

# 우주생물학

Rosa M. Ros, Beatriz García, Alexandre Costa,  
Florian Seitz, Ana Villaescusa, Madelaine Rojas,  
Juan Ángel Vaquerizo

*International Astronomical Union, Technical University of  
Catalonia, Spain, ITeDA and National Technological University,  
Argentina, Escola Secundária de Faro, Portugal, Heidelberg  
Astronomy House, Germany, Diverciencia, Algeciras, Spain,  
SENACYT, Panama, Center for Astrobiology (CAB, CSIC-  
INTA), Spain*



# 목표

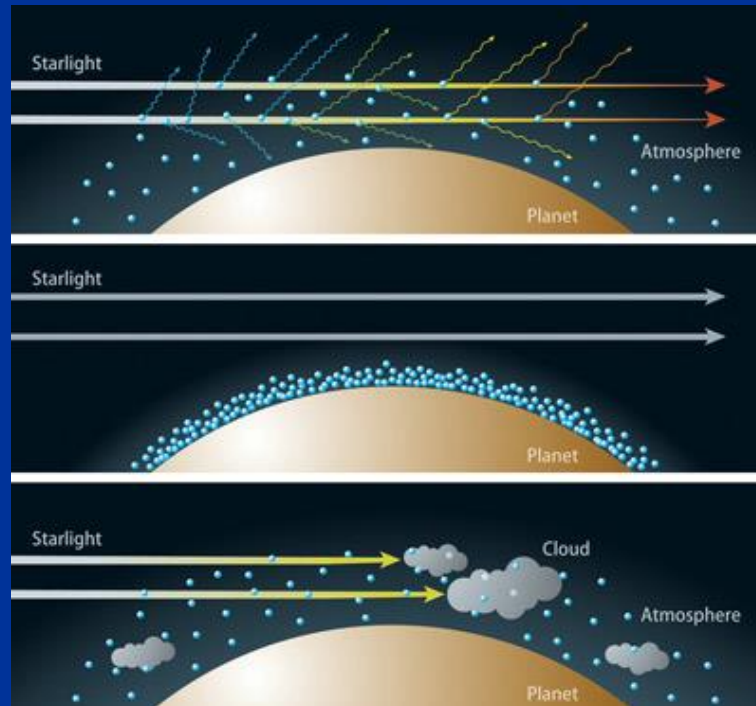
- 주기율표의 다양한 원소들의 위치를 이해한다
- 생명이 발현하는데 필요한 조건을 이해한다.
- 지구 밖의 생명의 최소 조건을 알아본다.



# 행성계 형성

별이 형성되는 동안 행성계 또한 별 주위의 남은  
물질로 구성됨

분광은 별의 구성물질을 아는데 사용하고 또한  
외계행성의 대기를 알아내는데 사용함



# 활동 1: 가스와 먼지로부터 행성계의 형성

두 그룹으로 나눔: 예를 들어 여학생 (가스)와 남학생 (먼지) (만약 한 그룹대비 다른 그룹의 인원수에 차이가 많이 나면, 많은 쪽을 가스 그룹으로 함. 행성계 형성에서 가스의 질량이 먼지의 질량보다 100배 임)

참가자들이 이야기를 듣는데, 들은 것에 대해서 역동적으로 표현함. :



# 활동 1: 가스와 먼지로부터 행성계의 형성

이야기 내용:

많은 가스와 좀 더 적은 기체로 이루어진 구름이 있었습니다.

그런 다음 가스는 구름의 중앙으로 모이고 이들을 먼지가 둘러쌉니다.

참가자 퍼포먼스:

구름안에서 모두 섞여 있다. 가스를 나타내는 참가자가 더 많다. 구름안에서, 모든 참가자는 손을 잡아 네트워크를 만든다.

참가자는 헤어지기 시작한다. 가스를 나타내는 참가자는 중앙으로 가서 모이고, 먼지를 나타내는 참가자는 중앙을 둘러싸고 손을 잡는다.

# 활동 1: 가스와 먼지로부터 행성계의 형성

## 이야기 내용:

활발히 움직이며, 가스 입자는 가스를 끌어당기고, 먼지 입자는 먼지를 끌어당깁니다.

중양에서는 밀도가 높고 불투명한 핵이 만들어지고, 가스와 먼지로 이루어진 원반이 둘러싸고 있습니다.

## 참가자 퍼포먼스:

이들은 회전하고, 움직이고, 충돌하고, 진동하고 점프하기 시작한다. 너무 많이 움직여서 바깥으로 튕겨 나가기도 하고, 다른 참가자가 잡고 안아주며 “구출” 해 낸다. (가스는 가스끼리, 먼지는 먼지끼리)

중양에서는 가스가 모여있고, 이들을 둘러싸고 있는 손에 손잡고 먼지를 나타내는 참가자가 둘러쌉니다. 설명: 중양에 모든 가스가 있지는 않고, 개중에는 원 밖에 있는 것도 있다.



# 활동 1: 가스와 먼지로부터 행성계의 형성

## 이야기 내용:

이 핵은 마침내 태양이나 외계행성계의 중심별이 될 것입니다.

먼지들은 점점 더 큰 먼지 알갱이, 그리고 돌덩이들이 결합하여 작은행성에서 지구형 행성들로 커 갑니다.

## 참가자 퍼포먼스:

태양 혹은 중심별은 빛을 내기 시작하며, 그 빛은 모든 방향으로 빛난다.

설명: 중심별이 빛을 내면서 “느슨한” 기체들은 바깥쪽으로 쓸려 나가기 시작한다.

먼지를 표현하는 참가자들은 지구형 행성을 만들기 위해 서로 모이기 시작한다.

설명: 모든 먼지가 지구형 행성을 만드는 것은 아니며, 약간의 먼지가 멀리 있기도 한다.

# 활동 1: 가스와 먼지로부터 행성계의 형성

이야기 내용:

가스행성들은  
태양으로부터 멀리  
떨어져 온도가 낮은  
곳에서 형성됩니다.  
가스가 아무 방해 없이  
모일 수 있습니다.

참가자 퍼포먼스:

나머지 거대한 행성들이 만들어지기  
시작한다: 많은 양의 가스와 약간의  
먼지로.

설명: 태양으로부터 멀어져 가며  
온도가 낮아지는 점이 안쪽에서  
지구형 행성이 바깥쪽에서는 기체형  
행성이 생성되는 원인이다.



# 별 진화의 화학적 측면

- Elements which were produced in the first minutes after the Big Bang
- Elements which were forged in the interior of stars
- Elements appearing in supernova explosions
- Man-made elements in the laboratory

1 H																	2 He									
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne									
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar									
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr									
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe									
55 Cs	56 Ba											72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra											104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu										
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr										



# 활동 2: 주기율표 분류

바구니에 (파랑, 노랑, 빨강) 각각을 넣는다

반지: Gold Au	코팅된 드릴 부분: Titanium Ti	풍선 안의 기체: Helium He	팬 수세미: Nickel Ni
핸드폰/단추 건전지: Lithium Li	자동차 점화 플러그: Platinum Pt	전기 구리 선: Copper Cu	요오드 용액: Iodine I
물병의 H <sub>2</sub> O: Hydrogen H	오래된 후라이팬: Aluminum Al	검정 연필심: Graphite C	농업용 유황: Sulfur S
탄산음료 캔: Aluminum Al	손목시계 Titanium Ti	은메달: Silver Ag	파이프: Lead Pb
아연 연필깎기: Zinc Zn	녹슬고 오래된 못: Iron Fe	온도계: Gallium Ga	성냥갑: Phosphorus P

빅뱅이후 처음 몇 분 동안 생성된 원소 (파랑)

별의 내부에서 생성된 원소 (노랑)

초신성 폭발에 의해 만들어진 원소 (빨강)



# 활동 2: 주기율표 분류

반지: Gold Au	코팅된 드릴 부분: Titanium Ti	풍선 안의 기체: Helium He	팬 수세미: Nickel Ni
핸드폰/단추 건전지: Lithium Li	자동차 점화 플러그: Platinum Pt	전기 구리 선: Copper Cu	요오드 용액: Iodine I
물병의 H <sub>2</sub> O: Hydrogen H	오래된 후라이팬: Aluminum Al	검정 연필심: Graphite C	농업용 유황: Sulfur S
탄산음료 캔: Aluminum Al	손목시계 Titanium Ti	은메달: Silver Ag	파이프: Lead Pb
아연 연필깎기: Zinc Zn	녹슬고 오래된 못: Iron Fe	온도계: Gallium Ga	성냥갑: Phosphorus P



빅뱅 원소 (파랑)  
별에서 생성 (노랑)  
초신성 (빨강)



# 활동 3: 별의 아이들

인체의 구성:

풍부한 원소: oxygen, carbon, hydrogen, nitrogen, calcium, phosphorus, potassium, sulfur, iron sodium, chlorine, and magnesium.

미량원소: fluorine, zinc, copper, silicon, vanadium, manganese, iodine, nickel, molybdenum, chromium and cobalt

필수원소: lithium, cadmium, arsenic and tin.

1												2																							
1	H											2	He																						
3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne										
11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar										
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Cb	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
55	Cs	56	Ba		72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	
87	Fr	88	Ra		104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Nh	114	Fl	115	Mc	116	Lv	117	Ts	118	Og	
						57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
						89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr

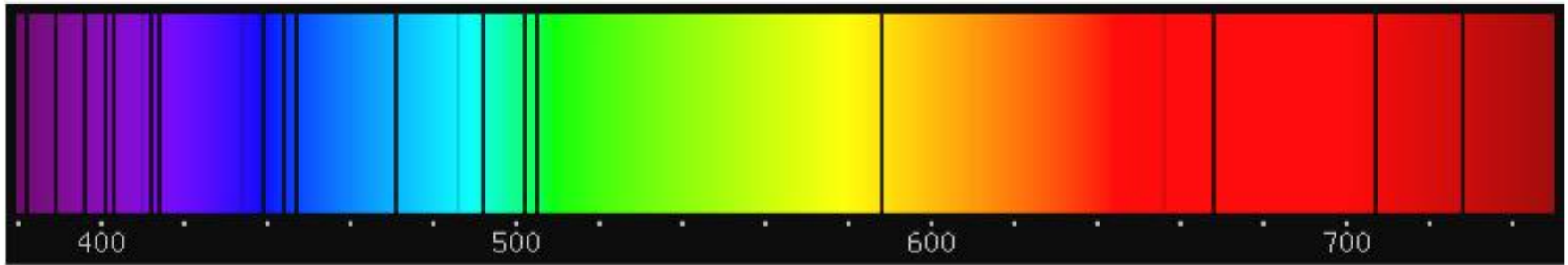
수소를 제외한 모든 풍부한 원소들은 별에서 생성됨

우리는 별의 아이들!!!!



# 태양은 1세대 별이 아니다

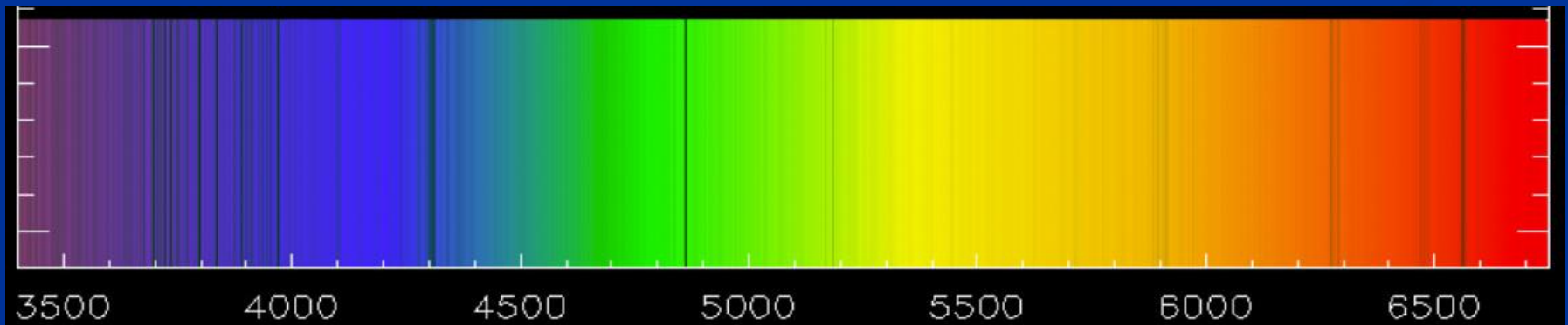
1세대 별은 젊어서 죽었고 오늘날까지 살아있지 않다. 스펙트럼에서 수소, 헬륨, 아마도 리튬 정도의 흡수선만 보였을 것이다.



1세대 별의 스펙트럼 (Artist's impression).

# 태양은 1세대 별이 아니다

좀 더 많은 원소를 가진 별들은 초신성 폭발의 잔해로 이루어진 구름에서 만들어졌을 것이다.



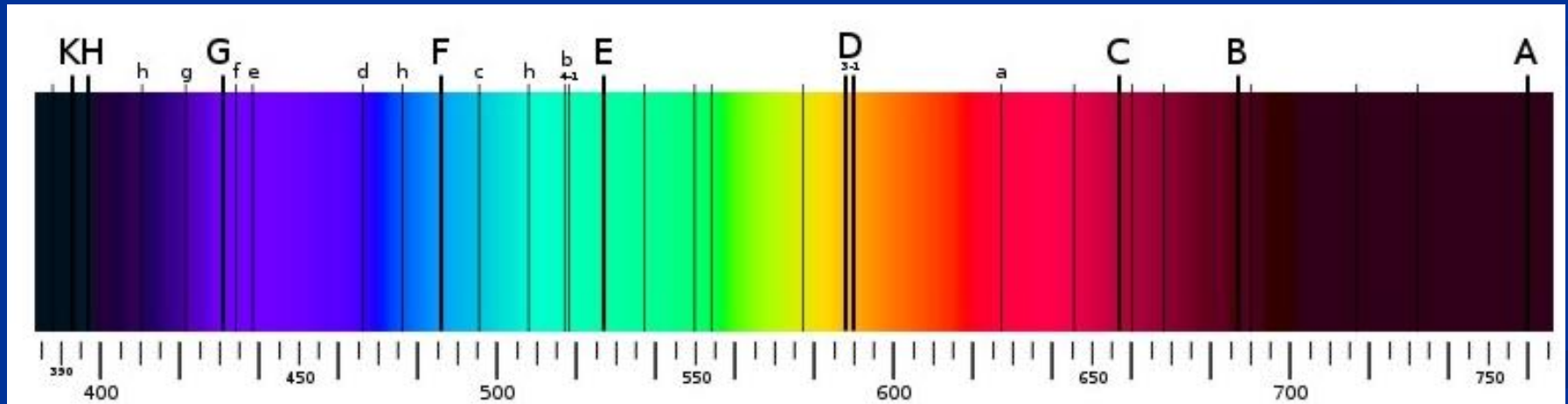
2세대 스펙트럼

수소와 탄소 흡수선을 가진 SMSS J031300.36-670839.3 의 스펙트럼



# 태양은 1세대 별이 아니다

태양계에는 초신성 폭발로 인해 생긴 원소들이 많이 보인다. 태양은 그래서 아마도 두번의 초신성 폭발의 잔해로 생성된 구름에서 만들어진 3세대 별일 가능성이 있다.



태양 스펙트럼. 다양한 스펙트럼 선

# 생명 가능 지대

별의 복사에 의해 암석형 행성 표면에 물이 액체로 있을 수 있는 별 주위의 영역을 생명가능지대라고 한다.

(탄소 기반 생명체는 액체 물의 존재를 기본으로 하는 것을 가정한다.)

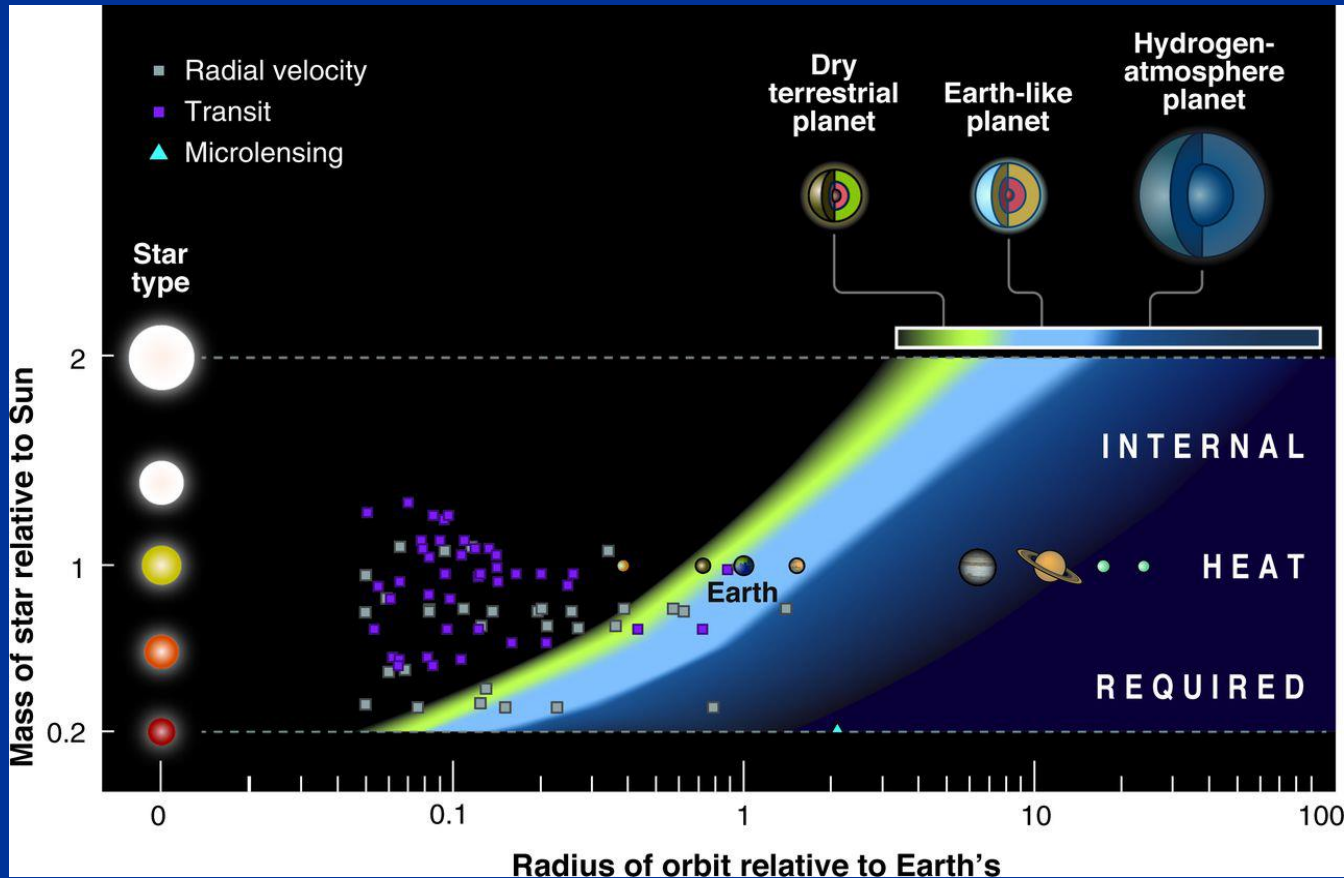
일반적으로 **0.5 and 10 Me** 정도 질량의 천체(행성)가 대기압이 물의 삼중점인 6.1 mbar 보다 높고 온도가 **273.16 K** (물이 얼음, 액체와 기체로 동시에 존재) 인 곳에서 가능하다.





# 생명가능지대

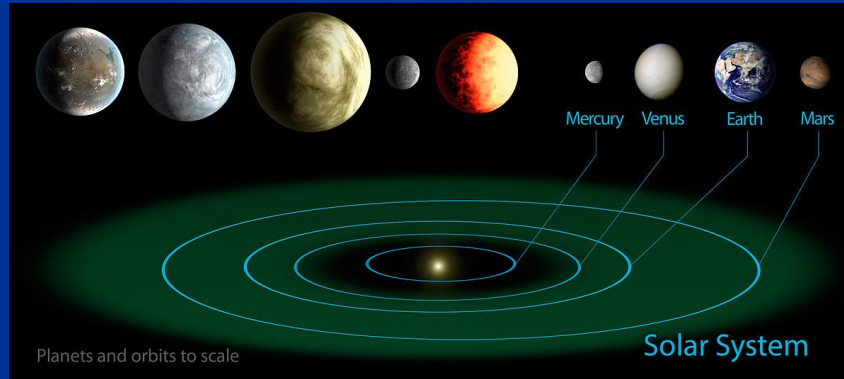
생명가능지대는 **별의 질량에 따라 다르다**. 별의 질량이 크면, 표면온도와 밝기가 증가하므로 생명가능지대가 별로부터 점점 멀리 위치한다.



# 생명가능성의 다른 조건

행성이 생명가능지대에서 궤도운동을 하는것이 필요한 조건이지만, 실제 생명을 가지기에는 충분하지 않다.

예: 금성과 화성



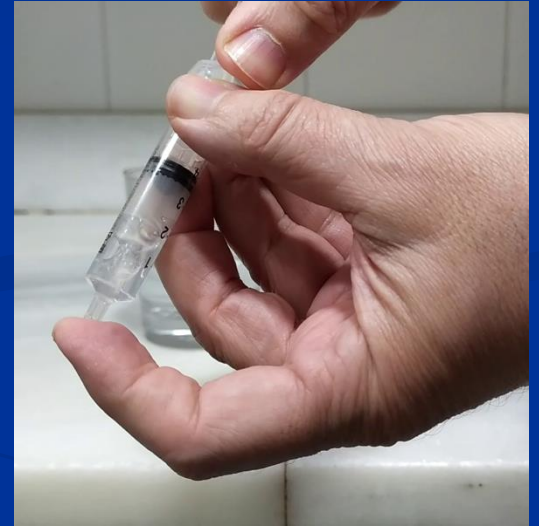
행성의 질량이 충분히 커서 중력으로 대기를 유지할 수 있어야 한다.

화성이 현재 생명이 없는 주요 이유이다. 대기의 대부분을 잃었기 때문에 표면에 물이 없다. 처음 10억년 동안은 대기를 가지고 있었을 것이다.

# 활동 4: 화성에 액체상태의 물?

화성 대기압은 약하다 (지구 대기압의 0.7%). 낮은 압력에도, 화성의 극지방에는 액체상태의 물이 만들어진다. 하지만 왜 화성 표면에는 액체상태의 물이 없을까?

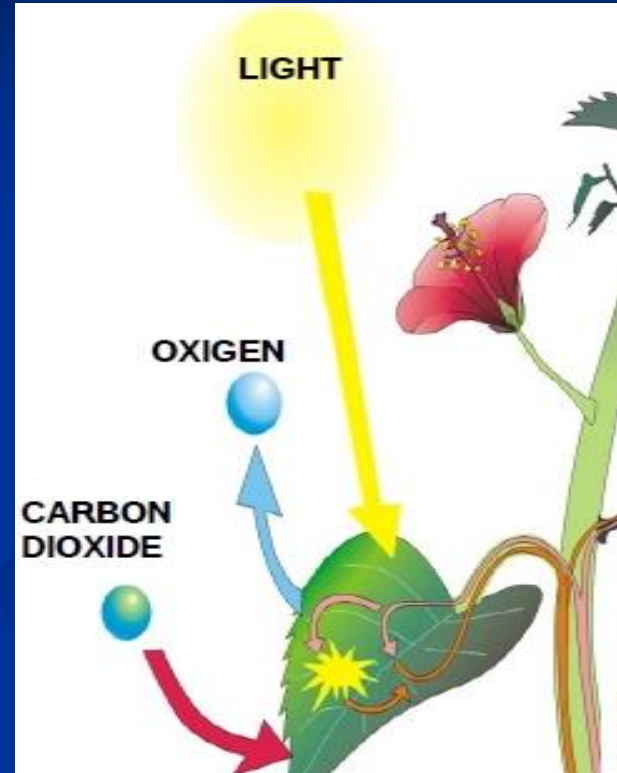
끓을 정도로 뜨거운 물을 주사기에 넣는다.



주사기를 당기면 내부 압력이 낮아지고, 물이 끓기 시작하여 증기가 되어 사라진다. 화성 대기압을 시뮬레이션 하려면 매우 긴 주사기가 있어야 한다. 아마 최대 9m 까지 당겨야 할 것이다.

# 광합성: 산소 생산

광합성은 식물이나 일부 박테리아가 햇빛을 사용하여 이산화탄소와 물로부터 포도당, 탄수화물과 산소를 만들어 내는 과정이다.

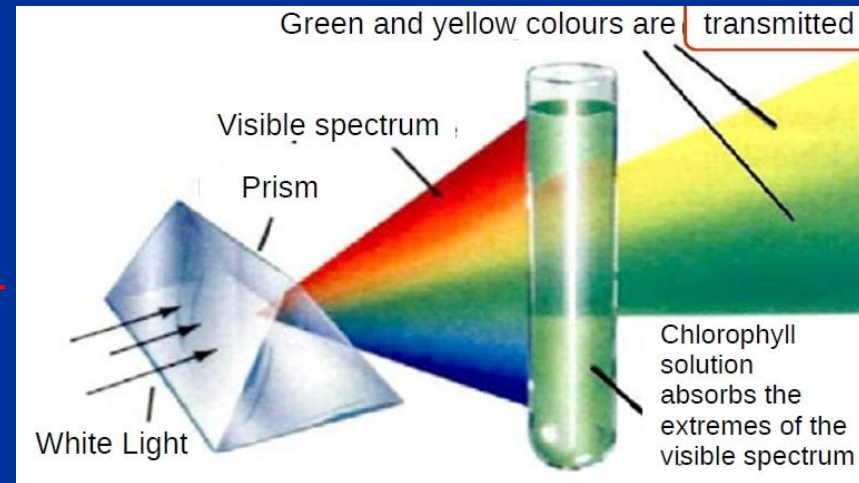


광합성 색소라 불리는 분자는 빛에너지를 화학에너지로 바꾼다.

# 광합성: 식물의 잎은 왜 녹색일까??

식물이 흡수한 빛은 여러 화학반응으로 사용된다. 반면 반사된 파장의 빛은 우리 눈에 반사된 파장의 색으로 보여진다.

엽록소는 광합성 색소 그룹중의 하나로 가시광선에서 두 영역의 파장의 빛을 흡수한다. 하나는 푸른색 영역 (400-500 nm), 이고 다른 하나는 붉은색 영역 (600-700 nm).



스펙트럼의 중간 부분을 반사하는데, 바로 초록색 영역이다. (500-600 nm).

# 광합성: 산소 생성

색소는 빛을 받아 빛에 의해 들뜬 전자를 이동시킨다. 물은 전자를 한 분자에서 다른 분자로 전달시키는 전자 기여자가 되어, **그 결과 물분자가 해리되어 산소가 발생한다.** 광합성에서 빛이 필요한 단계이다.

어두운 단계로 탄수화물이나 당이 생성된다. 이 단계에서는 빛이 필요하지 않다.



# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성



투명한 유리병 2개를 사용하고, 한 개의 병 끝에는 파란색 셀로판지, 다른 한 개의 병 끝에는 빨간색 셀로판지는 놓는다.



# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성



시금치나 근대의 줄기를 피해 편평한 면을 펀치로 작은 조각을 얻는다. 둥근 조각 10개를 각 병에 담는다.



# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성



1리터의 물에 25g의 중탄산나트륨을 넣은 용액을 준비한다. 각 병에 25ml씩 담는다.  
중탄산염용액에 둥근잎 조각을 가라앉힌다.  
둥근잎 조각을 10ml 일회용 주사기에 넣고, 잎조각이 가라앉을때까지 중탄산염용액을 넣는다.

# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성

들어있는 공기를 최대한 제거하고, 중탄산염 용액에 원형 잎조각만 떠 있게 한다.

주사기 끝을 손으로 단단히 막고 당겨 진공상태가 되도록 하여, 식물 조직의 내부공간이 중탄산염 용액으로 채워질 수 있도록 한다. 이는 탄소를 공급하게 되어, 잎사귀에서 광합성과 비슷한 상황이 된다.



# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성

원형 잎조각을 각 병에 넣는다. 각각 빨간색, 파란색 셀로판지로 덮는다.

70W 보다 어두운 전구를 각 병 위에 놓는다. 덮개로부터 같은 거리에 위치시킨다.

LED 사용 권장. 다른 것들은 열로 에너지를 방출한다.



# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성

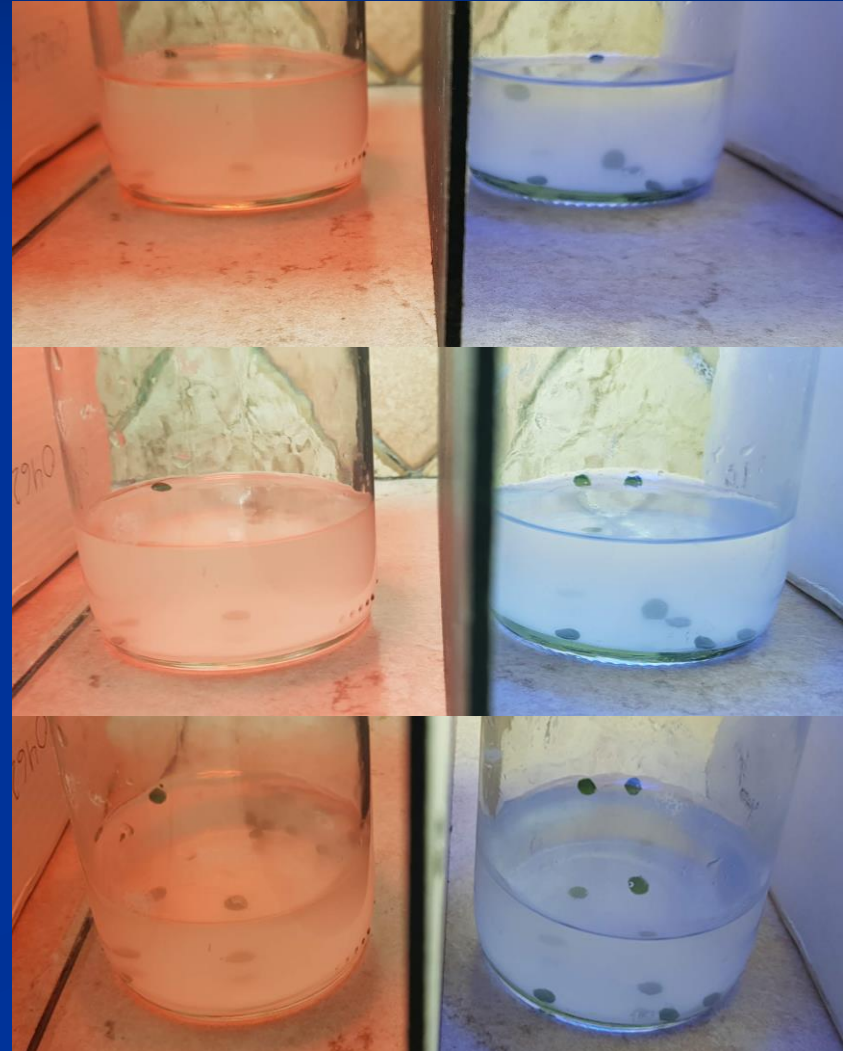
불을 켜고, 원형 잎조각이 뜨는 시간을 기록한다.

광합성 비율을 간접적으로 측정한다.



# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성

5분 정도 기다리면  
원형 잎조각이  
뜨기 시작한다.  
(조명의 세기와  
거리에 비례한다)



# 활동 5: 광합성에 의한 산소의 생성

공기방울 형태로 산소를 방출하면서 원형 잎조각은 떠오른다.

빛의 색에 따라 걸리는 시간이 다름: 청색 빛일 때 빠름 (전자기파의 높은 에너지로, 이 과정에서 효율이 좋다.)



# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

효모 (곰팡이)는 설탕 (포도당)을 에틸알코올 (또는 에탄올)과 이산화탄소로 바꾼다.

발효는 에너지 효율이 낮은 과정이지만, 호흡은 훨씬 더 높은 비용대비 효율을 가진다. 진화 관점에서 최근에 발현되었다.



# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

이산화탄소가 있다는 것은, 발효과정이  
있어 생명의 가능성을 검사해 볼 수 있다.

우리의 모든 실험은, 물이 있는 곳의  
작물로부터 시작한다.





# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

재료:

이스트 1 큰술 (빵 만들기용). 구하기 쉬운 살아있는 미생물임,

따뜻한 물 1잔 ( $22^{\circ}$  와  $27^{\circ}$  C 사이의 물 반컵),  
미생물이 남남할수 있는 설탕 1 큰술

극한 환경에서 비교실험과 대조실험을 동일하게 진행한다.



# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

대조 실험:

유리잔에 이스트와 설탕을 따듯한 물에 녹인다. 혼합된 용액을 비닐봉지에 담고 안의 공기를 다 뺀다.

봉지안에 공기가 남아있지 않도록 신경쓴다.



# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

## 대조실험

15-20 분후, 봉지가 부풀어 오르며 이산화탄소 기포가 생긴걸 볼 수 있다.

이산화탄소가 있다는 것은 미생물이 살아있다는 것이다.



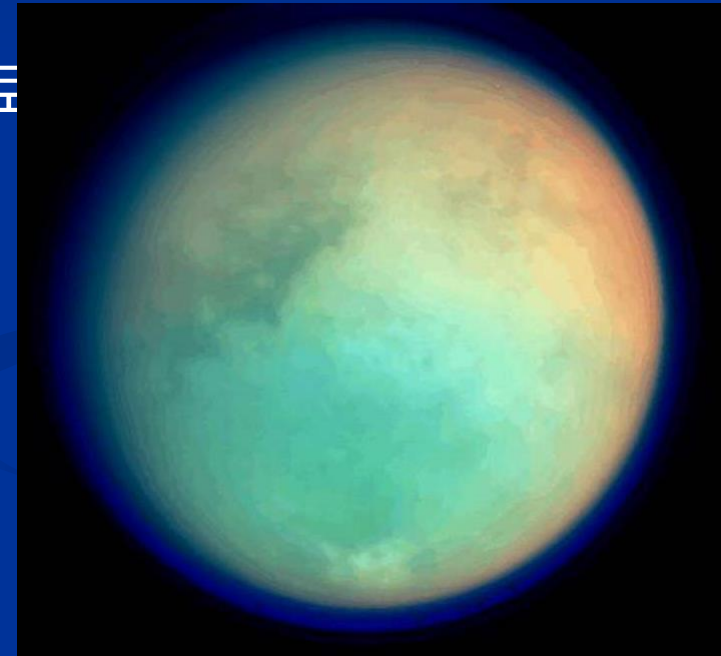
# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

“알칼리성 행성”에서의 과정  
(예, 암모니아가 있는 해왕성이나 타이탄): 중탄산나트륨 혹은 암모니아로 실험을 반복한다.

Ph 알칼리성 척도:

중탄산나트륨 또는 베이킹소다: Ph 8.4

집에서만든 암모니아: Ph 11



타이탄, Credit NASA

공기방울이 보이면 생명이 있다.



# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

“염분이 있는 행성”에서의 과정  
(예, 화성이나 가니메데).

물에 염화나트륨 (일반 소금)을 녹여서  
실험을 진행한다.



가니메데, Credit NASA

공기방울이 보이면 생명이 있다.





# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

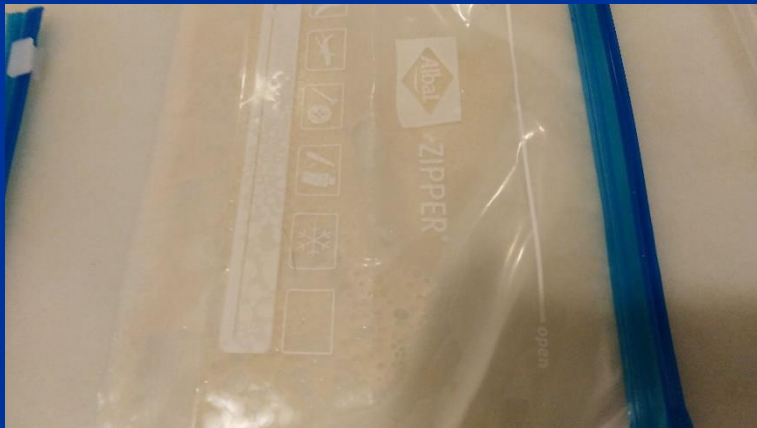
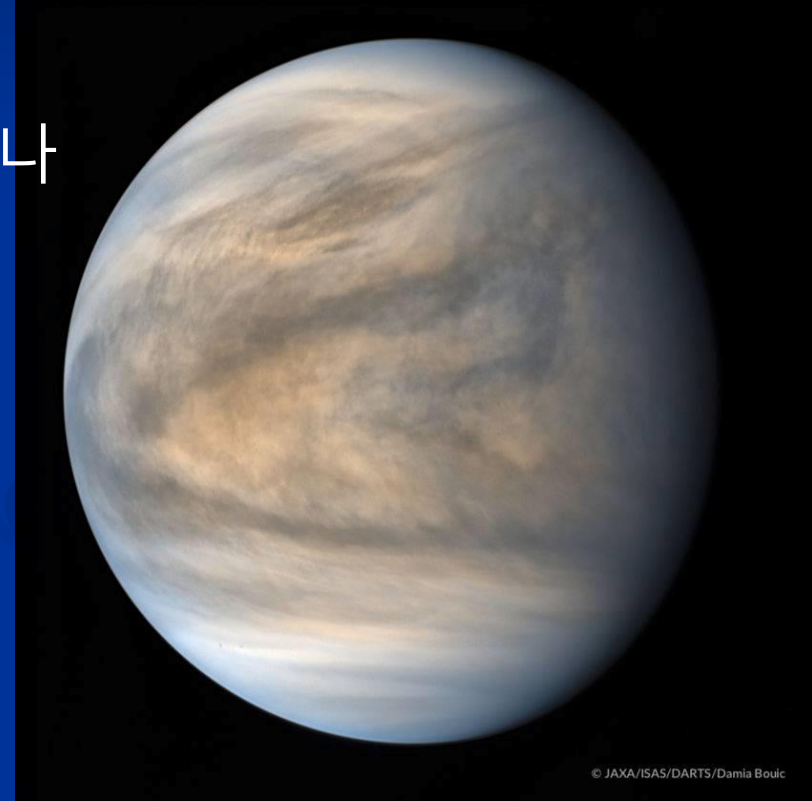
“산성 행성”에서의 과정

(예, 금성은 유황비가 내림): 식초나 레몬즙을 물에 녹여 실험한다.

Ph 산성 척도:

식초: Ph 2.9

레몬즙: Ph 2.3



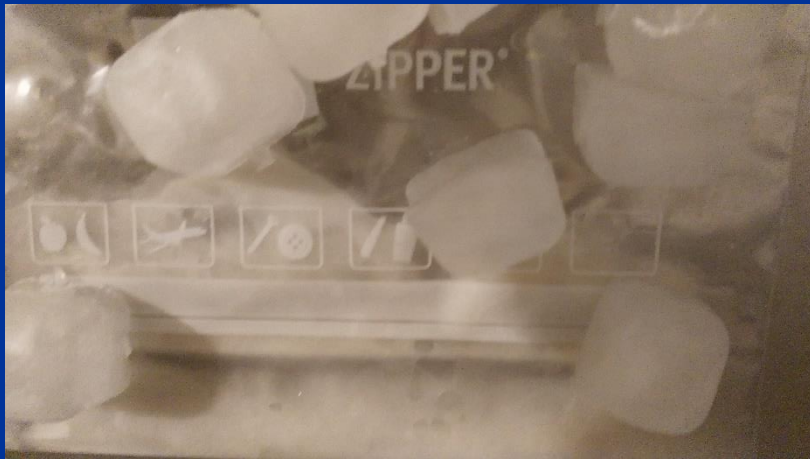
금성, Credit NASA

공기방울이 보이면 생명이 있다.



# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

“얼음 행성”에서의 과정  
(예, 유로파나 Trappist-1 h)  
비닐 봉지에 얼음을 넣거나  
냉동실에서 실험을 한다.



Trappist 1h Artist's impression

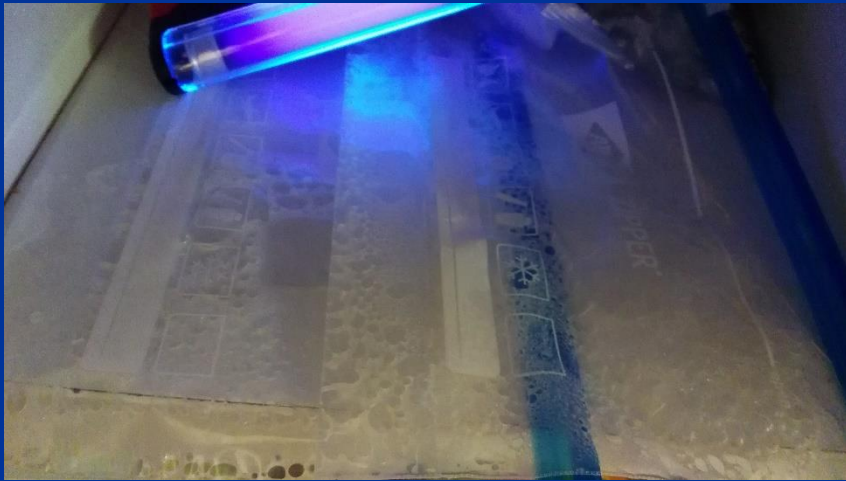
공기방울이 보이면 생명이 있다.



# 활동 6: 극한 환경에서의 생명

“UV가 강한 행성”에서의 과정  
(예, 화성)

용액이 있는 봉지를 UV 빛 아래에 두고  
실험한다.



화성, Credit iStock

공기방울이 보이면 생명이 있다.





# 활동 7: DNA 추출

우주생물학자는 지상 (Minas de Río Tinto, Antarctica, Atacama Desert, etc.) 에서 생명이 어떻게 발현되고 진화했는지 연구한다.

극한 환경에 적응한 유기체를 발견하고 적응 메커니즘을 찾기 위한 여러과정 중 첫번째 단계는 DNA 추출이다.



# 활동 7: DNA 추출

염기서열 DNA는 생명의 존재 (현재 혹은 과거)를 파악하도록 해주며, 이는 우주에서 생명체를 찾는 데 사용된다.

The DNA molecule is very long and packed with proteins (like a ball of wool) inside cells.

**세포를 분해할 용액:** 물 1/2 컵

소금 1 티스푼, 염화나트륨, - 단백질을 제거하여 DNA가 방출되게 한다.

중탄산 나트륨 3 티스푼, - DNA가 잘 유지될 수 있도록 용액의 pH를 일정하게 유지한다.

풍뎅을 추가한다. - 세포막을 없애기 위해 용액이 같은 색이 될때까지 첨가한다.

섞는다 - DNA가 잘 보이고 거품이 생기지 않도록 섞는다.



# 활동 7: DNA 추출

세포 주스를 준비한다.

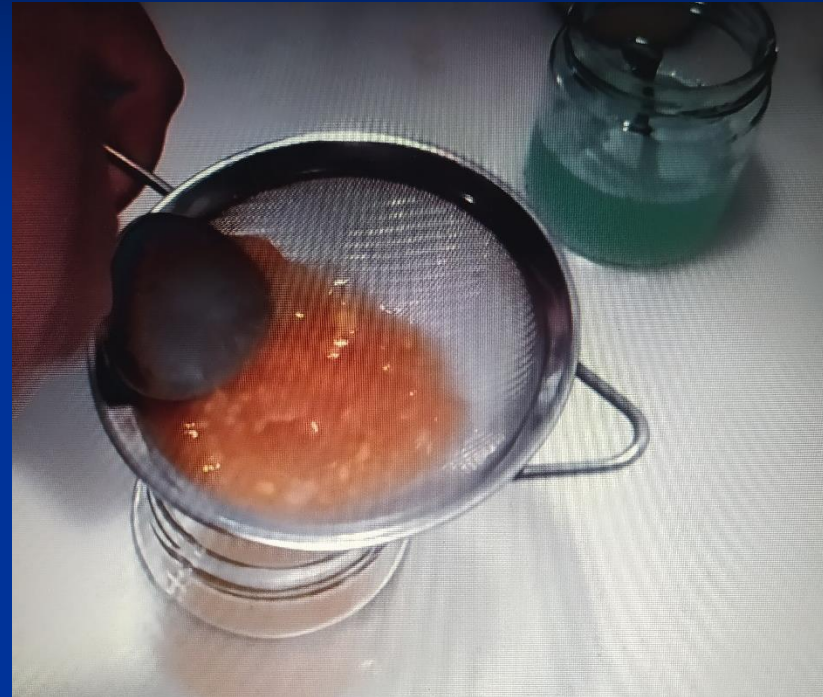
“ 토마토 ”

토마토 퓨레 2 테이블스푼  
- 퓨레가 될때까지 포크로 으갠다.

우리가 준비한 용액을 넣는다  
(용액의 부피는 토마토 퓨레 부피의 두배)

거품이 나지 않게 조심하면서 세포를 부술수 있도록 섞는다. 큰 조각을 없애기 위해 체망에 거른다.

세포의 내용물은 주스 안에 있다.



# 활동 7: DNA 추출

## DNA가 보이게 하라

DNA 가닥이 많을 때, 하얀 구름처럼 보인다 (DNA는 맨눈으로 볼 수 없지만, 염분이 하얀색처럼 보이게 만든다.). 주스잔의 벽을 따라 천천히 알코올을 추가한다. 알코올이 섞이지 않고 주스 위층에 있게 하기 위해서다.

3-4분이 지나면 DNA가 흰구름처럼 덩어리져 보이게 된다 (꼭대기까지 올라옴). DNA가 알코올에 용해되지 않아 DNA 구름이 형성되기 때문에 알코올을 첨가했다.



# 활동 8: 두번째 지구를 찾아서

지구는 생명체를 가진 유일한 행성으로 알고 있다. 비슷한 조건을 가진 외계행성을 찾아보자. 어떤 조건이 중요할까?

- 외계행성의 크기와 질량
- 생명가능지대
- 중심별의 질량



# 반지름과 질량 (외계행성)

적절한 밀도를 가지는지 판단하기 위해서 행성의 반지름과 질량을 생각해야 한다.

Kepler 임무의 기준 사용:

□ 지구 크기의 행성은 지구 반지름의 2배보다 작다.  $R < 2R_e$

□ 큰 지구형 행성의 상한선은 지구 질량의 10 배이다.  $M < 10M_e$

# 생명이 가능한 영역

주계열성은 밝기는 온도와 연관있다.  
표면온도가 높을수록 더 밝은 별이고,  
생명가능지대는 중심별로부터 더 멀리 떨어져  
있다.

스펙트럼형	온도 K	생명가능지대 AU
O6V	41 000	450-900
B5V	15 400	20-40
A5V	8 200	2.6-5.2
F5V	6 400	1.3-2.5
G5V	5 800	0.7-1.4
K5V	4 400	0.3-0.5
M5V	3 200	0.07-0.15



# 중심별의 질량

별의 진화와 수명은 질량에 따라 다르다.  
별이 수소 핵융합으로 얻을 수 있는 에너지는  
질량에 비례한다. **주계열성의 수명은 질량을  
광도로 나누어 구한다.** 태양의 경우,  
주계열성의 수명은 다음과 같다.

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(L^*/L_s)$$



# 중심별의 질량

주계열성의 경우, 광도는 질량에 비례한다.

$$L \propto M^{3.5}$$

$$t^*/t_s = (M^*/M_s) / (M^{*3.5}/M_s^{3.5}) = (M^*/M_s)^{-2.5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2.5}$$

태양의 수명은  $t_s=10^{10}$  년 이므로, 별의 수명은 다음과 같다:

$$t^* \sim 10^{10} \cdot (M_s/M^*)^{2.5} \text{ years}$$

# 중심별의 질량

생명이 진화할 수 있는 시간이 필요하므로 적어도  $3 \times 10^9$  년의 수명이 되도록 별의 질량 상한선을 계산해 보자.

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0.4} M_{\odot}$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0.4} M_{\odot}$$

$$M^* = < 1.6 M_{\odot}$$

# 두번째 지구를 찾아서

Exoplanet Name	Mass in masses of Earth	Radius in Earth radii	Distance to star in AU	Star Mass in masses of the Sun	Star Spectral Type/surface temperature
Beta Pic b	4100	18.5	11.8	1.73	A6V
HD 209458 b	219.00	15.10	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	14.20	68.0	1.56	A5V
Kepler-452 b	unknown	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	unknown	0.09	0.29	M3.5V
Tau Cet c	3.11	unknown	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	16.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.01	0.08	M8
TW Hya d <small>(yet unconfirmed)</small>	4	unknown	24	0.7	K8V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
Kepler-138c	1.97	1.20	0.09	0.57	M1V
Kepler-62f	2.80	1.41	0.72	0.69	K2V
Proxima Centauri b	1.30	1.10	0.05	0.12	M5V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V

# 두번째 지구를 찾아서

Exoplanet Name	Mass in masses of Earth	Radius in Earth radii	Distance to star in AU	Star Mass in masses of the Sun	Star Spectral Type/surface temperature
Beta Pic b	4100	48.5	41.8	4.73	A6V
HD 209458 b	219.00	45.10	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	14.20	68.0	1.56	A5V
Kepler-452 b	<b>unknown</b>	<b>1.59</b>	<b>1.05</b>	<b>1.04</b>	<b>G2V</b>
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	<b>2.19</b>	<b>unknown</b>	<b>0.09</b>	<b>0.29</b>	<b>M3.5V</b>
Tau Cet c	3.11	unknown	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	46.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.01	0.08	M8
TW Hya d (yet unconfirmed)	4	unknown	24	0.7	K8V
HD 10613 b	42.60	2.39	0.09	1.07	F5V
Kepler-138c	<b>1.97</b>	<b>1.20</b>	<b>0.09</b>	<b>0.57</b>	<b>M1V</b>
Kepler-62f	2.80	1.41	0.72	0.69	K2V
Proxima Centauri b	1.30	1.10	0.05	0.12	M5V
HD 10613 b	42.60	2.39	0.09	1.07	F5V

# 결론

- 생명가능지대의 개념을 안다.
- 우주생물학 개념을 소개한다.
- 이산화탄소를 얻어 산소를 생성하는 방법을 보여준다.
- 두번째 지구를 찾는 방법을 소개한다.



감사합니다!

