



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เทคโนโลยีสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย

HEALTH, COSMETIC & ANTI-AGING TECHNOLOGY



ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ
Asst.Prof. Woravith Chansuvarn,
Ph.D.

หน่วย 3 สเปกโทรสโกปีแบบดูดกลืนและเปล่งออก
บทเรียน 3.2

สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งออก ระดับอะตอม

(Atomic Emission Spectroscopy)



woravith



woravith



woravith.c@rmutp.ac.th



<http://sci.rmutp.ac.th/woravith>

#แผนการเรียนรู้และการประเมินผลการเรียนรู้

3.2

สเปกโทรสโกปี แบบเปล่งออกร ระดับอะตอม

อธิบายการเปล่งออกระดับอะตอม



บอกส่วนประกอบของเครื่อง ICP-OES



คำนวณการทำปริมาณวิเคราะห์

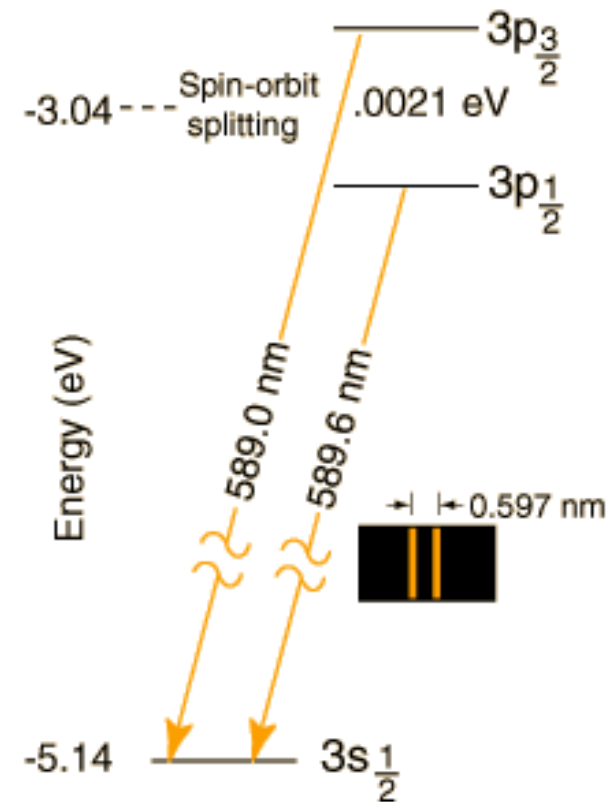
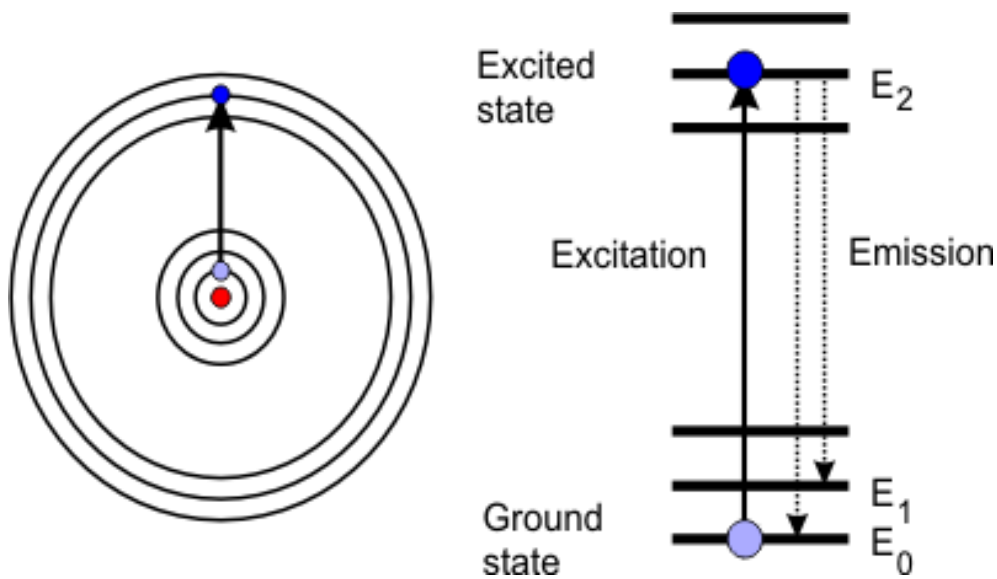


ปฏิบัติการวัดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES



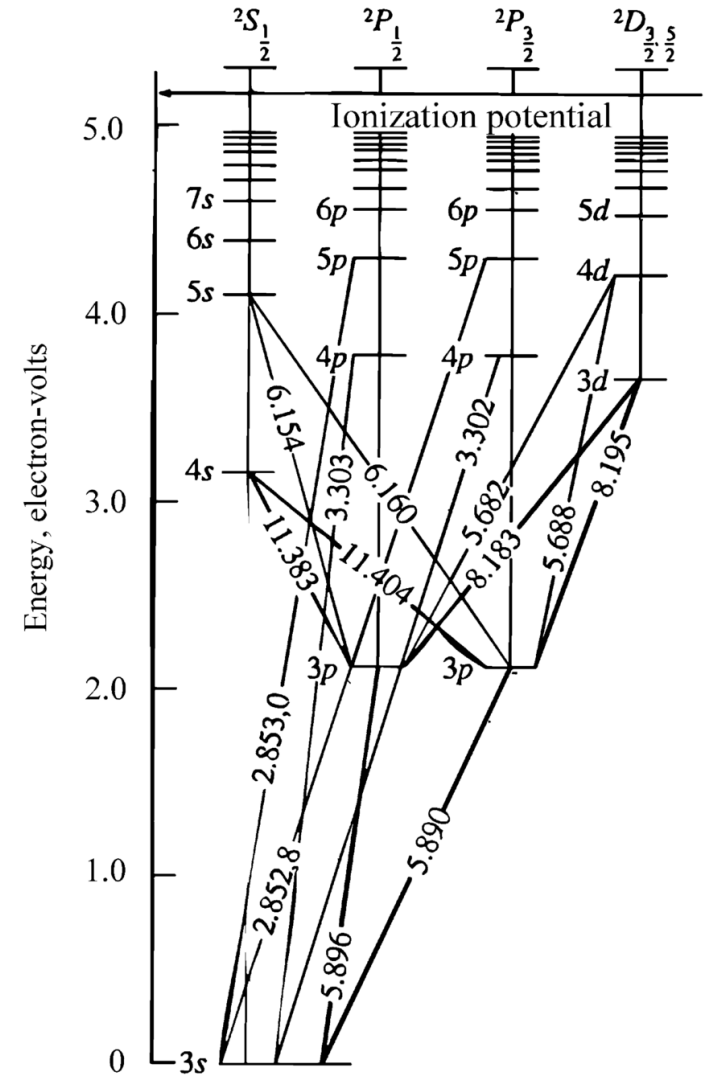
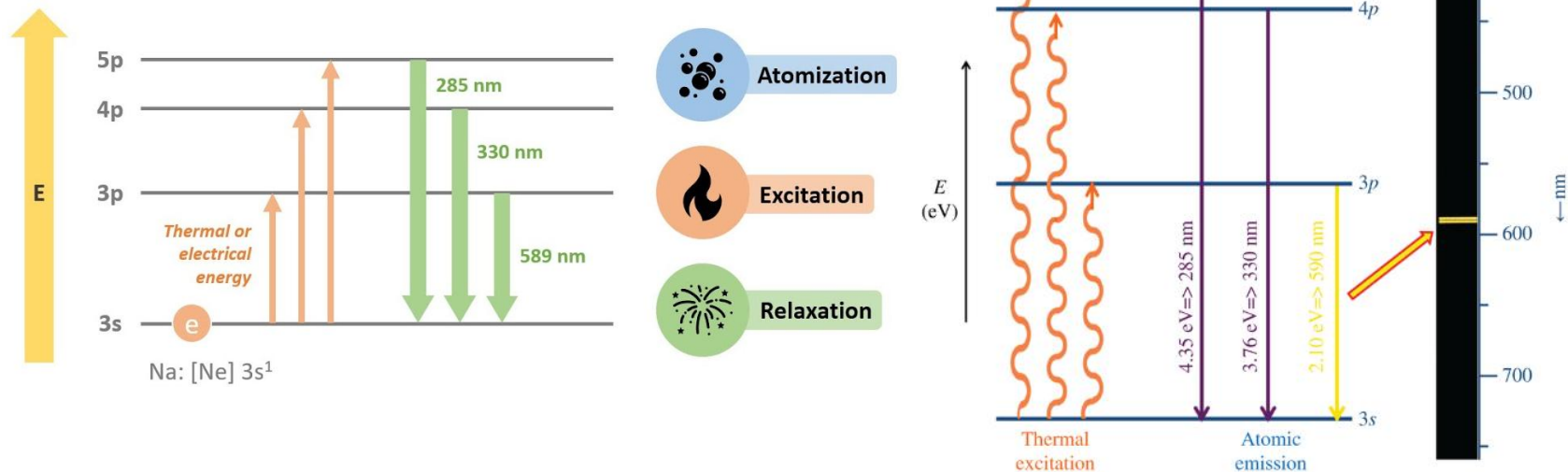
การเปล่งออกระดับอะตอม

พลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอม และขึ้นไปอยู่ที่ excited state แล้วเกิด atomic emission เพื่อกลับลงมาสู่ระดับพลังงาน ground state



สเปกตรัมการดูดกลืนและสเปกตรัมการเปล่งออกของ Na

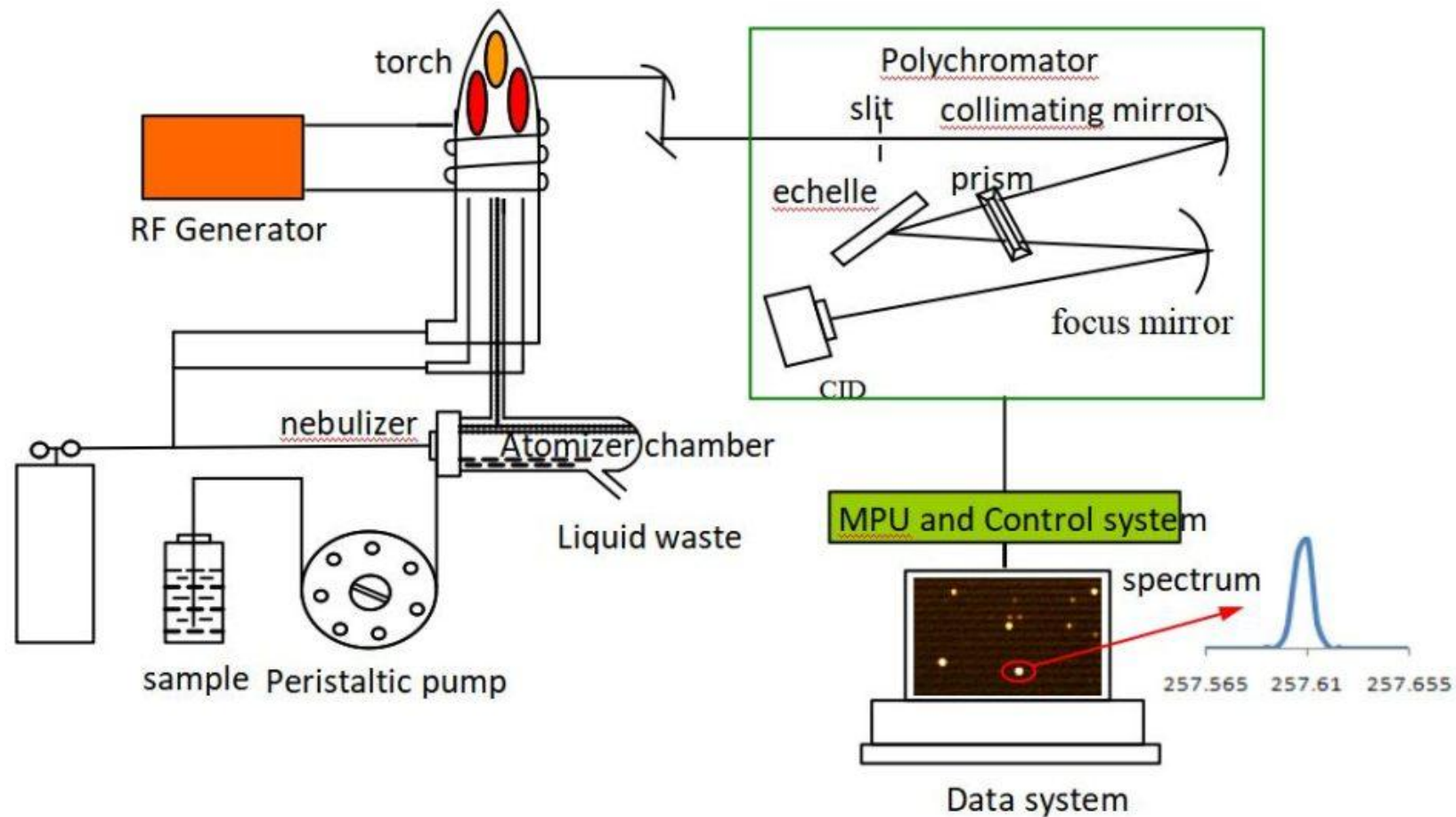
- โซเดียมมีทั้งเส้นการดูดกลืนและเปล่งออกที่ความยาวคลื่น 589.0 และ 589.6 nm
- หากใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 589.6 nm กระตุ้นอิเล็กตรอนในออร์บิทัล-3s ให้ไปยังสถานะกระตุ้น (3p) เราสามารถวัดการเปล่งออกที่ความยาวคลื่นเดียวกันได้



ส่วนประกอบของเครื่อง ICP-OES

- 1) Inductively coupled plasma (ICP) ใช้ผลิตพลาสมาที่ให้อุณหภูมิสูงถึง 1,000–10,000 เคลวิน
- 2) Optical emission spectrometer (OES) เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการทำให้สารเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นเพื่อให้สารที่สนใจคายแสง (เปล่งออก) ซึ่งจะอยู่ในย่าน UV-Vis และมีลักษณะเฉพาะตัว และวัดความเข้มของแสงนั้น

Block Diagram

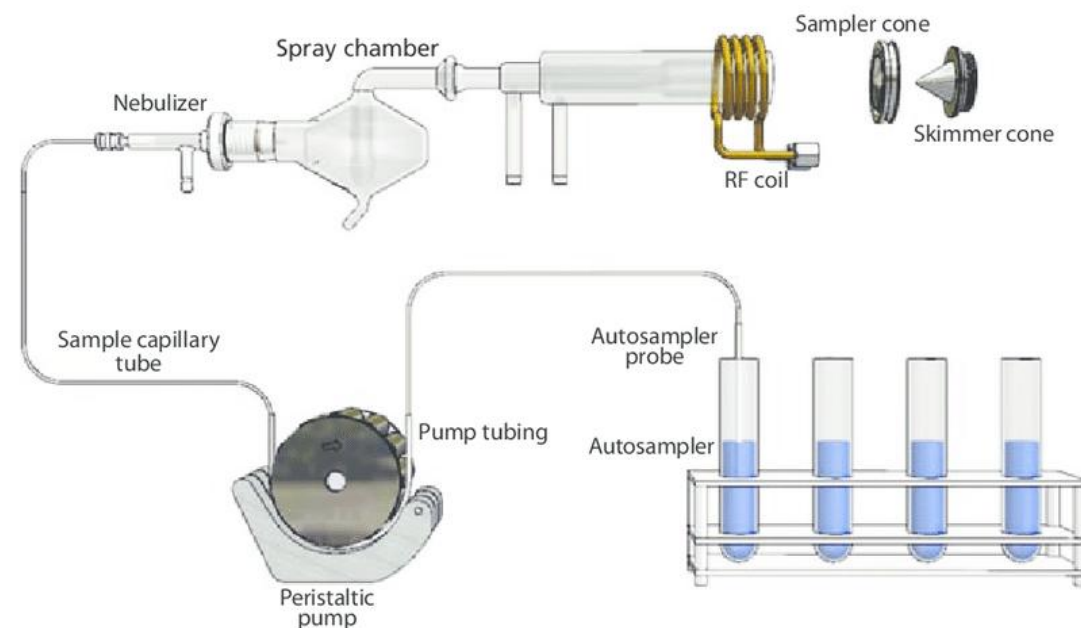


Sample introduction system

การนำส่งสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบด้วยการดุดฟั่นให้เป็นละอองลอย (solution nebulization)

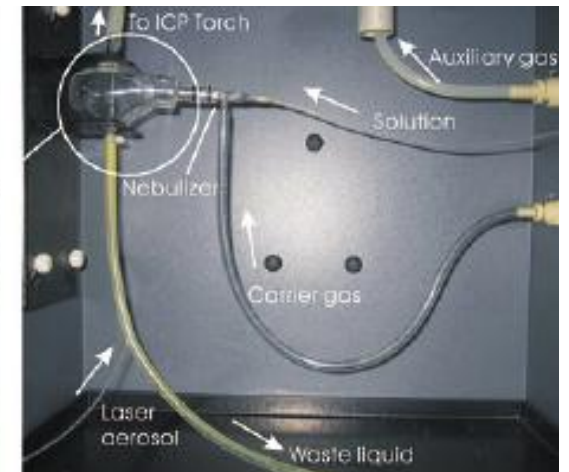
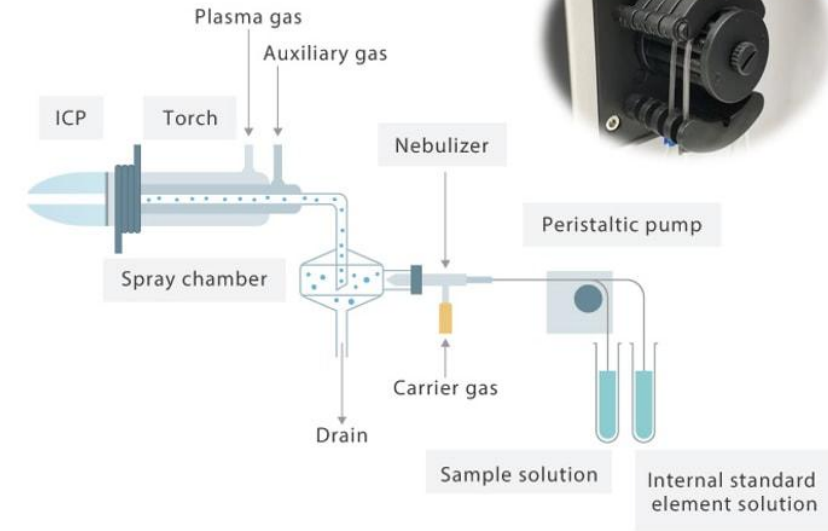
ส่วนประกอบหลักของระบบนำส่งตัวอย่าง

- เครื่องพ่นละออง (nebulizer)
- ปั๊มสุบจ่ายของเหลวแบบรีดท่อ (peristaltic pump)
- spray chamber



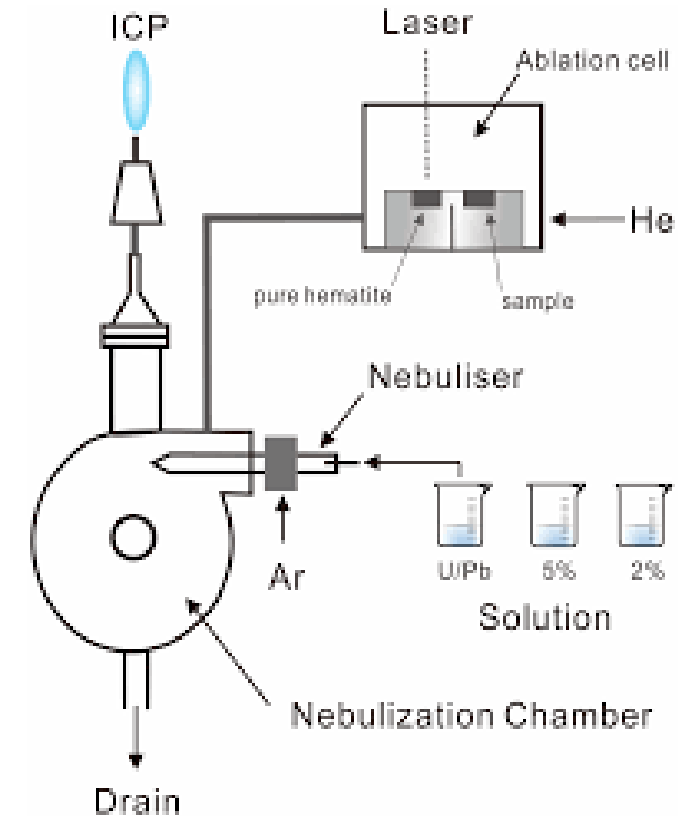
Sample introduction system

- สารละลายตัวอย่างจะถูกส่งเข้าเครื่องผ่านปั๊มสุบจ่ายของเหลวแบบรีดท่อ
- ผ่านกระบวนการดูดพ่นให้เป็นละอองด้วยเครื่องพ่นละออง ละอองอาจมีหลายขนาด
- ละอองขนาดใหญ่จะตกค้างอยู่ใน spray chamber ส่วนละอองลอยขนาดเล็กจะผ่าน spray chamber เข้าสู่คอบพลาสมาเพื่อเข้าสู่กระบวนการกำจัดตัวทำละลายออกจากละอองตัวอย่างต่อไป



Sample introduction system

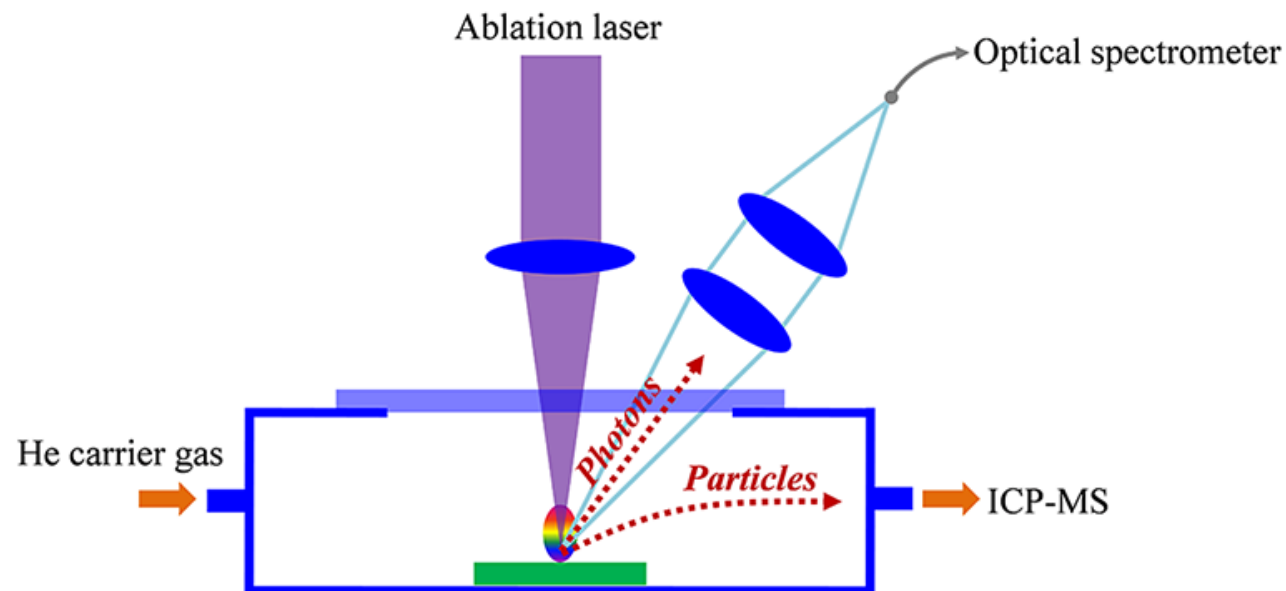
- กระบวนการดูดพ่นให้เป็นละอองลอยอาจไม่เหมาะสำหรับการนำส่งตัวอย่างบางชนิด
- ตัวอย่างบางรูปแบบอาจมีการนำส่งเข้าระบบด้วยวิธีอื่น
 - การยิงด้วยเลเซอร์ (laser ablation) ใช้สำหรับการทำตัวอย่างในรูปของแข็งให้เป็นไอของอนุภาคเพื่อนำส่งตัวอย่าง
 - การทำให้เป็นไอด้วยไฟฟ้า (electrothermal vaporization) ใช้ได้กับตัวอย่างในรูปของเหลวหรือของเหลวข้น (slurry) ซึ่งเป็นของผสมระหว่างของแข็งที่ไม่ละลายกับของเหลว



Sample introduction system : *Laser ablation*

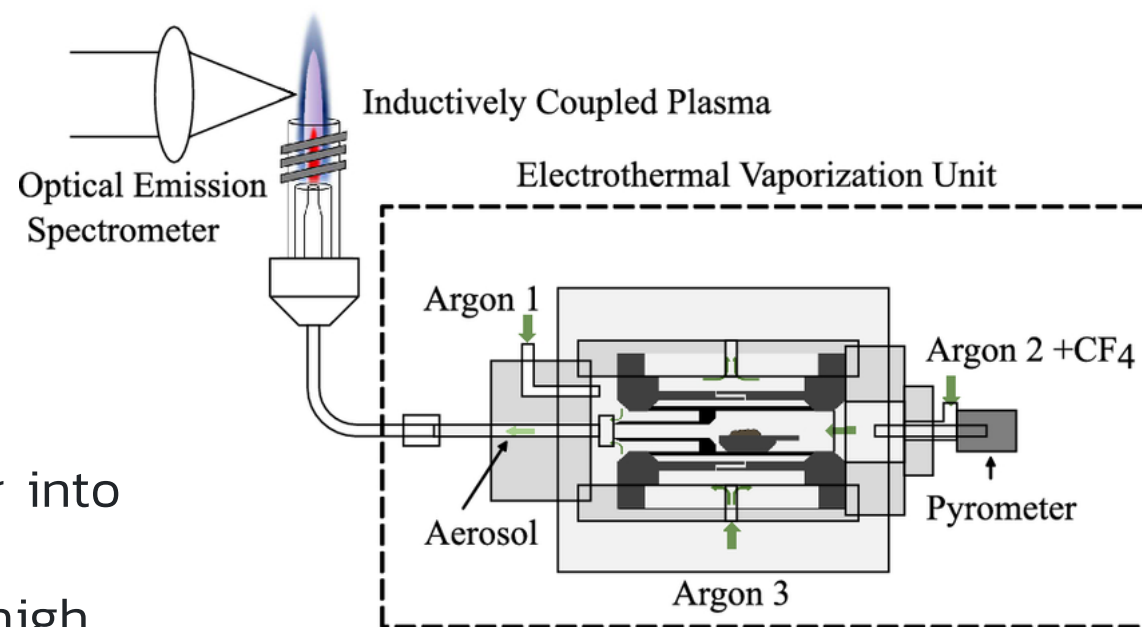
Laser Ablation (LA) is a solid sampling technique that uses short pulses of high intensity light to convert a solid sample directly into an aerosol.

- Laser ablation works on the principle of energy transfer.
- All materials absorb better in the UV wavelength range (400 nm and below)
- Commercial systems are typically offered at 266 nm, 213 nm and 193 nm.



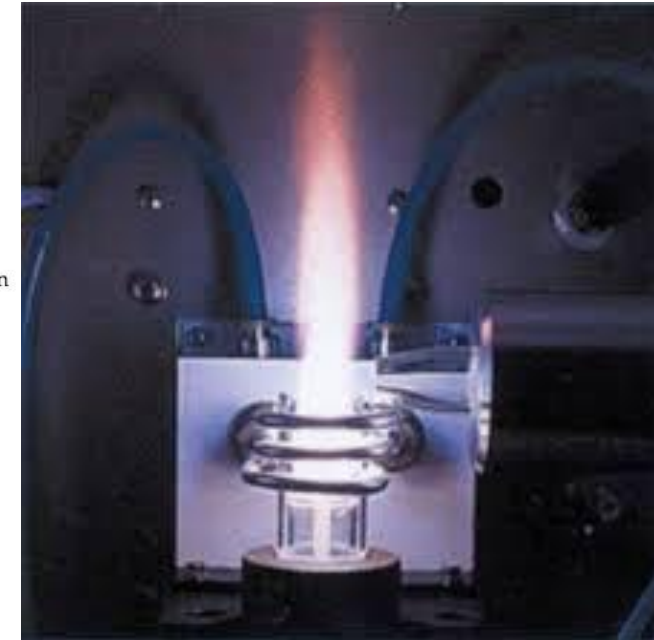
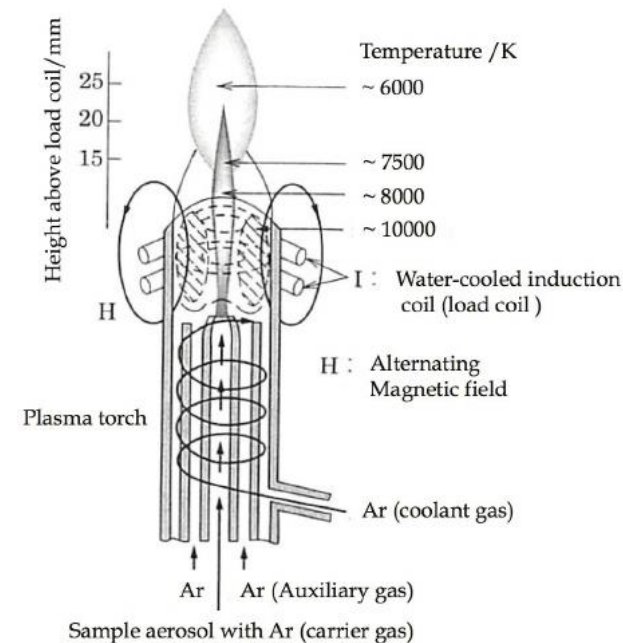
Sample introduction system : *Electrothermal vaporization*

- Direct introduction of solids, liquids and slurries which can be coupled to an ICP-OES to allow samples to be analyzed in their original form, without sample preparation.
- The sample is placed on a platform, or into a furnace.
- The sample is rapidly heated to very high temperatures, causing it to vaporize.
- The vaporized sample is carried by an inert gas into the instrument's plasma and then ionized and detected.



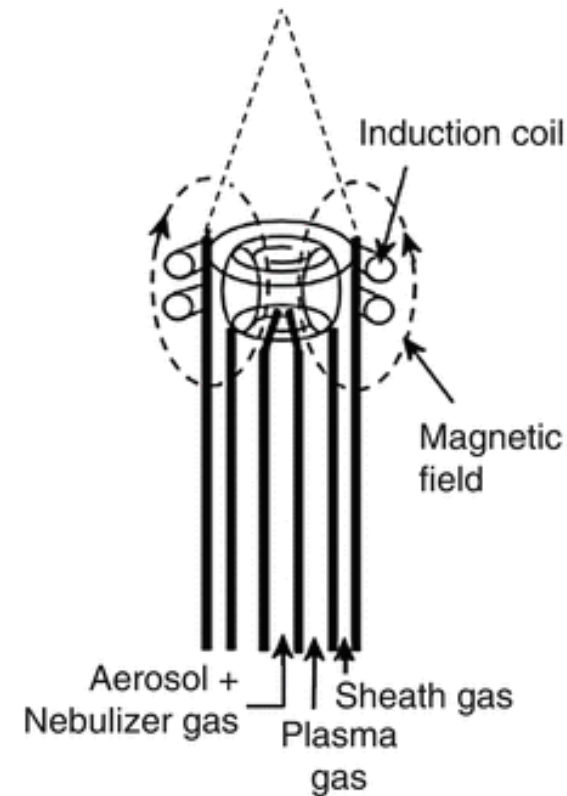
Plasma generation system : *Torch*

คบ (torch) ซึ่งประกอบด้วยหลอด
 ทรงกระบอกที่ทำด้วยแก้วควอตซ์
 (quartz tube) ซ้อนกัน 3 ชั้น ปลาย
 คบด้านบนมีท่อกลวงทำด้วยขดลวด
 เหนี่ยวนำ (induction coil) ทำด้วย
 ทองแดงล้อมรอบ เรียกว่า load coil
 ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดความถี่ช่วง
 คลื่นวิทยุ (RF generator) เพื่อให้
 RF-power (700–1,500 วัตต์)



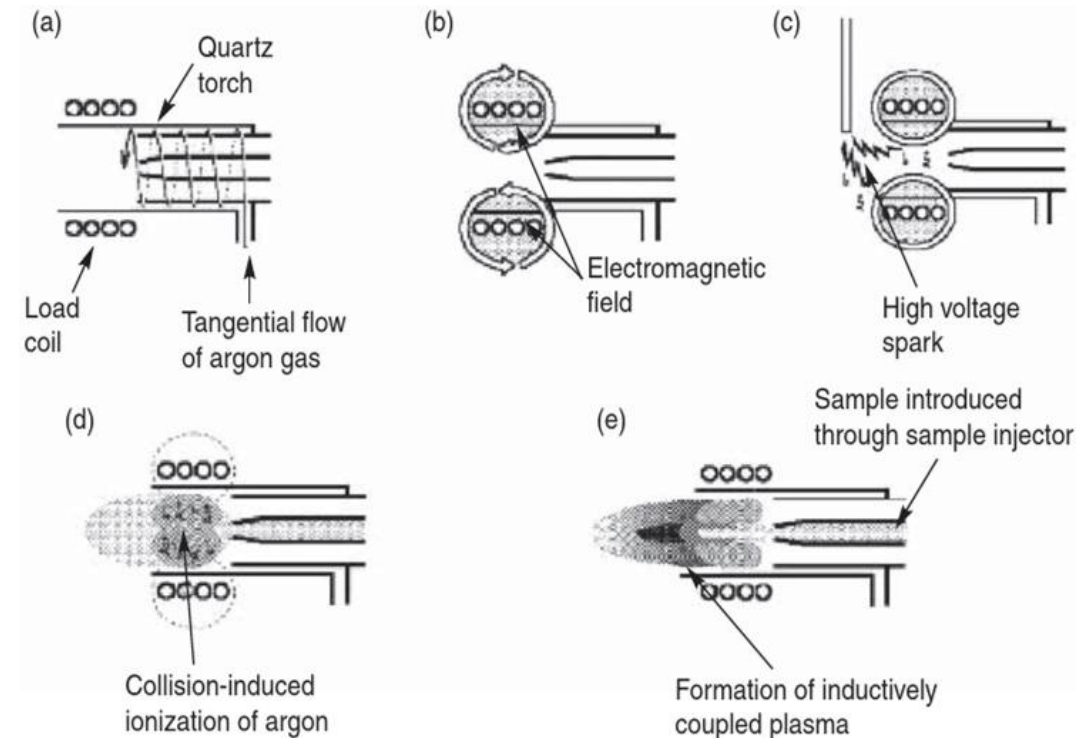
Plasma discharge

- แก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคอบ (torch) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไปที่ขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีน้ำไหลผ่านเพื่อระบายความร้อน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไหลวน (Eddy current) ขึ้น
- อิเล็กตรอนอิสระภายในคอบจะถูกเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและถูกเร่งทำให้เกิดการชนกันกับอะตอม หรือโมเลกุลของแก๊ส มีผลทำให้แก๊สเกิดการแตกตัวเป็นไอออน เกิดความร้อนขึ้นจำนวนมากที่เรียกว่า พลาสมา (plasma)



Plasma discharge

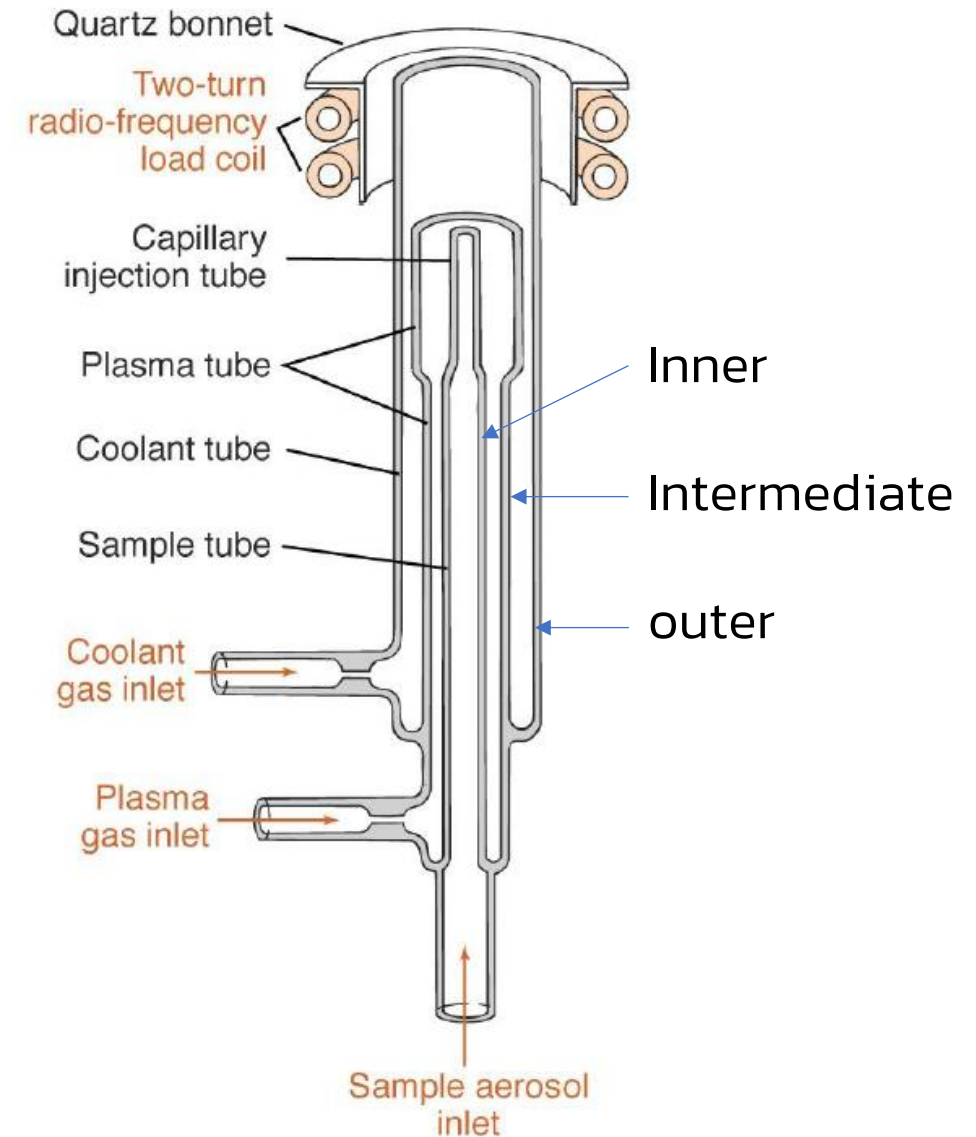
- แก๊สอาร์กอนจะเป็นแก๊สเฉื่อย ไม่นำไฟฟ้า
- การทำให้เกิดพลาสมาต้องให้อิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นบางส่วนก่อน จึงจำเป็นต้องทำให้เป็นตัวนำไฟฟ้าด้วยการทำให้ (spark โดยปล่อยประจุจากเทสลา (tesla discharge) หรือ igniter เพื่อให้เกิดประกายไฟบริเวณคบ
- ขดลวดเหนี่ยวนำและมีแก๊สอาร์กอนไหลผ่านพร้อม ๆ กันกับการให้พลังงานจากเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุทำให้อิเล็กตรอนอิสระมีพลังงานสูงขึ้นและจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไปชนกับอะตอมของแก๊สอาร์กอน ทำให้แก๊สอาร์กอนเกิดการแตกตัว (ionization) เกิดเป็นไอออนบวกของแก๊สอาร์กอนและอิเล็กตรอน
- การชนจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในลักษณะปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดพลาสมา



Plasma generation system : *Torch*

คบบลาสมา (Torch) โดยทั่วไปทำจากควอตซ์ (quartz) คบบลาสมามีลักษณะเป็นหลอด 3 ชั้น คือ

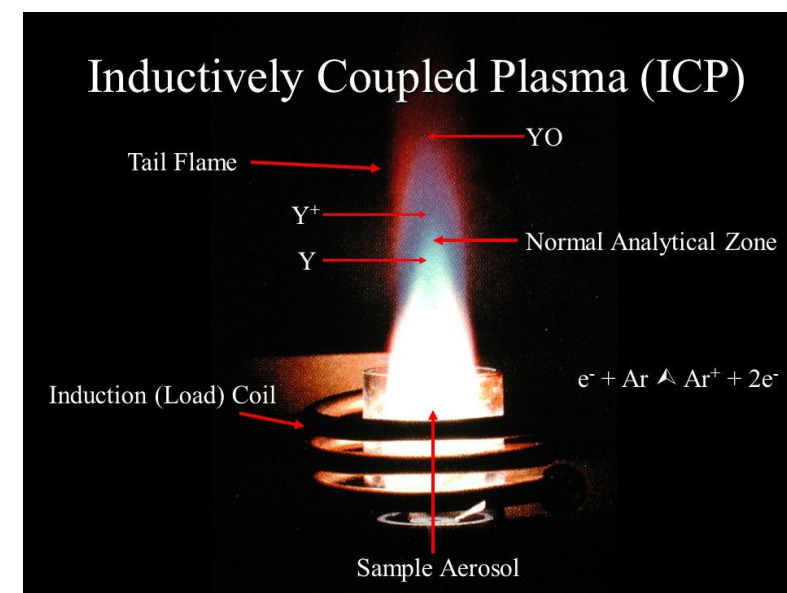
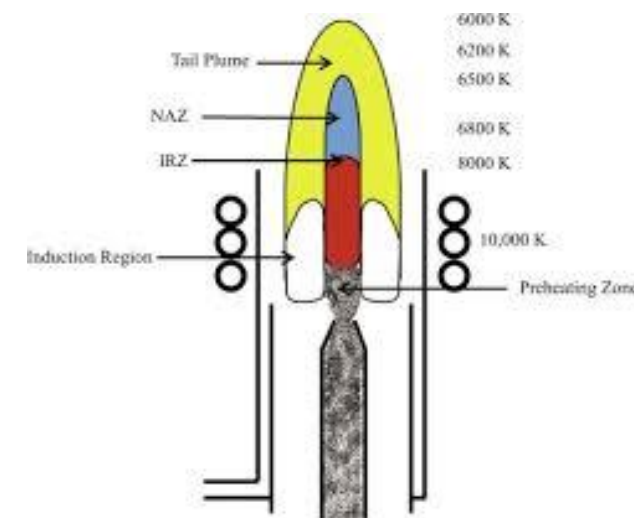
- ชั้นใน (inner)
- ชั้นกลาง (intermediate)
- ชั้นนอก (outer)



Plasma generation system

พลาสมาในแต่ละโซนจะมีชื่อเรียกที่ต่างกัน

- บริเวณฐานของ discharge มีลักษณะเป็น toroidal (doughnut-shaped)
- แก๊สอาร์กอนที่ไหลผ่าน nebulizer และพาละอองตัวอย่างเข้าสู่พลาสมานั้น จะผ่านบริเวณกึ่งกลางของพลาสมาเรียกบริเวณนี้ว่า induction region (IR) เนื่องจากบริเวณนี้จะเกิดการถ่ายเทพลังงานจากกระแสไฟฟ้าความถี่สูง (high frequency current) ไปสู่พลาสมาโดยผ่านทางขดลวดเหนี่ยวนำ ส่วนบริเวณนี้เรียกว่า normal analytical zone (NAZ) เป็นบริเวณที่ถูกเลือกใช้ในการวัด emission lines ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้ ICP สามารถวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุต่าง ๆ ได้

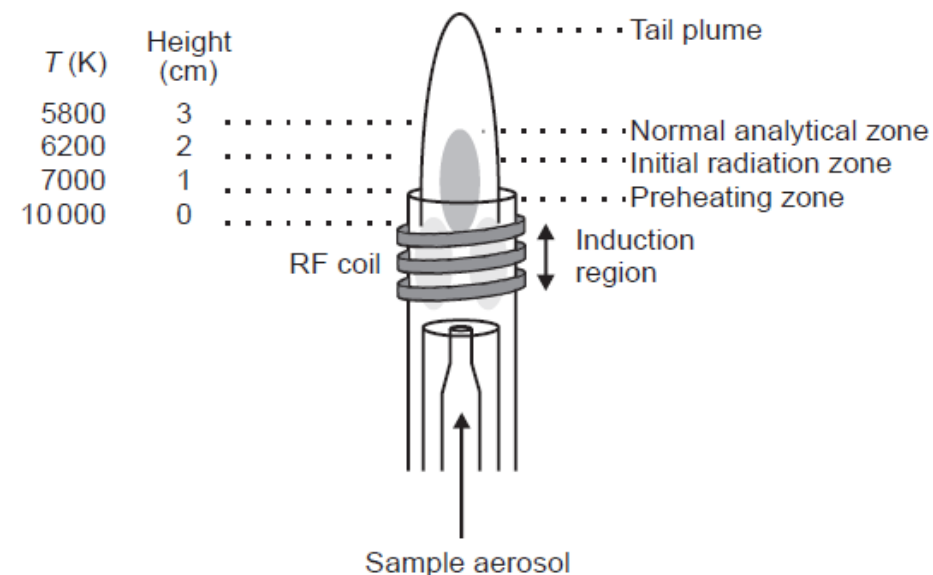


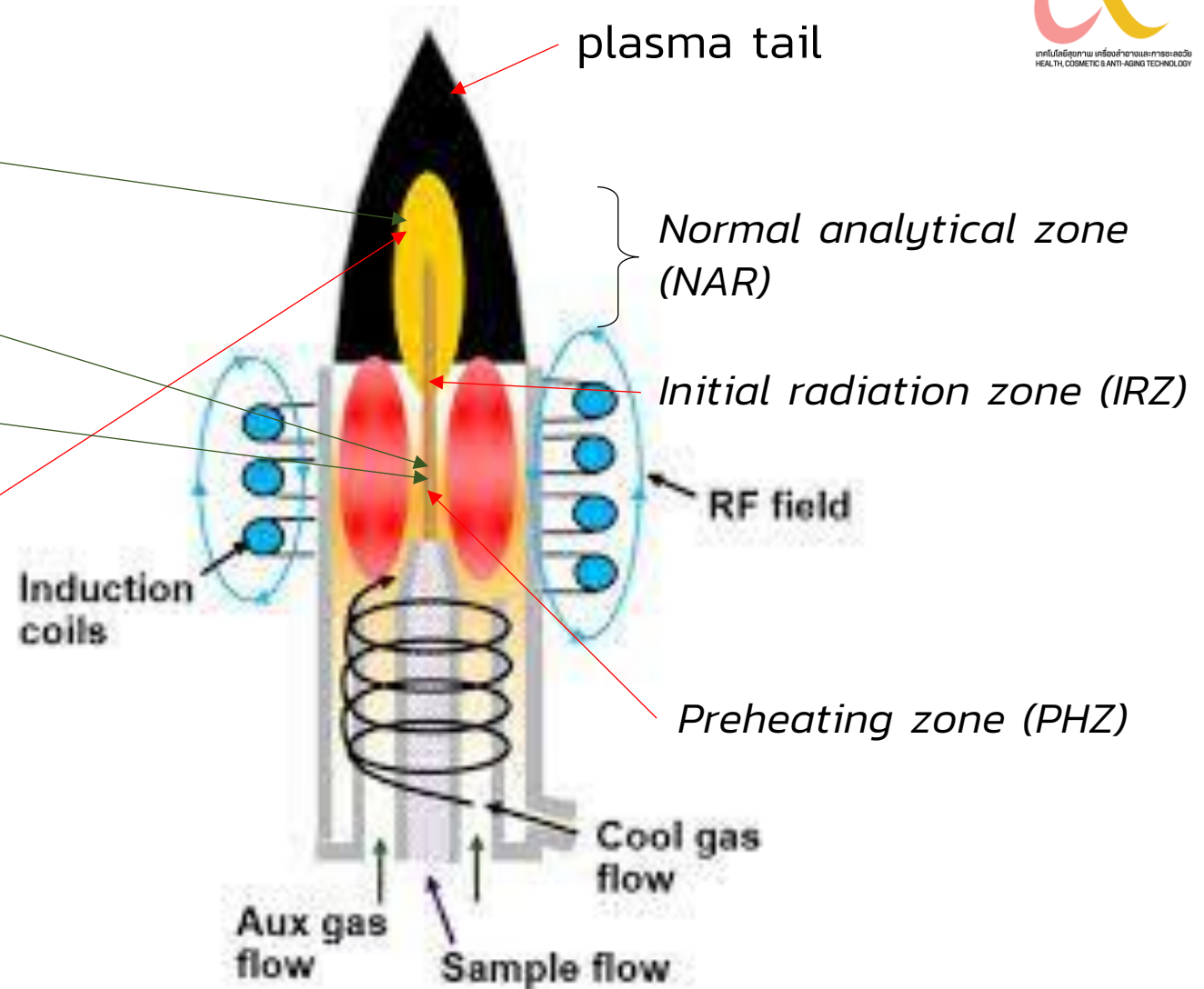
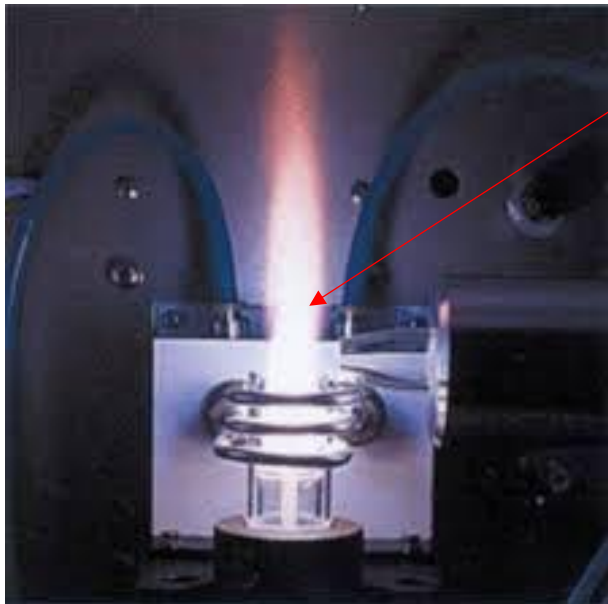
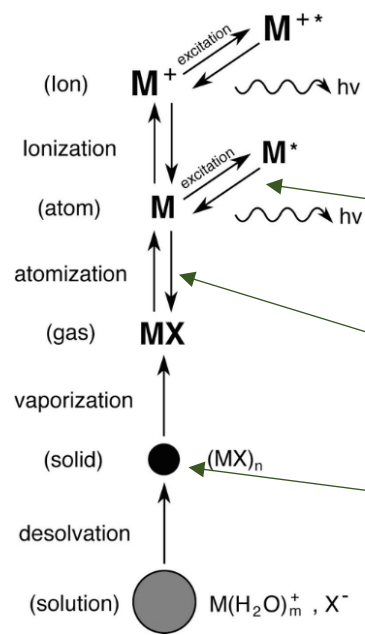
Plasma generation system

พลาสมา ทำหน้าที่แยกตัวทำละลายออกจากละอองตัวอย่าง (desolvation)

เมื่อละอองตัวอย่าง (aerosol) ผ่านการแยกตัวจะเกิดการสลายตัวเป็นอิสระในรูปแก๊สด้วยกระบวนการ vaporization

- **Preheating zone (PHZ)** โมเลกุลจะเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมด้วยกระบวนการ atomization
- **Initial radiation zone (IRZ)** ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 8,000 K อะตอมถูกกระทำให้อยู่ในสถานะกระตุ้น จะปล่อยพลังงานแสงที่มีความเข้มเฉพาะตัวออกมา
- **Normal analytical zone (NAR)** ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 6,800 K จะเป็นโซนที่ใช้ในการวัด emission line ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์



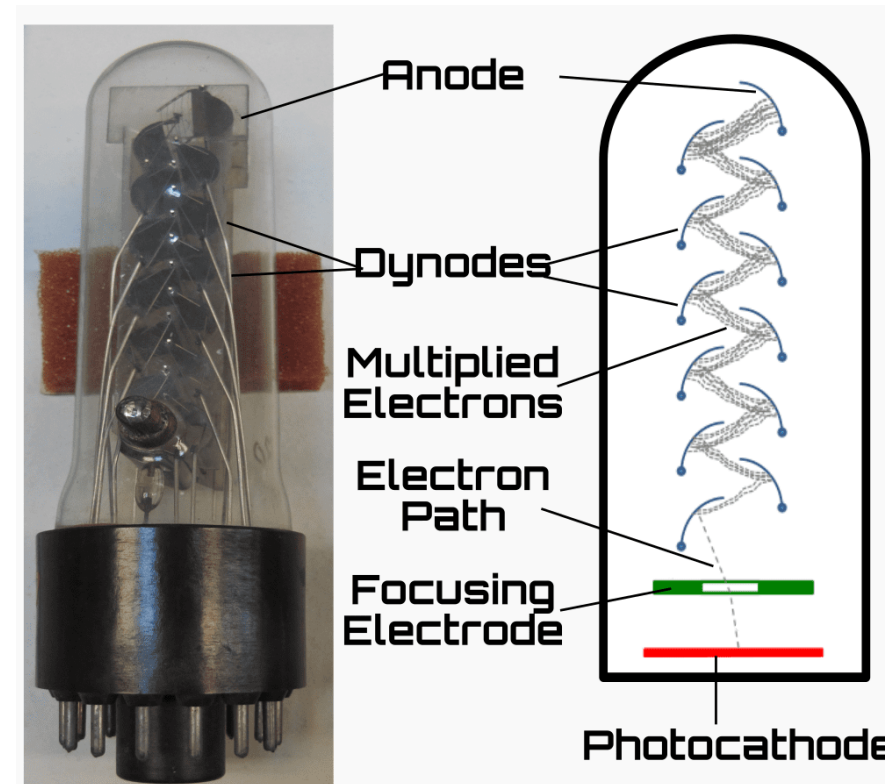


Detector

ระบบตรวจวัดเป็นระบบแยกและลำเลียงแสงที่เปล่งออกมาเข้าสู่ตัวตรวจวัด โดยมีส่วนประกอบหลักคือ grating, photomultiplier tube และ array detector

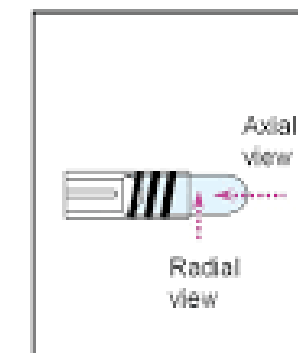
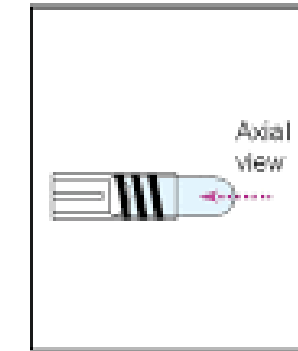
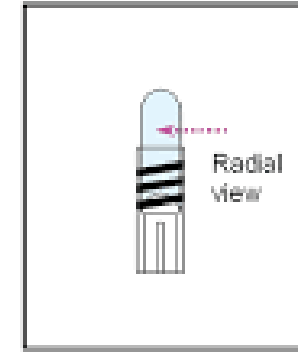
รูปแบบการการวัดการเปล่งแสงมี 3 รูปแบบ คือ

- radial view
- axial view
- dual view



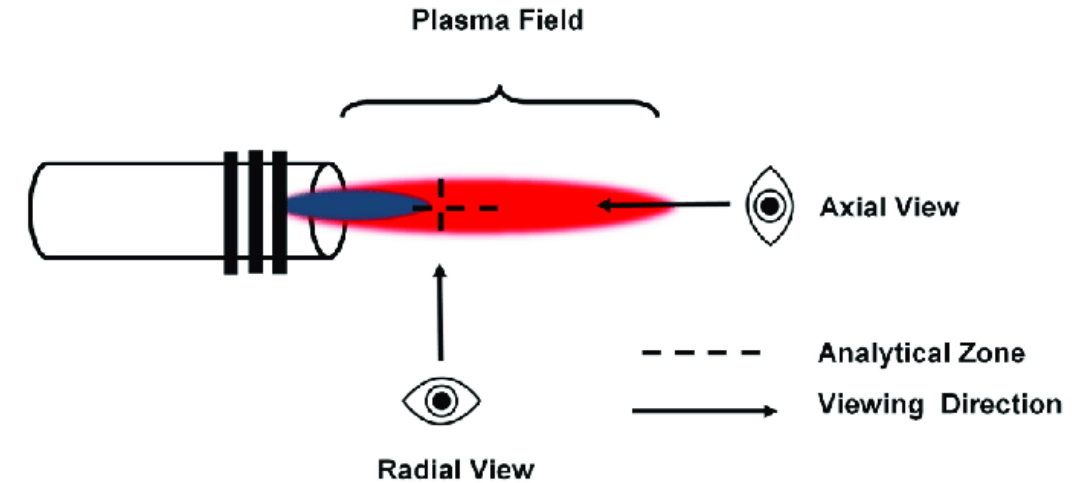
Detector

- การวัดแบบ **radial view** เป็นการวัดแสงที่เปล่งออกมาบริเวณด้านข้างของพลาสมา
- การวัดแบบ **axial view** เป็นการวัดแสงที่เปล่งออกมาบริเวณปลายพลาสมา
- การวัดแบบ **dual view** เป็นการวัดที่มีการเก็บข้อมูลทั้งแบบ radial view และ axial view

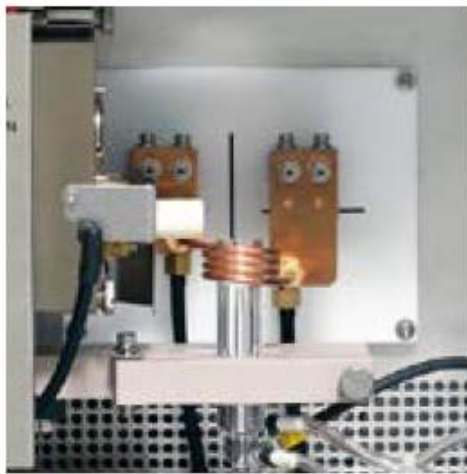


Detector

- การวัดแบบ radial view จะมี sensitivity น้อยกว่าการวัดแบบ axial view เพราะ path length สั้นกว่า
- การวัดแบบ radial view มีข้อดี คือ มีค่า linearity ที่ดี และมี noise ต่ำกว่าการวัดแบบ axial view
- ค่าช่วง LOD ของ radial view จะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 100 ppb
- ค่าช่วง LOD ของ axial view จะอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 10 ppb



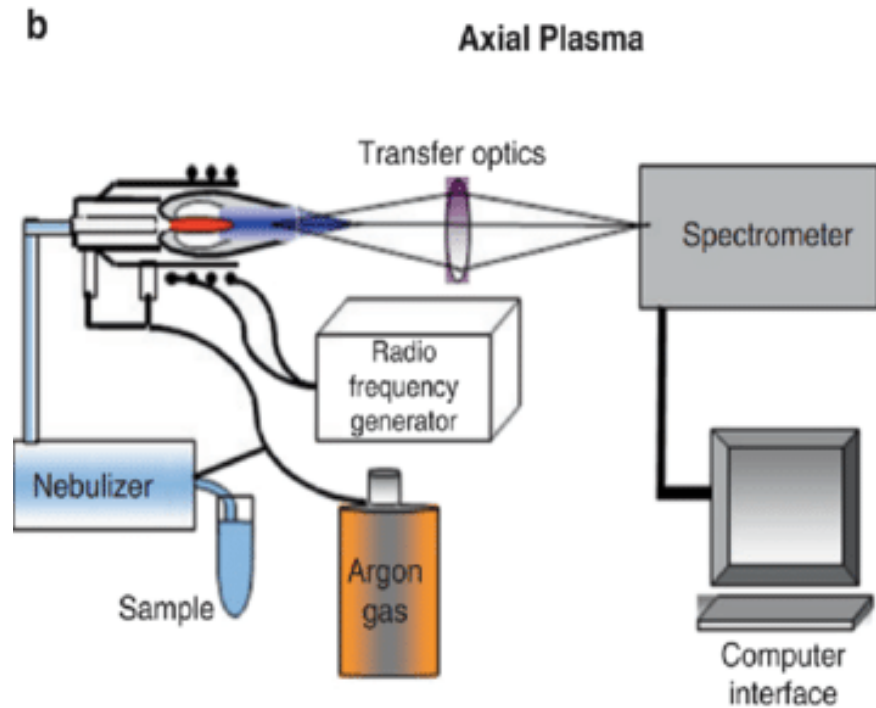
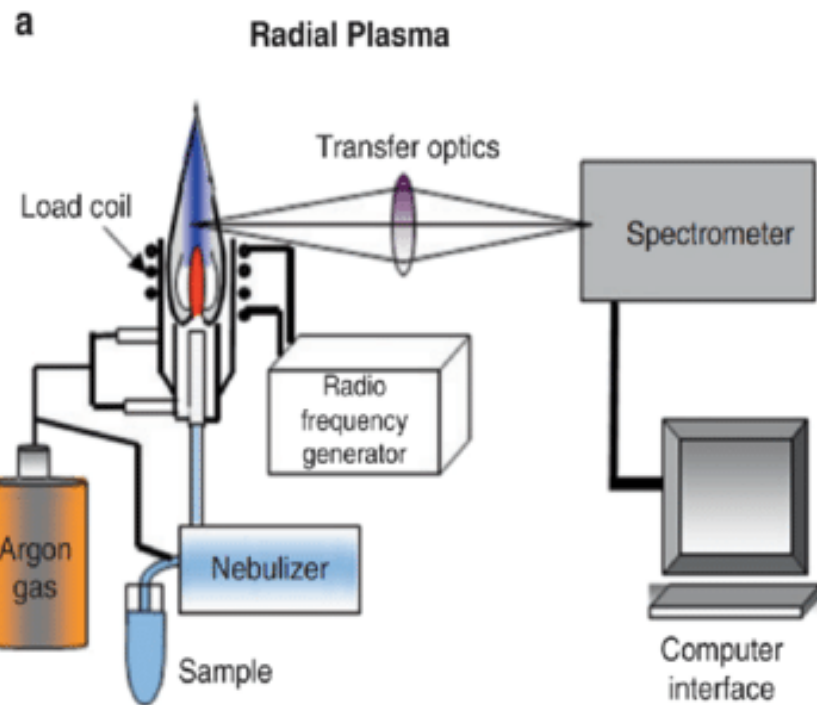
- การวัดแบบ radial view จะสามารถวัดตัวอย่างที่มีธาตุเจือปนในความเข้มข้นสูงโดยใช้การเจือจางสำหรับเตรียมตัวอย่างน้อยกว่าการวัดแบบ axial view
- การวัดแบบ axial view ก็จะครอบคลุมการวัดความเข้มข้นของธาตุเจือปนในตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่ำกว่าการวัดแบบ radial view



Radial view only



Axial & Radial view



การทำปริมาณวิเคราะห์

การทำปริมาณวิเคราะห์และการตรวจสอบความใช้ได้
เช่นเดียวกับเทคนิค AAS



ดูเนื้อหา
การทำปริมาณวิเคราะห์และการตรวจสอบความใช้ได้

ลักษณะเฉพาะของเทคนิค ICP-OES

ธาตุส่วนมากจากธาตุทั้งหมดในตารางธาตุจะมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ (Detection Limit, LOD) โดยใช้เทคนิค ICP-OES ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ดังนี้

- ระดับความเข้มข้น 0.1 ppb (ng/mL) เช่น Cd, Fe, Mn, Be, Mg, Ca, Sr, Ba และ Sc
- ระดับความเข้มข้น 0.1 – 1 ppb (ng/mL) เช่น Al, B, Li, Na, K, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu และ Zn เป็นต้น
- ระดับความเข้มข้น 1 –10 ppb (ng/mL) เช่น Si, P, S, Se, Sn, และ Sb เป็นต้น

Elements Measureable by ICP-OES

Elements Measurable by ICP-OES																		helium 2 He 4.0026											
hydrogen 1 H 1.0079																													
Detection Limit Ranges																													
		< 0.1 ppb (µg/L)										boron 5 B 10.811		carbon 6 C 12.011		nitrogen 7 N 14.007		oxygen 8 O 15.999		fluorine 9 F 18.998		neon 10 Ne 20.180							
		0.1 - 1 ppb (µg/L)										aluminum 13 Al 26.982		silicon 14 Si 28.086		phosphorus 15 P 30.974		sulfur 16 S 32.065		chlorine 17 Cl 35.453		argon 18 Ar 39.948							
		1 - 10 ppb (µg/L)										gallium 31 Ga 69.723		germanium 32 Ge 72.64		arsenic 33 As 74.922		selenium 34 Se 78.96		bromine 35 Br 79.904		krypton 36 Kr 83.798							
lithium 3 Li 6.941		beryllium 4 Be 9.0122				potassium 19 K 39.098		calcium 20 Ca 40.078		scandium 21 Sc 44.956		titanium 22 Ti 47.867		vanadium 23 V 50.942		chromium 24 Cr 51.996		manganese 25 Mn 54.938		iron 26 Fe 55.845		cobalt 27 Co 58.933		nickel 28 Ni 58.693		copper 29 Cu 63.546		zinc 30 Zn 65.38	
sodium 11 Na 22.990		magnesium 12 Mg 24.305				rubidium 37 Rb 85.468		strontium 38 Sr 87.62		yttrium 39 Y 88.906		zirconium 40 Zr 91.224		niobium 41 Nb 92.906		molybdenum 42 Mo 95.96		technetium 43 Tc [98]		ruthenium 44 Ru 101.07		rhodium 45 Rh 102.91		palladium 46 Pd 106.42		silver 47 Ag 107.87		cadmium 48 Cd 112.41	
cesium 55 Cs 132.91		barium 56 Ba 137.33				francium 87 Fr [223]		radium 88 Ra [226]				hafnium 72 Hf 178.49		tantalum 73 Ta 180.95		tungsten 74 W 183.84		rhenium 75 Re 186.21		osmium 76 Os 190.23		iridium 77 Ir 192.22		platinum 78 Pt 195.08		gold 79 Au 196.97		mercury 80 Hg 200.59	
												thallium 81 Tl 204.38		lead 82 Pb 207.2		bismuth 83 Bi 208.98		polonium 84 Po [209]		astatine 85 At [210]		radon 86 Rn [222]							
												rutherfordium 104 Rf [261]		dubnium 105 Db [262]		seaborgium 106 Sg [266]		bohrium 107 Bh [264]		hassium 108 Hs [277]		meitnerium 109 Mt [268]		darmstadtium 110 Ds [271]		roentgenium 111 Rg [272]			

Detection Limit Ranges

< 0.1 ppb (µg/L)

0.1 - 1 ppb (µg/L)

1 - 10 ppb (µg/L)

lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.93	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.93	erbium 68 Er 167.26	thulium 69 Tm 168.93	ytterbium 70 Yb 173.05	lutetium 71 Lu 174.97
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]	lawrencium 103 Lr [262]



All concentration values are given in ng/mL = ppb

From Parsons, M. L. et. al App. Spectrosc. 1983, 37, 411–418.

F-AA = Flame Atomic Absorption

F-AE = Flame Atomic Emission

GF-AA = Graphite Furnace (electrothermal) Atomic Absorption

ICP-OES = Inductively Coupled Plasma, Optical Emission

ST2092312 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ

TABLE 9-3 Detection Limits (ng/mL)^a
for Selected Elements

Element	AAS Flame	AAS Electro-thermal	AES Flame	AES ICP	AFS Flame
Al	30	0.1	5	0.2	5
As	200	0.5	—	2	15
Ca	1	0.25	0.1	0.0001	0.4
Cd	1	0.01	2000	0.07	0.1
Cr	4	0.03	5	0.08	0.6
Cu	2	0.05	10	0.04	0.2
Fe	6	0.25	50	0.09	0.3
Hg	500	5	—	—	5
Mg	0.2	0.002	5	0.003	0.3
Mn	2	0.01	—	0.01	1
Mo	5	0.5	100	0.2	8
Na	0.2	0.02	0.1	0.1	0.3
Ni	3	0.5	600	0.2	0.4
Pb	8	0.1	200	1	5
Sn	15	5	300	—	200
V	25	1	200	0.06	25
Zn	1	0.005	50000	0.1	0.1

Table 5 LOD ($\mu\text{g L}^{-1}$) observed for ICP/OES with different nebulizers and different viewing modes^(1,3)

Element	HGN ⁽³⁾	USN ⁽³⁾	Ratio (HGN/USN)	Radial view ⁽¹⁾	Axial view ⁽³⁾
Ag	6.1	0.71	9	1	0.6
Al	10.5	3.85	3	3	1.9
As	12.8	2.05	6	20	3.8
B	7.4	NA	NA	1	NA
Ba	0.28	0.11	3	0.1	0.12
Be	0.11	0.04	3	0.1	0.09
Ca	14.5	1.38	11	0.02	NA
Cd	1.3	0.59	2	1	0.2
Co	1.7	0.56	3	1	0.8
Cr	1.6	0.49	3	2	0.4
Cu	1.8	0.50	4	0.4	0.7
Fe	2.5	0.38	7	2	0.5
K	152	17.39	8	20	5
Li	4	0.40	10	0.3	NA
Mg	24.8	6.65	4	0.1	NA
Mn	0.61	0.09	7	0.4	0.07
Mo	2.2	0.58	4	3	0.8
Na	11.7	2.23	5	3	2.2
Ni	3.9	1.66	2	5	1.6
P	34.2	9.44	4	30	NA
Pb	10.7	1.60	7	10	1.6
Sb	15.6	2.65	6	10	2.6
Se	23	2.03	11	50	3.8
Si	14.3	3.48	4	4	NA
Sn	8.6	0.90	10	30	NA
Sr	0.3	0.05	6	0.06	NA
Ti	0.65	0.17	4	0.5	NA
Tl	14.2	2.05	7	30	4.8
V	2.8	0.41	7	0.5	0.4
Zn	1.5	0.40	4	1	0.4

Table 6 LODs (pg) for ETV/ICP/OES compared with those of GFAAS^(2,31,32)

Elements	ETV/ICP/OES	GFAAS
Ag	1	0.5
Al	0.5	4
As	60	20
Au	10	10
Ba	0.3	10
Be	1	1
Bi	200	10
B	4	NA
Ca	150	5
Cd	1	0.3
Co	12	1
Cu	2	1
Er	34	300
Eu	12	10
Fe	10	2
Ga	10	10
Ge	10	20
Hg	4	100
In	20	5
K	1200	2
Li	2	5
Lu	54	4000
Mg	0.1	0.4
Mn	0.3	1
Mo	7	4
Na	400	5
Ni	27	10
P	100	3000
Pb	4	5
Pt	25	50
Rb	2800	5
Re	100	NA
Ru	95	40
Sb	100	20
Sc	17	40
Se	450	20
Si	100	40
Sn	20	20
Sr	5	2
Te	50	10
Ti	6	100
Tl	300	10
U	3	2.4 μg
V	6	20
W	160	NA
Y	25	NA
Yb	18	4
Zn	0.6	1

NA, not available.

เส้นเปล่งออก (emission line) ของธาตุต่าง ๆ

Element	λ /nm	Atom/Ion	Element	λ /nm	Atom/Ion	Element	λ /nm	Atom/Ion	Element	λ /nm	Atom/Ion
Al(1)	167.078	II	Cu(2)	219.958	I	Mg(2)	279.079	II	Sb(2)	206.833	I
Al(2)	176.641	I	Cu(3)	324.754	I	Mg(3)	279.553	II	Sb(3)	252.852	I
Al(3)	309.271	I	Dy ^a (1)	340.780	II	Mg(4)	285.213	I	Sb(4)	217.581	I
Al(4)	396.152	I	Dy ^a (2)	353.170	II	Mn(1)	257.610	II	Sc ^a (1)	298.895	I
B(1)	182.641	I	Dy ^a (3)	353.602	II	Mn(2)	259.373	II	Sc ^a (2)	335.373	I
B(2)	208.959	I	Dy ^a (4)	364.540	II	Mn(3)	403.076	I	Sc ^a (3)	356.770	II
B(3)	249.773	I	Dy ^a (5)	394.468	II	Na(1)	330.298	I	Sc ^a (4)	361.384	II
Ba(1)	233.527	II	Fe(1)	239.562	II	Na(2)	588.995	I	Si(1)	152.672	II
Ba(2)	455.404	II	Fe(2)	241.331	II	Na(3)	589.592	I	Si(2)	212.412	I
Be ^a (1)	234.861	I	Fe(3)	259.941	II	Ni(1)	174.828	II	Si(3)	288.158	I
Be ^a (2)	313.042	II	Fe(4)	261.187	II	Ni(2)	221.648	II	Sr(1)	407.771	II
Ca(1)	183.801	I	Fe(5)	373.486	I	Ni(3)	341.476	I	Sr(2)	460.733	I
Ca(2)	315.887	II	Gd ^a (1)	335.047	II	P(1)	138.147	I	Ti(1)	323.452	II
Ca(3)	396.847	II	Gd ^a (2)	335.862	II	P(2)	169.403	I	Ti(2)	334.941	II
Ca(4)	422.673	II	Gd ^a (3)	336.223	II	P(3)	177.495	I	V(1)	292.402	II
Cl(1)	134.724	I	Gd ^a (4)	342.247	II	P(4)	213.618	I	V(2)	292.464	II
Cl(2)	136.345	I	In ^a (1)	230.606	II	P(5)	213.618	I	V(3)	309.311	II
Cl(3)	139.653	I	In ^a (2)	303.936	I	Pb(1)	168.215	II	Y ^a (1)	224.306	II
Co(1)	228.616	II	In ^a (3)	451.131	I	Pb(2)	261.418	I	Y ^a (2)	371.030	II
Co(2)	230.786	II	K(1)	404.721	I	Pb(3)	283.305	I	Y ^a (3)	377.433	II
Co(3)	238.892	II	K(2)	766.491	I	Pb(4)	405.778	I	Y ^a (4)	442.259	II
Cr(1)	205.552	II	La ^a (1)	333.749	II	S(1)	142.503	I	Zn(1)	202.548	II
Cr(2)	267.716	II	La ^a (2)	379.478	II	S(2)	147.399	I	Zn(2)	206.191	II
Cr(3)	284.984	II	La ^a (3)	408.672	II	S(3)	180.731	I	Zn(3)	334.502	I
Cu(1)	219.226	II	Mg(1)	202.582	I	Sb(1)	187.115	I			

^a Internal standard; I Atom emission line; II Ion emission line.

Plasma Source Technology	Description	Advantages	Limitations
Inductively Coupled Plasma (ICP)	Uses an electromagnetic field to generate plasma in an argon gas flow.	High stability, efficient ionization, suitable for multi-element analysis.	High argon consumption, requires robust cooling systems.
Direct Current Plasma (DCP)	Utilizes a direct current to sustain plasma, typically with three electrodes.	Lower gas consumption, simpler design.	Less stable than ICP, limited sample matrix tolerance.
Microwave-Induced Plasma (MIP)	Generated by microwave energy in a small quartz tube, often with nitrogen or argon.	Portable systems, reduced operational costs.	Lower temperatures, less effective for high-matrix samples.
Capacitively Coupled Plasma (CCP)	Plasma maintained by a high-frequency electric field between two parallel electrodes.	Compact and energy-efficient design.	Limited adoption in commercial systems, lower robustness for complex matrices.

#กิจกรรม work@class

แบ่งกลุ่มทำกิจกรรม 3.2

มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่ม
ระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการ
ร่วมแสดงความคิดเห็น

ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา

- 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง
 - 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง
 - 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง
- โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย