파가 배의 운동 방향과 같은 방향으로 진행하고 있다. ($v > v_0$ 라고 가정한다.) (총 5점)



(1) 배의 운동 방향과 반대 방향으로 배에 대한 상대 속력 u 로 포탄을 하나씩 발사하자. 호수 밖의 정지해 있는 관찰자가 보기에, 발사된 포탄의 개수 n ($0 \leq n \leq N$)이 증가함에 따라 배의 속력 (V_n)과 단위 시간당 배에 도달하는 물결파 마루의 개수(f_n)는 어떻게 변하는지 설명하라. 즉, n 에 따른 V_n 과 f_n 의 그래프의 형태와 중요한 특성을 정성적으로 설명하라. (단, 물결파는 배의 운동에 영향을 미치지 않으며, 포탄이나 배의 운동 역시 물결파에 영향을 미치지 않는다고 가정하자. 공기 저항 및 물의 저항도 무시하자.) (4점)



(2) 만약 포탄의 질량이 $m/2$ 이 되고 포탄의 개수가 $2N$ 이 되면, (1)에서와 같은 조건으로 포탄이 모두 발사된 후의 배의 최종속도는 (1)의 경우에 비해 늘어날지, 줄어들지, 아니면 변화가 없을지를 정성적으로 설명하라. (1점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	<ul style="list-style-type: none"> $V_n - V_{n-1}$에 대한 식을 유도했으면 (+1점) 유도한 식을 이용하거나 운동량 보존의 개념을 이용하여, 속력 V_n이 점점 증가함을 설명했으면 (+1점) 배의 속력의 변화량 $V_n - V_{n-1}$이 점점 증가함을 설명했으면 (+1점) (발사되는 포탄의 질량 대비 배와 남은 포탄의 질량의 비율이 점점 줄어듦. 따라서 비록 배가 받는 충격량(운동량 변화량)은 점점 줄어드나 배의 속력의 변화량은 점점 증가함) 배가 물결파보다 느린 경우의 f_n의 변화 경향을 바르게 설명했으면 (+0.5점) 배가 물결파보다 빨라지는 경우까지 정성적으로 바르게 설명했으면 (+0.5점) (f_n 그래프의 구체적인 모양은 중요하지 않으며 증가 및 감소만 잘 설명하면 됨) 	4점
(2)	<ul style="list-style-type: none"> 옳은 답과 함께 부분적으로라도 개념을 설명했다면 (+0.5점) 개념까지 바르게 설명했다면 (+0.5점) 	1점

예시 답안

(1) n 번째 포탄을 발사하기 전과 후에 대하여 운동량 보존 법칙을 적용하면,

$$\{(N - n + 1)m + M\}V_{n-1} = \{(N - n)m + M\}V_n + mu_n$$

여기서 u_n 은 호수 밖의 정지해 있는 관찰자가 보기에 n 번째 포탄의 속력이다. 포탄의 배에 대한 상대속도가 $-u$ 이므로 $-u = u_n - V_{n-1}$. 두 식을 연립하여 u_n 을 소거하면,

$$V_n - V_{n-1} = \frac{mu}{(N - n)m + M}.$$

n 이 커짐에 따라 배의 속력(V_n)은 점점 증가하며 ($V_n > V_{n-1}$) 그 증가량 ($\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$)도 증가함을 알 수 있다. 그래프로 나타내면 아래와 같이 기울기가 점점 커지는 증가함수로 표현된다.

배의 속력(V_n)에 따라 배에 단위 시간당 도달하는 물결파 마루의 개수 f_n 은 다음과 같이 변한다.

$$f_n = f \left(1 - \frac{V_n}{v}\right)$$

(여기서 f 는 배가 정지해 있을 때의 단위 시간당 배에 도달하는 물결파 마루의 개수임) 따라서 n 이 증가함에 따라 V_n 이 증가하여 f_n 이 점점 작아지고, V_n 이 v 와 같아지면 f_n 이 0이 된다. V_n 이 v 보다 커지면, 배가 물결파를 추월하여 배의 앞부분에 물결파 마루가 닿게 될 것이고 f_n 은 다시 증가한다.

(2) m 과 N 이 각각 1/2배, 2배인 (2)의 경우와 비교하여, (1)의 경우는 질량이 $m/2$ 인 포탄을 한 번에 2개씩 쏘는 것과 마찬가지이다. (2)의 경우와 같이 포탄 2개를 1개씩 차례로 쏘면 두 번째 포탄의 속력이 첫 번째 포탄보다 감소하여(배에 대한 포탄의 상대속도는 일정한데 배의 속력이 증가해 있음) 배에 가해지는 충격량이 작아 배의 속력을 증가시키는 효과가 줄어든다. 따라서 (2)에서의 최종속도는 (1)의 경우보다 줄어든다.

참고로 이를 수식으로 기술하자면, 예를 들어 (1)에서 첫 번째 포탄(질량 m)을 발사한 후 배의 속력 변화는

$$V_1 - V_0 = \frac{mu}{(N - 1)m + M} = \frac{(m/2)u}{(N - 1)m + M} + \frac{(m/2)u}{(N - 1)m + M}$$

반면에 (2)에서 첫 번째 및 두 번째 포탄(각각 질량 $m/2$)을 발사한 후 배의 속력 변화는

$$\begin{aligned} V_2 - V_0 &= (V_2 - V_1) + (V_1 - V_0) \\ &= \frac{(m/2)u}{(2N - 2)(m/2) + M} + \frac{(m/2)u}{(2N - 1)(m/2) + M} = \frac{(m/2)u}{(N - 1)m + M} + \frac{(m/2)u}{(N - 1/2)m + M} \end{aligned}$$

두 경우의 첫 항은 같으므로, 두 번째 항을 비교하면 $(N - 1)m + M \leq (N - 1/2)m + M$ 이므로

$$\frac{(m/2)u}{(N - 1)m + M} \geq \frac{(m/2)u}{(N - 1/2)m + M}$$

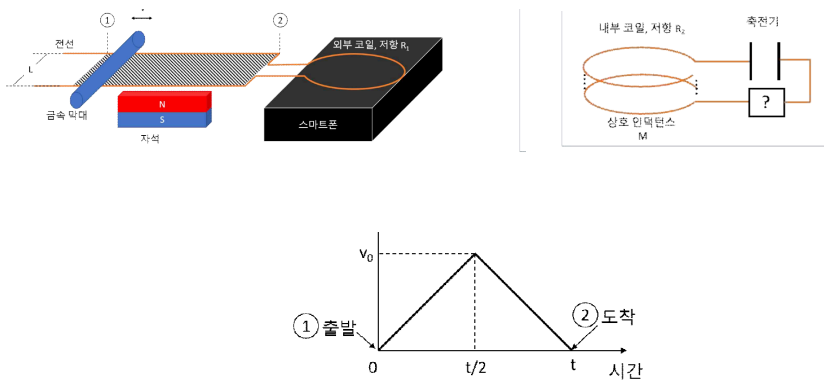
즉, (1) $m \times 1$ 발 속도증가 \geq (2) $m/2 \times 2$ 발 속도증가

따라서 (1)의 경우가 배의 속력이 더 많이 증가한다. (위 식에서 보듯, (2)의 경우에는 질량 $m/2$ 인 포탄 첫발을 발사 직후, 남아있는 포탄의 질량이 $(N - 1/2)m$ 인데 비하여, (1)의 경우에는 질량 $m/2$ 인 포탄 두 발을 한꺼번에 발사하므로 남아있는 포탄의 질량이 $(N - 1)m$ 으로 (2)에 비해 조금 더 작다. 따라서, (1)의 경우에 포탄 발사로 인한 속력의 증가가 더 크다.)

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 6] 문제 6. 전자기 유도와 상호 유도, 정류 작용

문항 및 제시문

당신은 등산하다가 깊은 숲에서 조난을 당했고, 구조 요청을 해야 하는데 스마트폰 배터리가 완전히 방전되었다. 다행히 무선 충전이 가능한 스마트폰이라 아래 그림과 같이 자석, 전선, 금속 막대를 이용하여 충전하려고 한다. 세기 B 의 균일한 자기장이 폭이 L 인 빗금 친 면을 수직하게 통과하게 하고, 금속 막대를 다음과 같이 두 지점 ① 과 ② 사이를 반복해서 왕복운동하게 하자. 그래프와 같이 지점 ①을 정지상태에서 출발하여 중간지점까지는 $t/2$ 의 시간 동안 속력이 v_0 까지 증가하는 등가속도 운동을, 중간지점에서 지점 ②까지는 $t/2$ 의 시간 동안 속력이 v_0 에서 0으로 감소하는 등가속도 운동을 하게 한다. 지점 ②에서 지점 ①로 돌아올 때도 같은 방식으로 움직이게 하고, 여기까지의 운동을 ‘왕복운동 1회’라고 부르자. 외부 코일의 저항은 R_1 , 내부 코일의 저항은 R_2 이며 다른 전선의 저항은 무시하자. (외부 코일의 모든 자기장이 스마트폰 내부의 코일을 통과한다고 가정하자.) (총 5점)



- (1) 스마트폰이 충전되기 위해서는 스마트폰 내부의 코일에 유도되는 전압의 크기가 V_2 이어야 한다고 한다. 스마트폰 내부 코일의 상호 인덕턴스가 M 일 때, 금속 막대의 최대속력 v_0 는 얼마가 되어야 하는가? (3점)
- (2) 외부 코일로부터 전달된 전기 에너지가 스마트폰 내부의 충전기에 저장되기 위해서는 내부 회로도의 물음표 자에 무엇이 들어가야 하는가? (스마트폰 내부 회로도에서 충전기가 배터리의 역할을 하여 에너지를 저장하며, 회로도에 나타난 배선 이외의 추가 배선 및 전원 장치는 없다.) 또한, 충전기에 전기 에너지 W 를 충전하려면 금속 막대는 왕복운동을 몇 회 해야 하는가? (저항에서 열에너지로의 변환은 무시할 수 있다고 가정하자.) (2점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	<ul style="list-style-type: none"> 유도 기전력 $V_1 = BLv$이 외부 코일에 걸림을 설명했으면 (+1점) 내부 코일에 전압 V_2가 유도되려면 단위 시간당 전류 변화 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -\frac{V_2}{M}$가 필요함을 설명했으면 (+1점) 최대속력이 $v_0 = \frac{tR_1V_2}{2MBL}$임을 구했으면 (+1점) 	3점
(2)	<ul style="list-style-type: none"> 내부 코일에 흐르는 전류의 방향이 계속 바뀌므로 충전을 위해서는 정류 작용을 해주는 다이오드가 필요하다고 설명했으면 (+1점) 왕복운동 1회당 충전되는 전기 에너지 $W_1 = P_2t = V_2I_2t = \frac{(V_2)^2t}{R_2}$와 필요한 총 왕복운동 횟수 $N = \frac{W}{W_1} = \frac{WR_2}{(V_2)^2t}$를 구했으면 (+1점) 	2점

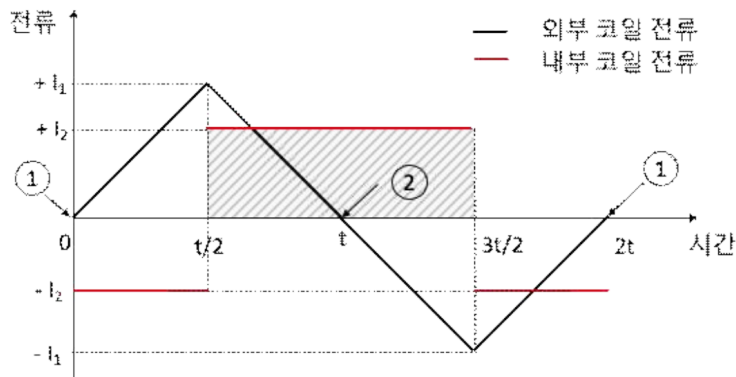
예시 답안

(1) 내부 코일에 전압 V_2 가 유도되기 위해서는 (상호유도 관계식 $V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 으로부터) 외부 코일에 단위 시간당 전류 변화 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -\frac{V_2}{M}$ 만큼 있어야 한다. 외부 코일에 흐르는 전류 I_1 는 금속 막대의 운동으로 유발되는 유도기전력 $V_1 = BLv$ 로부터 발생하므로 $I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{BLv}{R_1}$ 이다. 이때, 필요 전압 V_2 를 유도하기 위해서는 금속 막대의 가속도의 크기가

$$a = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right| = \frac{R_1}{BL} \left| \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \right| = \frac{R_1 V_2}{MBL}$$

가 되어야 한다. 그러므로 $t/2$ 시점에서의 최대속력은 $v_0 = \frac{tR_1V_2}{2MBL}$ 이다.

(2) 금속 막대가 주어진 그래프의 속도로 왕복운동을 하면, 외부 코일과 내부 코일에는 각각 전류가 아래와 같이 흐르게 된다.



이때 $I_2 = \frac{V_2}{R_2}$ 이다. 축전기에 전기 에너지가 충전되기 위해서는 일정한 방향으로 전류가 흘러야 하므로 물음표 상자에는 정류 작용을 할 수 있는 p-n접합 다이오드 또는 트랜지스터가 필요하다. 문제에서 추가 배선 및 전원 장치가 없다고 하였으므로 트랜지스터는 적용이 안 되고, p-n접합 다이오드만 사용 가능하다.

정류 후, 1회 왕복운동으로 축전기에 축적되는 전기 에너지는

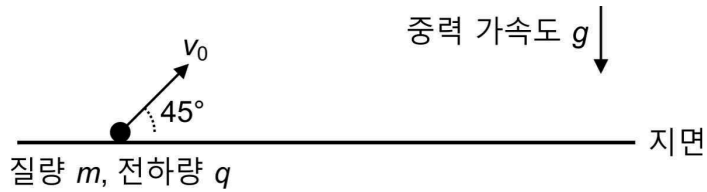
$$W_1 = P_2 t = V_2 I_2 t = \frac{(V_2)^2 t}{R_2}$$

(빛금 영역)이며, 전기 에너지 W 를 축적하기 위해서는 왕복운동을 $N = \frac{W}{W_1} = \frac{WR_2}{(V_2)^2 t}$ 회 반복해야 한다.

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 7] 문제 7. 전기장 내 대전 입자의 운동

문항 및 제시문

그림과 같이 질량이 m 이고 전하량이 q ($q > 0$)인 물체를 지면에 대해 45° 각도로 v_0 의 속력으로 던진다. 이제 지면에 수직인 방향으로 균일한 전기장을 걸어서 물체의 수평 방향 이동 거리를 조절하려고 한다. 수평 방향 이동 거리가 전기장이 없는 경우의 3배가 되게 하려면 얼마의 전기장을 어느 방향으로 걸어 주어야 하는가? (단, 중력 가속도는 g 이며, 물체의 크기 및 공기 저항은 무시한다.) (총 5점)



채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
없음	<ul style="list-style-type: none"> · “수평 방향으로는 전기장에 상관없이 물체는 같은 속력의 등속도 운동을 하여, 수평 방향 이동 거리는 체공 시간에 비례한다”을 알고 활용했으면 (+1점) · 체공 시간이 가속도에 반비례한다는 식(예: $t = \frac{\sqrt{2}v_0}{g}$)을 얻었으면 (+1점) · “수평 방향 이동 거리가 전기장이 없는 경우의 3배가 되게 하려면, 체공 시간을 3배로 만들면 되고, 이를 위해서는 가속도가 연직 아래 방향으로 $g/3$가 되도록 전기장을 걸면 된다”는 아이디어를 갖고 문제를 풀려고 했으면 (+1점) · 물체가 양전하를 띠고 있으므로($q > 0$) 전기장을 연직 위 방향으로 걸어야 한다고 답했으면 (+1점) · 전기장의 크기가 $E = \frac{2mg}{3q}$임을 구했으면 (+1점) 	5점

예시 답안

초기 속도의 수평 성분과 수직 성분은 모두 $v_{0x} = v_{0y} = v_0 \sin 45^\circ = \frac{v_0}{\sqrt{2}}$ 이다. 전기장을 지면에 수직한 방향으로 걸으므로, 수평 방향으로는 전기장이 있든 없든 상관없이 물체는 동일한 속력 $v_{0x} = v_0/\sqrt{2}$ 의 등속도 운동을 하고, 따라서 수평 방향 이동 거리는 체공 시간 t 에 비례한다.

- 전기장이 없는 경우: 물체는 수직 방향으로는 연직 아래 방향으로의 가속도 g 로 등가속도 운동을 한다. (또한, 물체가 던져진 후 다시 지면에 도달했을 때의 속도의 수직 성분은 $-v_{0y} = -v_0/\sqrt{2}$ 이다.) $v_y = v_{0y} - gt = 0$ 로부터 최고점까지의 도달시간은 $t = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0}{\sqrt{2}g}$ 이고, 따라서 체공시간은 이의 두 배인 $\frac{\sqrt{2}v_0}{g}$ 이다.
- 지면에 수직한 방향으로 전기장 E 가 걸린 경우: 힘의 방정식이 $F = ma = -mg + qE$ 가 되어, 물체는 지면에 수직한 방향으로는 여전히 등가속도 운동을 하지만 가속도가 $a = -g + \frac{qE}{m}$ 로 바뀐다. 그리고 위에서 얻은 식 $t = \frac{\sqrt{2}v_0}{g}$ 으로부터 체공 시간 t 는 연직 아래 방향의 가속도($-a$)에 반비례함을 알 수 있다.

따라서 수평 방향 이동 거리가 전기장이 없는 경우의 3배가 되게 하려면, 체공 시간 t 를 3배로 만들면 되고, 이를 위해서는 가속도가 연직 아래 방향으로 $g/3$ 가 되도록 전기장을 걸면 된다. 즉,

$$a = -g + \frac{qE}{m} = -\frac{g}{3} \quad \rightarrow \quad E = \frac{2mg}{3q}$$

물체가 양전하를 띠고 있으므로($q > 0$), 연직 위 방향으로 전기장을 걸어야 한다.

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 8] 문제 8. 전자기파의 성질과 광양자, 복사에너지

문항 및 제시문

5G 통신은 LTE 통신보다 높은 주파수의 전자기파를 이용하고 넓은 주파수 대역을 사용하여 더 빠른 무선통신을 제공하는 것으로 알려져 있다. (총 5점)

- (1) 5G 통신은 LTE 통신에 비하여 기지국 안테나의 크기를 작게 할 수 있는 장점이 있지만, 전자기파가 건물과 같은 사물에 가려질 경우 수신이 나빠지는 단점이 있다고 한다. 이러한 장점과 단점의 이유를 설명해 보라. (2점)
- (2) 감마선과 같이 에너지가 높은 전자기파는 원자로부터 전자를 유리(전리)시켜 DNA를 손상시키는 작용을 할 수 있다. 5G 통신에 50 W 출력을 가지는 3.5 GHz 주파수의 전자기파가 사용된다고 할 때, 이러한 전자기파가 DNA를 손상시킬 수 있는 위험도는 어느 정도인가? 이온화 에너지가 다른 원자들에 비해 낮은 것으로 알려진 세슘 원자의 이온화 에너지는 6.2×10^{-19} J이다. (플랑크 상수는 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ kg·m²/s이다.) (1.5점)
- (3) 전자기파는 물체에 흡수될 때 열에너지로 전환될 수 있다. 기지국으로부터 50W의 전자기파가 발생하여 모든 방향으로 고르게 퍼져나간다. 기지국으로부터 5m 떨어진 곳에서 전자기파가 전달할 수 있는 최대 열에너지를 지표면에서의 태양 복사에너지와 비교해 보라. (맑은 날 1 m²의 지표면에 한 시간 동안 약 3600 kJ의 태양 복사에너지가 도달한다.) (1.5점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	<ul style="list-style-type: none"> 5G 통신의 장점을 설명할 때, 주파수와 파장의 관계를 바르게 설명하였으면 (+1점) 5G 통신의 단점을 설명할 때, 파장의 길이와 회절의 정도를 바르게 설명했으면 (+1점) 	2점
(2)	<ul style="list-style-type: none"> 광자 에너지가 세슘 원자의 이온화 에너지보다도 훨씬 낮으므로 전자기파가 원자를 이온화시켜 DNA를 손상시킬 가능성이 극히 낮다고 답했으면 (+1점) 50W (빛의 파동성)가 아닌 광자 에너지 hf (빛의 입자성)를 고려해야 하는 이유를 설명했으면 (+0.5점) 	1.5점
(3)	<ul style="list-style-type: none"> 기지국으로부터 5 m 떨어진 곳에서 전자기파가 전달할 수 있는 최대 열에너지 0.16 W/m²를 구했으면 (+1점) 지표면에서의 태양 복사에너지를 구해서, 기지국으로부터 전달받을 수 있는 열에너지가 태양 복사에너지보다 매우 적다고 답했으면 (+0.5점) 	1.5점

예시 답안

(1) 장점: 전자기파의 진동수와 파장은 서로 반비례하는 관계가 있다. 5G 통신은 이용되는 전자기파의 주파수가 높아 파장이 짧으므로 전자기파를 송수신하는 장치(안테나 등)의 크기가 파장의 길이에 비례하여 작아질 수 있다.

단점: 5G 통신은 전자기파의 파장이 짧아 회절을 적게 하므로(즉, 직진성이 강하므로), 건물이나 사물의 너머에 수신 기기가 있으면 전파가 도달하지 못하는 영역이 더 커져 수신이 나빠진다.

(2) 전자기파는 입자성과 파동성을 동시에 갖는다. 전자기파가 원자 내 전자와 상호작용할 때는 파동 에너지가 누적되어 전자가 원자로부터 분리되는 것이 아니라, 입자성에 의한 광자 에너지 $hf = (6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}) \times (3.5 \times 10^9 \text{ Hz}) = 2.3 \times 10^{-24} \text{ J}$ 를 고려해야 한다. 이 광자 에너지는 세습 원자의 이온화 에너지 $6.2 \times 10^{-19} \text{ J}$ 보다도 훨씬 작으므로, 5G 통신에 이용되는 전자기파는 원자를 이온화시켜 DNA를 손상시킬 가능성이 극히 낮아 안전하다고 할 수 있다.

(3) 전자기파 에너지가 보존되어야 하므로, 전자기파의 에너지가 모든 방향으로 고르게 퍼져나간다면, 기지국으로부터 5m 떨어진 곳에서 단위 면적(1 m^2)당 전달되는 전자기파의 전력은

$$\frac{P}{4\pi R^2} = \frac{50 \text{ W}}{4\pi \times (5 \text{ m})^2} \approx 0.16 \text{ W/m}^2$$

이고, 이것이 단위 시간 동안 전자기파가 단위 면적당 전달할 수 있는 최대 열에너지이다. 그리고 지표면에서 단위 시간 동안 단위 면적당 전달되는 태양 복사에너지는

$$\frac{3600 \text{ kJ/m}^2}{3600 \text{ s}} = 1 \text{ kW/m}^2$$

이다. 따라서 기지국으로부터 전달받을 수 있는 열에너지는 태양 복사에너지보다 매우 작다.