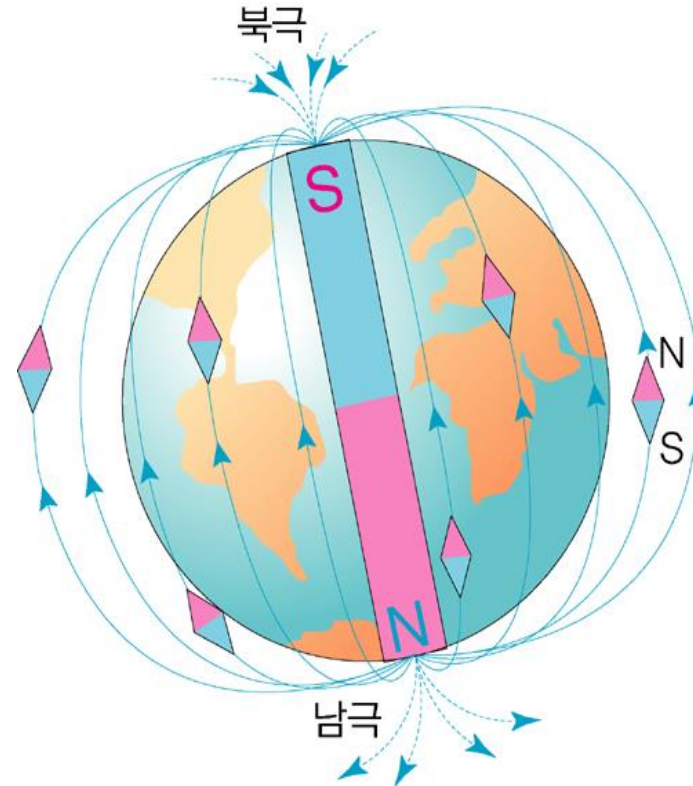
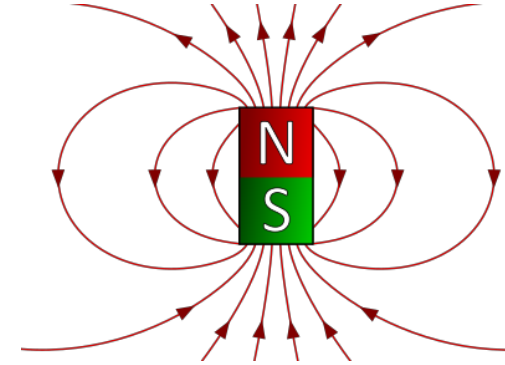


자성 磁性 magnetic property

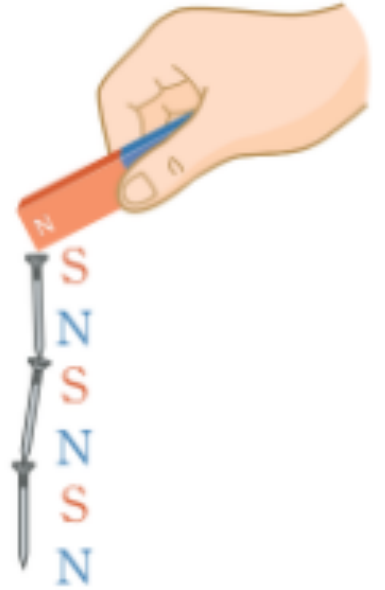
자석 magnet

- 영구자석 (永久磁石, permanent magnet)
 - 지남철 (指南鐵) : 자철광 (磁鐵鑛, magnetite)
 - 주성분 Fe_3O_4
 - 두 개의 극(자기 쌍극 磁氣雙極) : N극과 S극
 - N : north
 - S : south
 - 나침반(羅針盤, compass)



- 영구자석이 만들어진 원인

- 자석에 클립을 사진과 같이 달라붙음
- 이 상태로 오래 둠
- 클립 하나 하나가 영구자석이 됨
- 지구자기장 영향 하에 자철광이 오랜 기간 놓임
- 자철광은 영구자석이 됨



- 문제점

- (1) 지구자기장보다 강한 자성을 갖는 자철광이 발견
- (2) 자철광은 지구 표면에만 존재

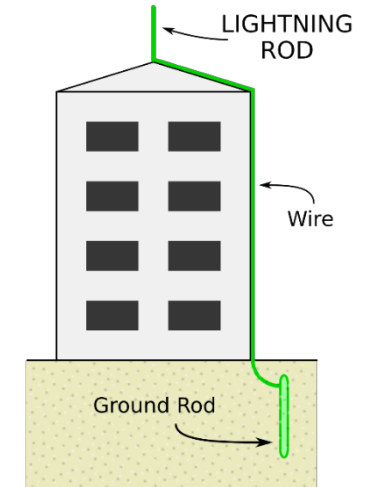
- 참고

- 지구자기장 크기 : $25 \sim 65 \mu\text{T}$
- 우리 나라 경우 : $40 \mu\text{T}$ (T: tesla)



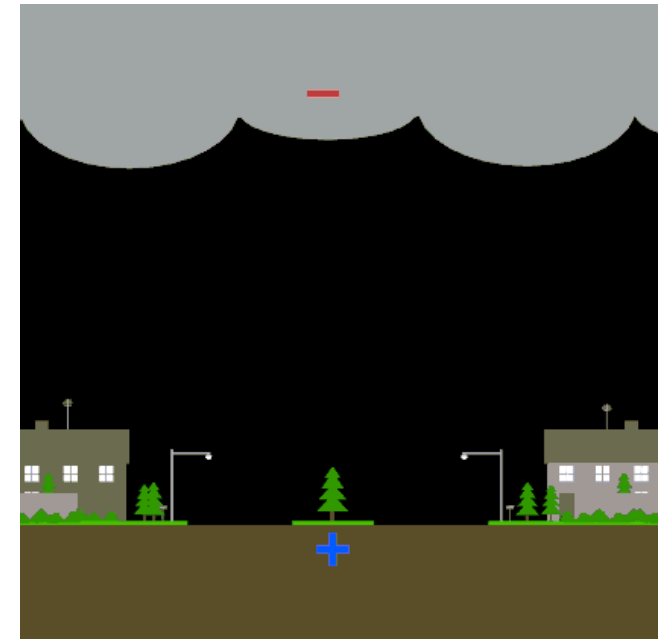
- Benjamin Franklin

- Philadelphia
- 1752년 6월
- 번개 실험
 - 번개(혹은 다른 말로 낙뢰(落雷))로부터 사람, 건물 및 다른 구조물을 보호할 목적으로 실험 수행
 - 연(鳶, kite)에 금속열쇠를 매달음
- 번개는 전기의 한 형태라는 것을 확인
- 번개 피해를 줄이기 위해 피뢰침(避雷針, lightning rod)을 발명하여 사용

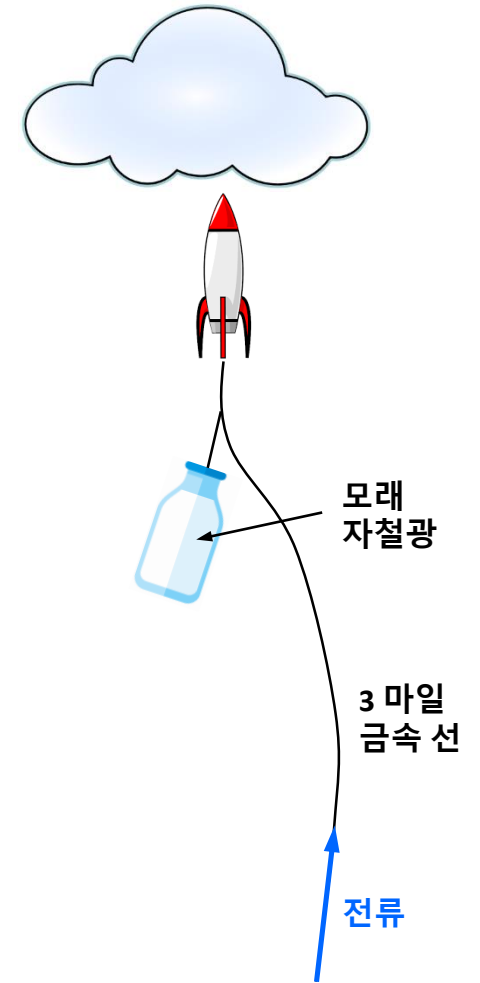


- 피뢰침(피뢰침, lightning rod)

- 건물 위에 피뢰침을 설치
- 전기가 흐르는 도선을 땅에 묻어 놓은 금속막대에 연결
- 번개는 전기이므로 전류가 흐르는데 이 전류를 피뢰침과 금속막대에 의해 땅으로 빠져 나감

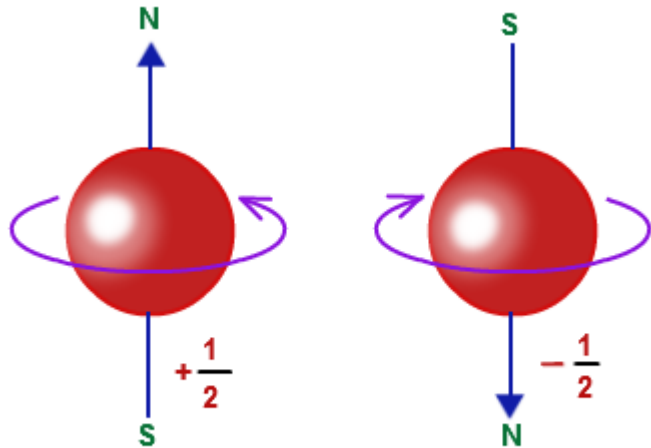


- 천연자석 (天然磁石, lodestone)
 - 번개에 의해 생성 → 천연자석은 지표면에만 존재
 - 번개 옆 5~10 cm 떨어진 거리에 있는 자철광은 0.07 T의 자성을 보임
- Peter Wasilewski 실험
 - Franklin 실험과 유사한 실험 수행
 - 실험
 - 소형 로켓
 - 플라스틱 통 : 모래와 자철광 조각을 담음
 - 금속선(金屬線, metal wire) : 3 마일 길이
 - 번개 대신 도선을 통해 흐르는 전류에 의해 순간적으로 강력한 자기장에 플라스틱 통이 노출 → 자철광이 천연자석이 됨
 - 동시에 높은 온도에 의해 모래와 자철광이 한 덩어리가 됨
- 번개가 칠 때의 속성
 - 주변 온도 : 2900°C
 - 전류 : 5,000~20,000 A(암페어)



- 전자 스핀(spin)

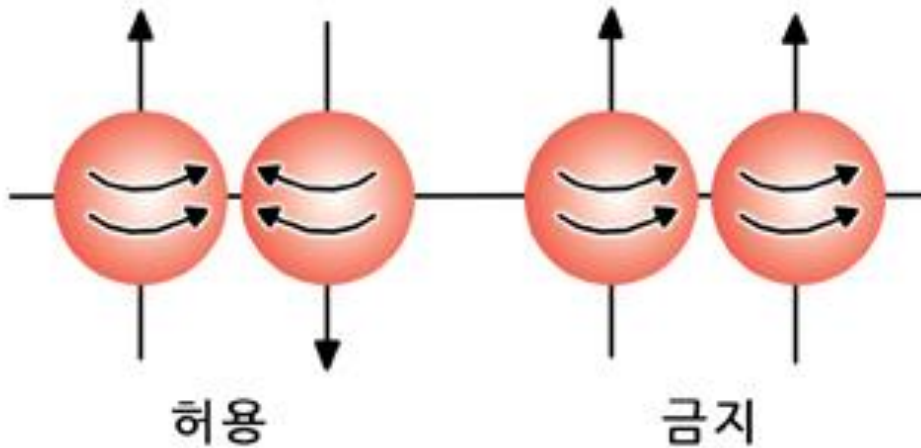
- 전자는 질량과 전하를 갖고 있음
- 전자 스핀을 도입해야 할 필요
- 전자의 자전 운동으로 이해하면 쉬우나 실제 전자가 그렇게 움직이는 것은 아님
- 스핀의 종류
 - Up spin (\uparrow)
 - Down spin (\downarrow)



- 유튜브 동영상 : <https://youtu.be/rg4Fnag4V-E>

- 배타원리 (exclusion principle)

- 동일한 상태에서 두 전자가 존재한다면 **spin은 반대**가 되어야 함
- 동일한 상태에서
 - up spin 전자는 down spin 전자 : 공존
 - Up spin전자와 up spin 전자 : 서로 밀어냄 → 공존하지 못함
 - down spin 전자 두 개 : 서로 밀어냄 → 공존하지 못함



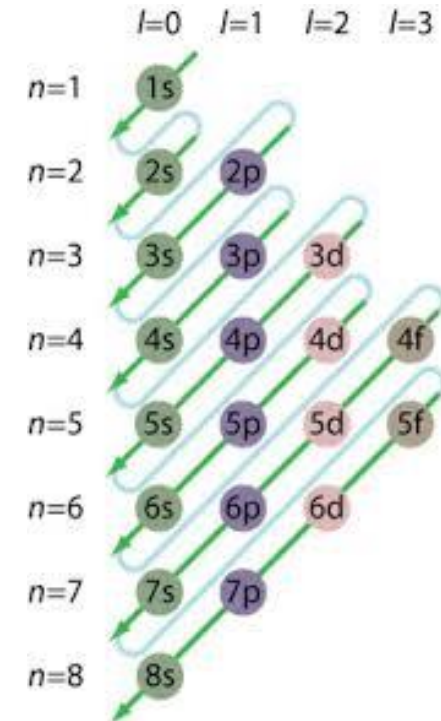
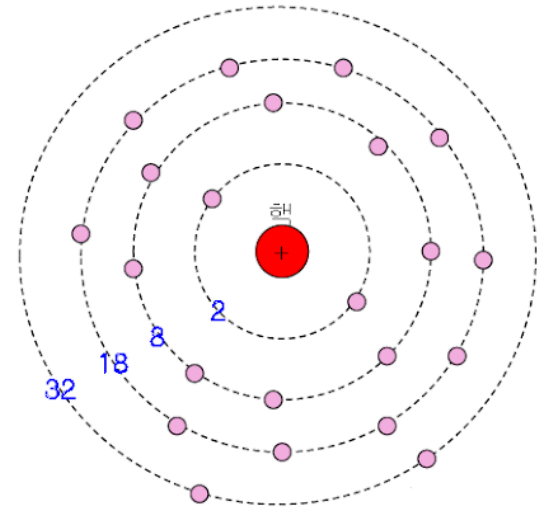
• 전자의 원자 궤도 함수 채우기

• 주양자수(主量子數, principal quantum number) n

- $n = 1, 2, 3, 4, \dots$
- 전자총 개수 : $2n^2$
 - $n = 1$ (K) : $2n^2 = 2 \cdot 1^2 = 2$ electrons
 - $n = 2$ (L) : $2n^2 = 2 \cdot 2^2 = 8$ electrons
 - $n = 3$ (M) : $2n^2 = 2 \cdot 3^2 = 18$ electrons
 - $n = 4$ (N) : $2n^2 = 2 \cdot 4^2 = 32$ electrons
 - ...

• 부양자수(部量子數, azimuthal quantum number) l

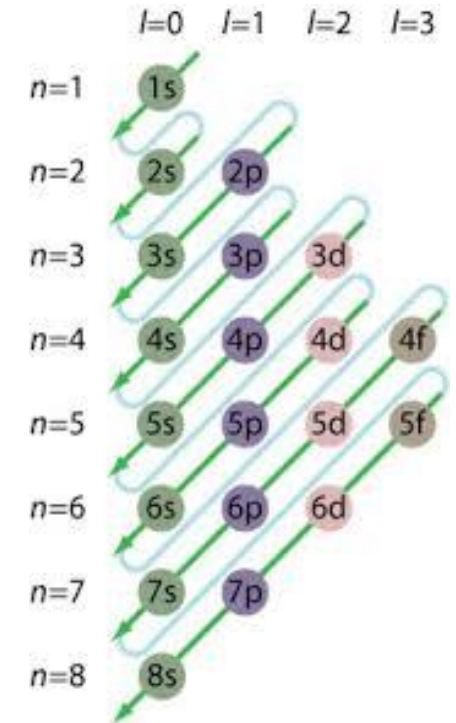
- $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$
- 전자총 개수 : $4l + 2$
 - $l = 0$ (s) : $4l + 2 = 4 \cdot 0 + 2 = 2$ electrons
 - $l = 1$ (p) : $4l + 2 = 4 \cdot 1 + 2 = 6$ electrons
 - $l = 2$ (d) : $4l + 2 = 4 \cdot 2 + 2 = 10$ electrons
 - $l = 3$ (f) : $4l + 2 = 4 \cdot 3 + 2 = 14$ electrons
 - ...



• 궤도에 채울 수 있는 최대 전자수

- K궤도 ($n = 1$) $2 \cdot 1^2 = 2 \text{ electrons} : 1s^2$
- L궤도 ($n = 2$) $2 \cdot 2^2 = 8 \text{ electrons} : 2s^2 2p^6$
- M궤도 ($n = 3$) $2 \cdot 3^2 = 18 \text{ electrons} : 3s^2 3p^6 3d^{10}$
- N궤도 ($n = 4$) $2 \cdot 4^2 = 32 \text{ electrons} : 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14}$
- ...

주양자수 (n)	부양자수 (l)	자기양자수 (m)	오비탈 종류	포함 가능한 최대 전자수
n = 1	l = 0	m = 0	1s	2개
n = 2	l = 0	m = 0	2s	2개
	l = 1	m = -1, 0, 1	$2p_x, 2p_y, 2p_z$	6개
n = 3	l = 0	m = 0	3s	2개
	l = 1	m = -1, 0, 1	$3p_x, 3p_y, 3p_z$	6개
	l = 2	m = -2, -1, 0, 1, 2	$3d_{xy}, 3d_{yz}, 3d_{xz}, 3d_{x^2-y^2}, 3d_{z^2}$	10개



• 전자가 궤도에 채워 들어가는 순서

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d,

• 18개 전자 : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ ($2+2+6+2+6=18$)

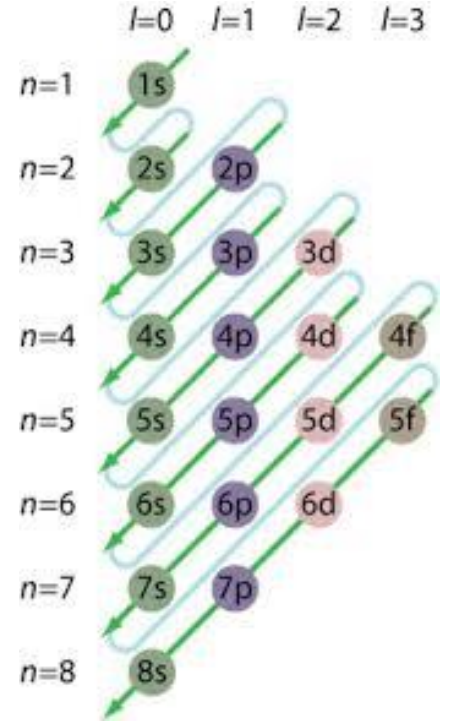
Group I	Group II	Transition elements										Group III	Group VI	Group V	Group VI	Group VII	Group 0
H 1 1s ¹																H 1 1s ¹	He 2 1s ²
Li 3 2s ¹	Be 4 2s ²											B 5 2p ¹	C 6 2p ²	N 7 2p ³	O 8 2p ⁴	F 9 2p ⁵	Ne 10 2p ⁶
Na 11 3s ¹	Mg 12 3s ²											Al 13 3p ¹	Si 14 3p ²	P 15 3p ³	S 16 3p ⁴	Cl 17 3p ⁵	Ar 18 3p ⁶
K 19 4s ¹	Ca 20 4s ²	Sc 21 3d ¹ 4s ²	Ti 22 3d ² 4s ²	V 23 3d ³ 4s ²	Cr 24 3d ⁵ 4s ¹	Mn 25 3d ⁵ 4s ²	Fe 26 3d ⁶ 4s ²	Co 27 3d ⁷ 4s ²	Ni 28 3d ⁸ 4s ²	Cu 29 3d ¹⁰ 4s ¹	Zn 30 3d ¹⁰ 4s ²	Ga 31 4p ¹	Ge 32 4p ²	As 33 4p ³	Se 34 4p ⁴	Br 35 4p ⁵	Kr 36 4p ⁶
Rb 37 5s ¹	Sr 38 5s ²	Y 39 4d ¹ 5s ²	Zr 40 4d ² 5s ²	Nb 41 4d ⁴ 5s ¹	Mo 42 4d ⁵ 5s ¹	Tc 43 4d ⁵ 5s ²	Ru 44 4d ⁷ 5s ¹	Rh 45 4d ⁸ 5s ¹	Pd 46 4d ¹⁰	Ag 47 4d ¹⁰ 5s ¹	Cd 48 4d ¹⁰ 5s ²	In 49 5p ¹	Sn 50 5p ²	Sb 51 5p ³	Te 52 5p ⁴	I 53 5p ⁵	Xe 54 5p ⁶
Cs 55 6s ¹	Ba 56 6s ²	57-71*	Hf 72 5d ² 6s ²	Ta 73 5d ³ 6s ²	W 74 5d ⁴ 6s ²	Re 75 5d ⁵ 6s ²	Os 76 5d ⁶ 6s ²	Ir 77 5d ⁷ 6s ²	Pt 78 5d ⁹ 6s ¹	Au 79 5d ¹⁰ 6s ¹	Hg 80 5d ¹⁰ 6s ²	Tl 81 6p ¹	Pb 82 6p ²	Bi 83 6p ³	Po 84 6p ⁴	At 85 6p ⁵	Rn 86 6p ⁶
Fr 87 7s ¹	Ra 88 7s ²	89-103**	Rf 104 6d ² 7s ²	Db 105 6d ³ 7s ²	Sg 106 6d ⁴ 7s ²	Bh 107 6d ⁵ 7s ²	Hs 108 6d ⁶ 7s ²	Mt 109 6d ⁷ 7s ²	Ds 110 6d ⁹ 7s ¹	Rg 111	112		114				

*Lanthanide series

La 57 $5d^1 6s^2$	Ce 58 $5d^1 4f^1 6s^2$	Pr 59 $4f^3 6s^2$	Nd 60 $4f^4 6s^2$	Pm 61 $4f^5 6s^2$	Sm 62 $4f^6 6s^2$	Eu 63 $4f^7 6s^2$	Gd 64 $5d^1 4f^7 6s^2$	Tb 65 $5d^1 4f^8 6s^2$	Dy 66 $4f^{10} 6s^2$	Ho 67 $4f^{11} 6s^2$	Er 68 $4f^{12} 6s^2$	Tm 69 $4f^{13} 6s^2$	Yb 70 $4f^{14} 6s^2$	Lu 71 $5d^1 4f^{14} 6s^2$
----------------------	---------------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	------------------------------

**Actinide series

Ac 89 $6d^1 7s^2$	Th 90 $6d^2 7s^2$	Pa 91 $5f^2 6d^1 7s^2$	U 92 $5f^3 6d^1 7s^2$	Np 93 $5f^4 6d^1 7s^2$	Pu 94 $5f^6 6d^1 7s^2$	Am 95 $5f^7 6d^1 7s^2$	Cm 96 $5f^7 6d^1 7s^2$	Bk 97 $5f^9 6d^1 7s^2$	Cf 98 $5f^{10} 6d^1 7s^2$	Es 99 $5f^{11} 6d^1 7s^2$	Fm 100 $5f^{12} 6d^1 7s^2$	Md 101 $5f^{13} 6d^1 7s^2$	No 102 $5f^{14} 6d^1 7s^2$	Lr 103 $5f^{14} 7s^2 7p^1$
----------------------	----------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------



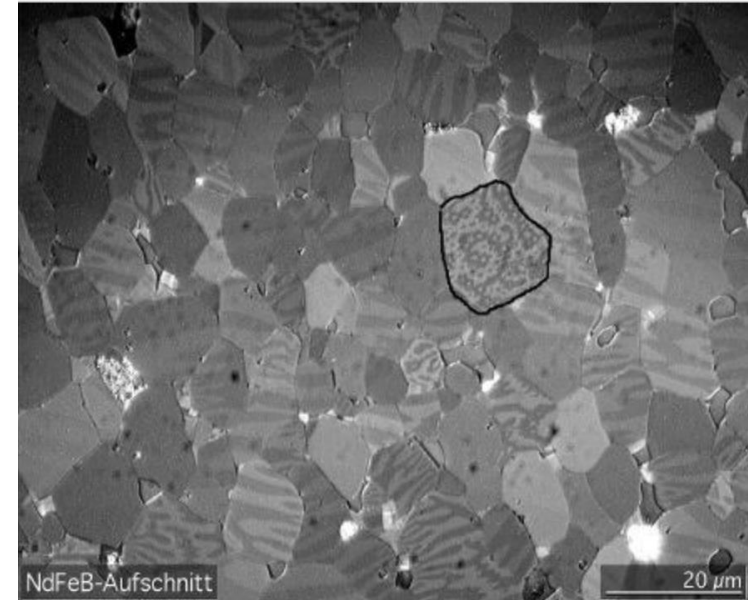
• 4s와 3d에 채워지는 전자 스핀

금속	3d					4s	M 궤도의 전자 스핀 불균형	결과
Sc	↑	↑				↑↓	+2 0	+2
Ti	↑	↑	↑			↑↓	+3 0	+3
V	↑	↑	↑	↑		↑↓	+4 0	+4
Cr	↑	↑	↑	↑	↑	↑	+5 0	+5
Mn	↑	↑	↑	↑	↑	↑↓	+5 0	+5
Fe	↑↓	↑	↑	↑	↑	↑↓	+5 - 1	+4
Co	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓	+5 - 2	+3
Ni	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	↑↓	+5 - 3	+2
Cu	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	+5 - 5	0

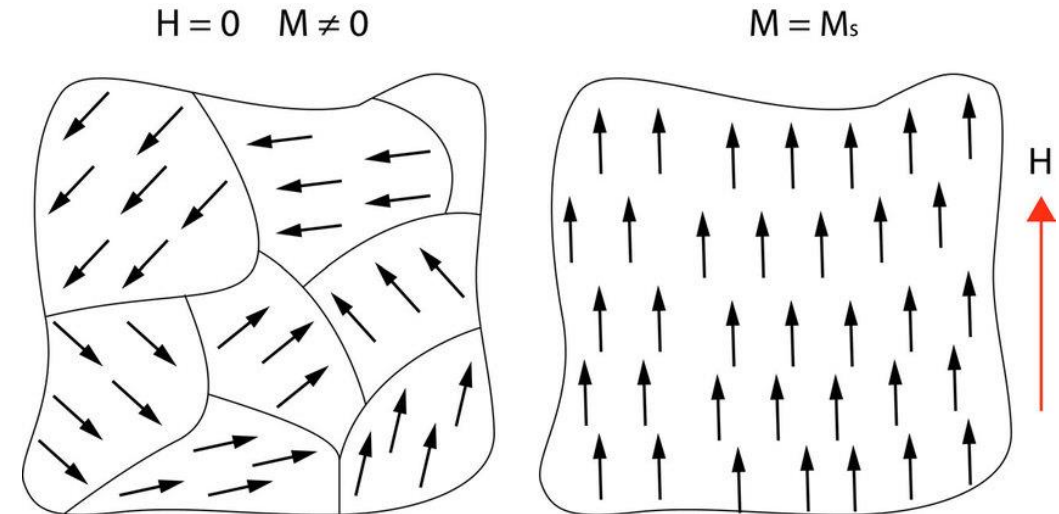
- 초전도자석 : V (vanadium)
- 강자성 물질 : Fe(철), Ni(니켈), Co(코발트)

빛은 원자에서 흡수하여 2배

- 자기구역(磁氣區域, magnetic domain)
 - 강자성체 물질을 구성하는 원자들은 서로 영향을 미쳐 어떤 구역을 형성함
 - 이런 개별 구역은 자기구역이라 함
 - 자기구역 크기 : $1 \sim 100 \mu m$
 - 하나의 자기구역에서 전자의 spin이 향하는 방향(자화(磁化)된 방향)은 일정
 - 자기구역은 위 그림과 아래 왼쪽 그림에서 영역으로 표시



- 아래쪽 왼쪽 그림
 - 자기구역은 한 개의 자석이나 자기구역의 자화(磁化, magnetized)된 방향이 제각각이라 전체적으로 자석이 아님
- 아래쪽 오른쪽 그림
 - 외부에서 자기장 H 가 빨간색 화살표 방향으로 가해지면 이 방향으로 모든 자기구역이 자화됨
 - 윗쪽이 N극 아래쪽이 S극인 자석



- 큐리 온도(Curie temperature)

- 강자성체 자석은 온도에 따라 자석의 강도가 달라짐
- 온도가 높아질수록 자석의 세기가 약해짐
- 큐리 온도에 도달하면 자석의 성질이 없어짐

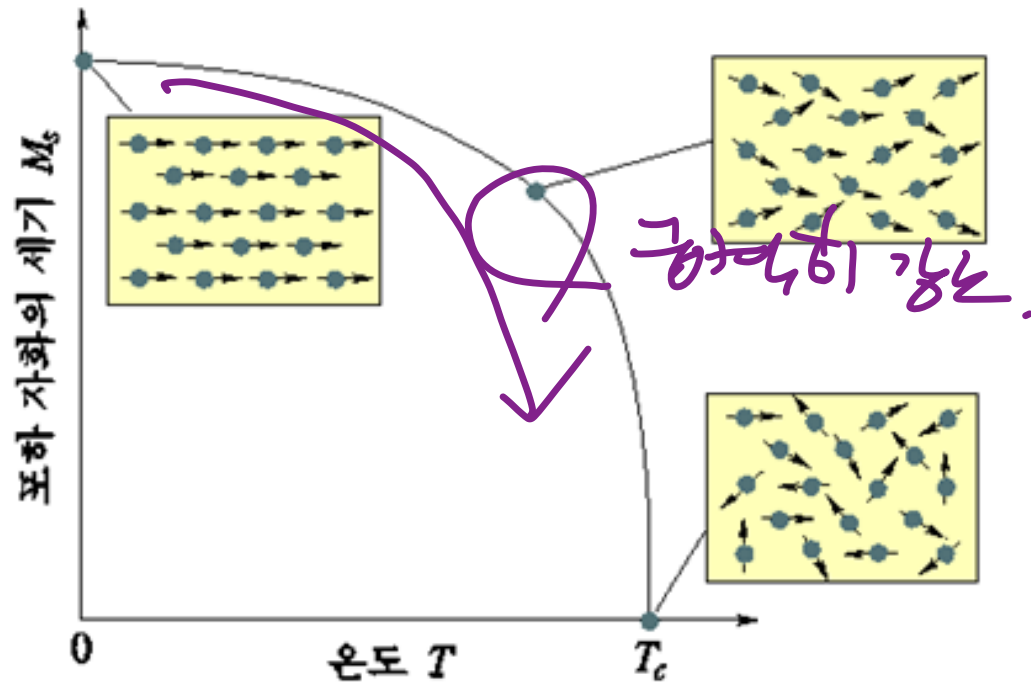


그림 4.8 큐리 온도

물질	큐리 온도 (K)
Co	1388
Fe	1043
Ni	627

- 천연자석(天然磁石, lodestone)에 대한 정리

- 번개에 의해 생성

- 자철광(磁鐵鑛, magnetite)이 주성분
 - 번개가 칠 때 발생하는 강력한 전류에 의한 자기장에 자철광이 노출
 - 자철광의 자기구역이 번개의 자기장에 따라 배열
 - 자철광이 자석이 됨

- 지표면에만 천연자석 분포

- 자기구역

- 전자의 spin 불균형
 - 대표적 강자성 원자 : Fe, Co, Ni

- 큐리온도

- 자철광 자석이 자성을 잃는 온도
 - 온도에 증가하면 자석의 세기는 약해짐