



Mean Free path ของอิเล็กตรอนในก๊าซ H<sub>2</sub> , N<sub>2</sub>

Mean Free path of electron in H<sub>2</sub> , N<sub>2</sub>

ผู้จัดทำ

1. นายสนอง วีระไวทยะ 30.1287  
MR. SANONG VERAVAIIDHYA
2. นายสมชาติ วชิรลาภไพฑูรย์ 30.1288  
MR. SOMCHART VACHIRALAPHAITON
3. นายอุดมเวช บุญธรรมมา 30.1366  
MR. UDOMVED BOONTUMMA

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. นิพนธ์ สุขุม วศ.ด.

(..... นิพนธ์ สุขุม .....) (.....) (.....)

ADVISOR

Assoc. Prof. Dr. Niphon Sukhum Ph.D. (Eng.)

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2533

028826

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	1
Abstract.....	2
บทที่ 1 บทนำ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีโดยทั่วไป.....	5
2.1 Distribution of free path.....	5
2.2 Mean free path ของโมเลกุลและอิเล็กตรอน.....	7
2.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนใน field-free space.....	12
2.4 การปล่อยอิเล็กตรอนของ filament.....	15
2.4.1 Photo-Electric Emission.....	15
2.4.2 Electron Emission by Positive Ion & Excited Atom Impact.....	16
2.4.3 Thermionic Emission.....	16
2.4.4 Field Emission.....	17
2.5 การปล่อยอิเล็กตรอนแบบ Thermionic Emission.....	18
2.6 การ Ionization.....	21
2.7 กลไกการเกิดเบรคดาวน (Breakdown mechanisms).....	24
2.7.1 การเบรคดาวนของทาวเซนต์.....	24
2.7.1.1 กระบวนการขึ้นต้น ( $\alpha$ -Process or Primary process).....	25
2.7.1.2 กระบวนการขึ้นสองแบบ $\gamma$ ( $\gamma$ -process).....	26
2.7.2 การเบรคดาวนแบบสตรีมเมอร์.....	28
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง mean free path กับกระบวนการ $\alpha$ ..	29

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	34
3.1 ส่วนแหล่งผลิตอิเล็กทรอนิกส์.....	35
3.1.1 ไส้ Filament.....	35
3.1.2 แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงสำหรับจ่ายไส้ Filament..	36
3.2 ส่วนเพิ่มพลังงานให้อิเล็กทรอนิกส์ในการหาค่ากระแส.....	36
3.2.1 แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรง 0-100 Volt.....	37
3.2.2 ส่วน Collector.....	38
3.2.2.1 Collector A.....	38
3.2.2.2 Collector B.....	38
3.2.2.3 Collector C.....	39
3.2.3 เครื่องมีวัต.....	40
3.3 ส่วนอุปกรณ์ควบคุมความดัน.....	40
3.4 วิธีการทดลอง.....	41
บทที่ 4 อุปสรรคในการทำการทดลอง.....	43
4.1 ส่วน Container.....	43
4.2 ส่วน ไส้ Filament.....	44
4.3 ส่วน Supply ที่จ่ายไส้ Filament และให้พลังงานแก่ อิเล็กทรอนิกส์.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	49
กติกกรมประกาศ.....	50
ภาคผนวก.....	51

หัวข้อปริญญานิพนธ์ : Mean Free path ของอิเล็กตรอนในก๊าซ  $H_2$ ,  $N_2$   
 โดย : นาย สนอง วีระไวทยะ 30.1287  
 : นาย สมชาติ วชิรลาภไพฑูรย์ 30.1288  
 : นาย อุดมเวช บุญธรรมมา 30.1366  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. นิพนธ์ สุขุม  
 ระดับการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตทางวิศวกรรมไฟฟ้า  
 ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า  
 ปีการศึกษา : 2533

### บทคัดย่อ

การศึกษาทางด้าน mean free path ของก๊าซชนิดต่าง ๆ ทำให้รู้ถึงความหนาแน่นของโมเลกุล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนการเกิดไอออนในเซชันของทาว์นเซนต์ เนื่องจากว่าค่า mean free path มีผลต่อกระบวนการ  $\alpha$  (สัมประสิทธิ์การไอออนในเซชันขั้นที่หนึ่งของทาว์นเซนต์)

ในการทำ project เรื่อง mean free path นี้ ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีทางด้าน mean free path และความสัมพันธ์ระหว่างค่า mean free path กับกระบวนการ  $\alpha$  ของทาว์นเซนต์ ส่วนที่สองนั้นเป็นการออกแบบอุปกรณ์และทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า mean free path ของก๊าซ  $H_2$ ,  $N_2$  กับค่าโวลเตจ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ RAMSAUER

Thesis Title : MEAN FREE PATH OF ELECTRON IN H<sub>2</sub> , N<sub>2</sub>  
 Name : Mr. Sanong Veravaidhya  
 : Mr. Somchart Vachiralaphaitoon  
 : Mr. Udomved Boontumma  
 Thesis advisor : Assoc. Prof. Dr. Niphon Sukhum  
 Level of study : Bachelor of Engineering in Electrical  
 Engineering  
 Department : Electrical Engineering  
 Academic year : 1990

#### Abstract

The study of mean free path of electron in some gases make us know the density of molecules which can be used to estimate Townsend's ionisation coefficient because mean free path has an effect on  $\alpha$  process (Townsend's first ionisation coefficient)

The project about mean free path consists of 2 parts. The first is the study of the theory of mean free path and the relation between mean free path and Townsend's  $\alpha$  process. The second is the design of the apparatus, and then performs an experiment to find the relation between mean free path of electron in H<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> with voltage, and then compare the results with those of Ramsauer.

## บทที่ 1

### บทนำ

ก๊าซประกอบด้วยโมเลกุลหรืออะตอมซึ่งอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ด้วยพลังงานความร้อนอย่างไม่เป็นระเบียบ จึงเกิดการชนกันเองได้ ช่วงระยะห่างระหว่างที่อนุภาคเคลื่อนที่ชนครั้งหนึ่งกับครั้งที่สองในขณะที่มีความเร็ว เรียกว่า free path และค่าเฉลี่ยของระยะห่างการชนกันของอนุภาคสองครั้งใด ๆ เราเรียกว่า mean free path

ค่า mean free path ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ  $T$  และความดัน  $P$  เนื่องจากค่า mean free path แปรผกผันกับความหนาแน่นของโมเลกุล  $N$  และความหนาแน่นของโมเลกุล  $N$  แปรผันตามความดัน  $P$  เนื่องจากที่ค่า mean free path มีผลต่อกระบวนการ  $\propto$  (สัมประสิทธิ์การชนไอออนในเซชันที่หนึ่งของทาวน์เซนต์) ซึ่งนำไปใช้ในการอธิบายสัมประสิทธิ์การเกิดไอออนในเซชันของทาวน์เซนต์

สัมประสิทธิ์การเกิดไอออนในเซชันของทาวน์เซนต์เป็นจำนวนการชนแล้วเกิดไอออนต่อหนึ่งหน่วยระยะที่อนุภาคประจุเคลื่อนที่ โดยอนุภาคประจุวิ่งชนโมเลกุลในแก๊สแบ่งเป็นสัมประสิทธิ์  $\alpha, \beta$  โดยที่  $\alpha$  เป็นสัมประสิทธิ์การชนแตกตัวด้วยอิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุล ส่วน  $\beta$  เป็นสัมประสิทธิ์การชนของไอออน แต่เนื่องจากไอออนมีมวลมาก จะเน้นการได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าจึงน้อย และการถ่ายทอดพลังงานเมื่อชนก็น้อยด้วย นั่นคือ  $\alpha \ll \beta$  จะเน้นการชนแตกตัวในก๊าซจึงมักเนื่องมาจากกระบวนการ  $\alpha$

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รวบรวมเนื้อหาการทดลองและข้อสรุปจากการทดลองหาค่า mean free path โดยแบ่งเนื้อหาทั่ว ๆ ไป ดังนี้คือ ทฤษฎีโดยการทั่วไป, อุปกรณ์และวิธีการทดลอง, ผลการทดลองและผลสรุป

ซึ่งในการทดลองนั้น จะเป็นการทดลองที่ความดัน  $P$  เท่ากับ  $10^{-3}$  Torr ก๊าซที่ทำการทดลองคือ ก๊าซ  $H_2$  และก๊าซ  $N_2$  และใช้ filament ที่ใช้เป็นไส้ทั้งสแตนเลส

สุดท้ายนี้หวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการค้นคว้าต่อไป ถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใด ก็ขออภัยมา ณ. ที่นี้ด้วย.



## บทที่ 2

### ทฤษฎีโดยทั่วไป

free path ของอนุภาคใด ๆ คือ ระยะทางระหว่างการชนกันสองครั้ง  
ใด ๆ ของอนุภาคโดยที่ขนาด และทิศทางในการชนกันของอนุภาคเป็นไปตาม  
ยถากรรม

mean free path ( $L$ ) คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่างการชนสองครั้ง  
ใด ๆ ของอนุภาคโดยที่ขนาดและทิศทางในการชนกันของอนุภาค เป็นไปตาม  
ยถากรรม ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยที่ได้จาก free path ของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปนั่นเอง

#### 2.1 Distribution of free path (การแจกแจงขนาดของ free path)

การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เป็นไปตามยถากรรม ทำให้เกิดการชนกัน  
ระหว่างอนุภาคเป็นผลทำให้มีค่า free path ต่าง ๆ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของ  
โมเลกุลก๊าซที่เป็นไปตามยถากรรม ก็ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการแจกแจงขนาดของ  
free path แบบโมเลกุล ดังนี้ คือ

ถ้า 1 โมเลกุล ทำให้เกิดการชนกันเฉลี่ย  $n_1$  ครั้ง/วินาที

และมีความเร็วเฉลี่ย  $v$  cm/วินาที

เฉลี่ยการชนกันในระยะทาง 1 cm จะเป็น  $a = n_1/v$  ครั้ง/cm

และจำนวนการชนกันจะเคลื่อนที่เป็นระยะทาง  $dx$

กำหนดให้โมเลกุลมี  $N$  จำนวนในการออกจากช่อง slit ในครั้งแรก

ให้  $n$  เป็นจำนวนโมเลกุลที่เคลื่อนที่ระยะ  $X$  โดยปราศจากการชนกัน  
จำนวนโมเลกุลเหล่านี้ เกิดการชนกัน ในช่อง  $X$  กับ  $(x+dx)$  ซึ่งเป็นสัดส่วน  
โดยตรงกับจำนวนที่เข้าไปในช่วงนี้ เราจะได้จำนวนโมเลกุลในช่วงนี้ คือ

$$dn = -andx$$

จะได้  $n = Ae^{-ax}$

ที่  $x = 0$

เราจะได้  $n = N$

เพราะฉะนั้น  $n = Ne^{-ax}$

โดยที่  $a$  เป็นค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับ mean free path

ให้  $dN$  เป็นจำนวนโมเลกุลที่มี free path อยู่ระหว่าง  $x$  และ  $x+dx$

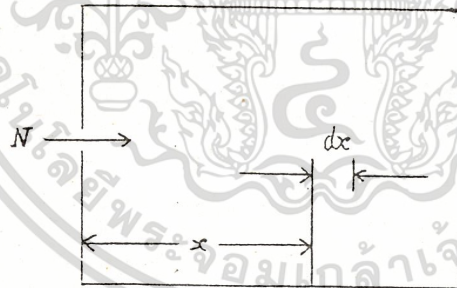
ดังนั้น mean free path ( $L$ ) =  $\int_0^{\infty} \frac{x dN}{N}$

เมื่อ  $dN = |dn| = a n dx = a N e^{-ax} dx$

$$L = \int_0^{\infty} \frac{a N x e^{-ax} dx}{N} = \frac{1}{a}$$

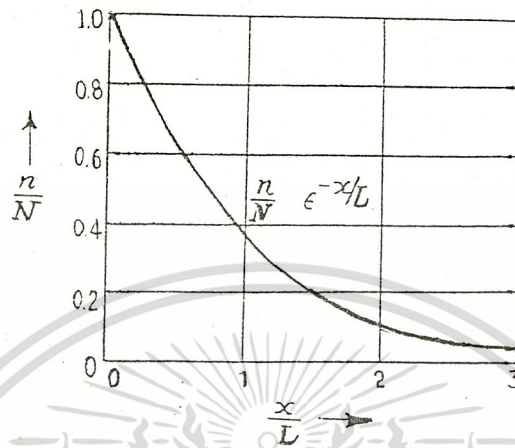
ดังนั้น  $n = N e^{-x/L}$

ซึ่งสมการนี้ก็คือ สมการ distribution of free path



รูปที่ 2.1 แสดงการหาค่า mean free path

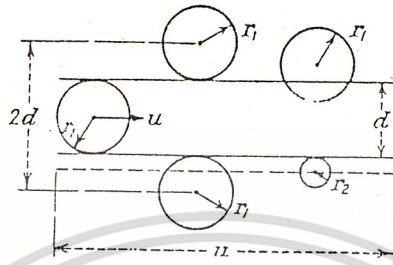
จำนวนอนุภาคที่มี free path มากกว่า ความยาวที่กำหนดให้ ( $x$ ) จะลดลงแบบ exponential ดังรูป (2.2) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $n/N$  และ  $x/L$



รูปที่ 2.2 Distribution of free path

## 2.2 mean free path ของโมเลกุลและอิเล็กตรอน

การกระจายความเร็วของโมเลกุลเป็นที่น่าสนใจ และมีความสำคัญที่จะนำมาพิจารณา "ระยะทางเฉลี่ยที่โมเลกุลเคลื่อนที่ระหว่างที่มีการชนกัน" เป็นตัวกำหนดค่า mean free path ของอนุภาค การศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับ mean free path เกิดขึ้นหลังจากที่เกิดปัญหาในการกระจายอย่างช้า ๆ ของก๊าซที่มีความเร็วสูงในการศึกษานั้น เราสมมติว่า โมเลกุลทุกโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $u$  ยกเว้นหนึ่งโมเลกุลที่หยุดนิ่ง ใน 1 วินาที โมเลกุลจะเคลื่อนที่ไปได้ ปริมาตร เท่ากับพื้นที่ตัดขวางของโมเลกุลคูณความเร็วของโมเลกุล หรือ โมเลกุลที่อยู่ภายในปริมาตรนี้จะถูกชนโดยโมเลกุลที่เคลื่อนที่ ถ้าทุกโมเลกุลมีขนาดเท่ากัน โมเลกุลที่จะถูกชนจะต้องมีจุดศูนย์กลางอยู่ในจุดที่มีระยะทางน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $d$ ) ของโมเลกุลจากเส้นที่ลากจากการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางของโมเลกุลที่เคลื่อนที่



รูปที่ 2.3 แสดงพื้นที่ที่จะเกิดการชนกันของโมเลกุล

ดังนั้น พ.ท. ที่จะมี การชนกัน  $= \pi d^2$

และ ปริมาตรของการชนกัน  $= u \pi d^2$

ถ้า ความเข้มข้นของจำนวนโมเลกุล  $= n$  จำนวน/cm<sup>3</sup>

ดังนั้น จำนวนของการชนกัน ใน 1 วินาที  $= n u \pi d^2$

ค่า mean free path (L) จะเป็นระยะทางเฉลี่ยใน 1 วินาที

หารด้วยจำนวนของการชนกัน ใน 1 วินาที

$$L = \frac{u}{n u \pi d^2} = \frac{1}{n \pi d^2}$$

จากค่าที่ได้จะเป็นเพียงค่าโดยประมาณสำหรับโมเลกุลเดี่ยวที่เคลื่อนที่ แต่ในการทำให้ถูกต้อง ต้องใช้จำนวนโมเลกุลทั้งหมดที่เคลื่อนที่อย่างอิสระ การคำนวณค่า mean free path แบบการกระจาย MAXWELL ของความเร็วจะมาเกี่ยวข้องกับด้วย



ถ้าการกระจายอย่างอิสระของความเร็วถูกนำมาพิจารณา และก๊าซจะประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีมวล  $m_1$  และ  $m_2$  รัศมี  $r_1$  และ  $r_2$  และมีความเร็ว  $c_1$  และ  $c_2$  ดังนั้น เราจะได้ค่า mean free path ของอนุภาคชนิดที่ 1 ( $L_1$ ) ที่กำลังวิ่งชนอนุภาคชนิดที่ 2 แต่ไม่มีการชนกันกับอนุภาคชนิดเดียวกัน เราจะได้ที่

$$L_1 = \frac{1}{\pi n_2 r_2^2 [1 + (c_1^2/c_2^2)]^{1/2}}$$

เมื่อ  $r_{12} = r_1 + r_2$

$n_2 =$  จำนวนของอนุภาคที่ 2 ต่อ ลูกบาศก์ในเซนติเมตร

เมื่อ  $c_1 = c_2$  จะเป็นจริงสำหรับก๊าซที่อยู่ในภาวะสมดุลย์

ดังนั้น เราจะได้ที่

$$L_1 = \frac{1}{\sqrt{2} n_2 \pi r_{12}^2}$$

ผลสรุปของความเร็วที่เท่ากัน จะเป็นจริงสำหรับอิเล็กตรอนและอิเลคตรอนใน gas discharge

ในกรณีที่เรากำลังพิจารณาอนุภาคที่มีขนาดเป็นจุด  $r_1 = 0$  เป็น อิเลคตรอนโปรตอน ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์สูงผ่านก๊าซ พื้นที่ตัดทางของของการตัดขวางจะเป็นพื้นที่ตัดขวางของหนึ่งโมเลกุล ดังนั้น เราจะได้ที่อิเล็กตรอนมี m.f.p. ในก๊าซ เป็น 4 เท่าของ m.f.p. ของโมเลกุลก๊าซ

$$L_g = \frac{1}{\sqrt{2} n_2 \pi (2r_2)^2} = \frac{1}{4\sqrt{2} n_2 \pi r_2^2}$$

$$L_e = \frac{1}{\sqrt{2} n_2 \pi r_2^2}$$

028828

แต่อย่างไรก็ตามในสภาพปกติ อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในสนามไฟฟ้าจะมีความเร็วสูง เมื่อเทียบกับความเร็วของโมเลกุลก๊าซ ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้อาจจะพิจารณาให้อยู่ในสภาพหยุดนิ่ง ดังนั้น สมการที่ได้เกือบจะถูกต้อง ถ้าจะทำให้ถูกต้องต้องลดพื้นที่ในการ Interception จึงจะได้ความสัมพันธ์ใหม่ ดังนี้

$$\begin{aligned} L_e &= 4\sqrt{2} L_g \\ &= 5.64 L_g \end{aligned}$$

เมื่อ  $L_e$  คือ ค่า mean free path ของอิเล็กตรอนในก๊าซ

$L_g$  คือ ค่า mean free path ของโมเลกุลก๊าซ

เมื่อก๊าซได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น ความเร็วเฉลี่ยของอนุภาคก๊าซจะสูงขึ้น ถ้าอนุภาคพิจารณาในรูปจุดศูนย์กลางแรงแทนอนุภาคที่มีขนาดจำกัด จะทำให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น จุดศูนย์กลางของโมเลกุลที่ชนกันโดยเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีทางจลน์ ของก๊าซ เหมือนกับการลดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุล การลดระยะทางของโมเลกุลจะเข้าใกล้กับการเพิ่มอุณหภูมิที่ถูกจำกัดโดยการรวมแกนศูนย์กลางที่มีขนาดคงที่ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่เป็นของ Sutherland's formula คือ

$$d^2 = d_\infty^2 \left(1 + \frac{T'}{T}\right)$$

ความสัมพันธ์นี้จะเป็นผลในการกำหนดการเปลี่ยนแปลงของความหนืดในก๊าซ  $d_\infty$  แสดง แสดง เส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุล โดยค่าของ  $d$  สำหรับ  $T = \infty$  ในตาราง (2.1) ให้เป็นเครื่องหมาย  $d_\infty / 2$  และ ค่า  $T'$  คงที่ คือ  $d/2$  ภายใต้สภาพอุณหภูมิกปกติ ถึงแม้ว่าค่าของ  $d$  จะเปลี่ยนแปลงตามการกำหนดค่าโดยวิธีต่าง ๆ

Gas	$\frac{d}{\bar{v}} \times 10^3$ cm.*	Sutherland's constants*		$L \times 10^6$ cm.†	$C \times 10^{-4}$ cm./sec.†
		$\frac{d_{\infty}}{\bar{v}} \times 10^3$ cm.	$T'$ , deg. K.		
Air.....	1.87	.....	111.3	9.6	
A.....	1.82	1.43	169.9	10.0	4.13
Cl <sub>2</sub> .....	1.85	.....	199	4.57	3.07
CO.....	1.89	.....	100	9.27	4.93
CO <sub>2</sub> .....	2.31	.....	239.7	6.29	3.42
H <sub>2</sub> .....	1.36	1.21	72.2	18.3	18.34
He.....	1.10	.....	80.3	28.5	13.11
H <sub>2</sub> O.....	2.29	.....	550.0	7.22	7.08
Hg.....	1.80	.....	.....	3.72	
Kr.....	2.07	1.68	142	9.49	2.86
N <sub>2</sub> .....	1.97	1.60	110.6	9.44	4.93
Ne.....	1.17	.....	56	19.3	5.61
NO.....	.....	.....	195	9.06	4.76
N <sub>2</sub> O.....	.....	.....	260	6.1	3.92
NH <sub>3</sub> .....	.....	.....	.....	6.95	6.28
O <sub>2</sub> .....	1.81	1.48	127	9.95	4.61
SO <sub>2</sub> .....	.....	.....	.....	4.57	3.22

\* J. H. JEANS, "The Dynamical Theory of Gases," 4th ed. 1925

† L. B. LOEB, "Kinetic Theory of Gases," (N.T.P.)

### ตารางที่ 2.1 gas kinetic constants

แทนค่า  $d^2$  ด้วยค่า mean free path (L) จะได้ ความสัมพันธ์

ระหว่าง ค่า L ที่อุณหภูมิต่างกันสองค่า เมื่อ ความหนาแน่นเท่ากัน

$$L_1 = \left(1 + \frac{T'}{T_2}\right)$$

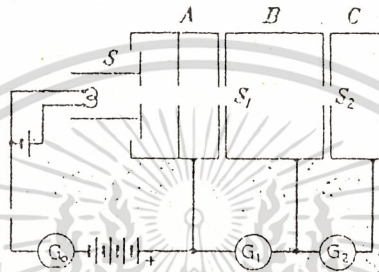
$$L_2 = \left(1 + \frac{T'}{T_1}\right)$$

Sutherland's formula จะได้ค่าผิดพลาดสำหรับก๊าซฮีเลียมที่อุณหภูมิต่ำ ๆ

ต่ำ ๆ

### 2.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนใน field-free space

การทดลองที่เราจะทำการหาค่า  $m.f.p$  ของอิเล็กตรอนในก๊าซนั้น เราจะทำอุปกรณ์ที่มีวงจรดังรูปนี้

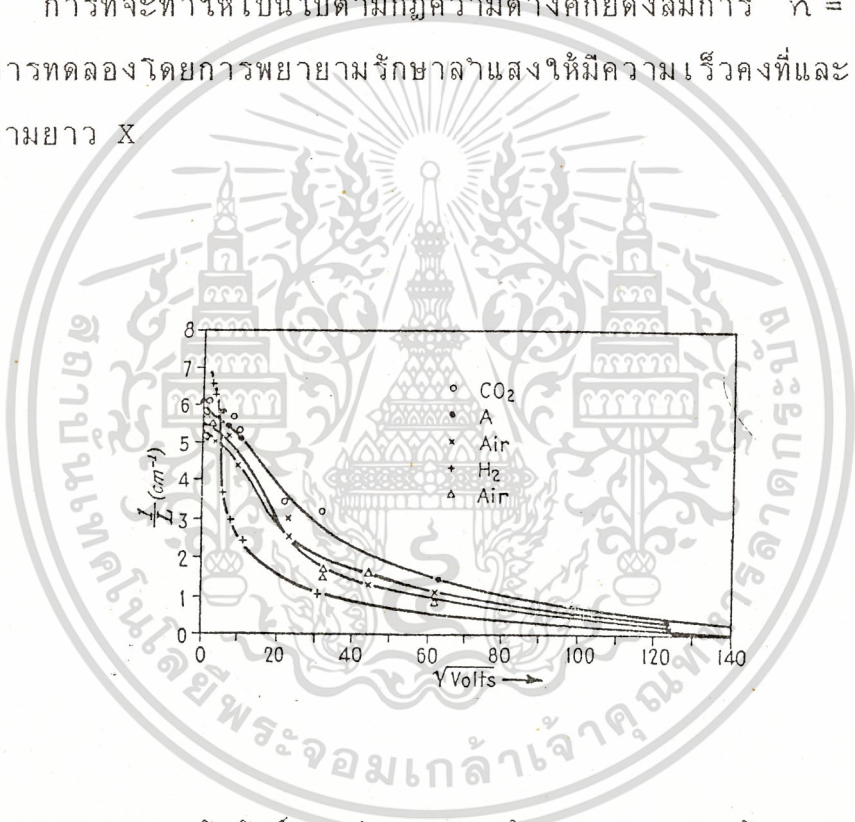


รูปที่ 2.4 วงจรการทดลองของค่า mean free path  
วงจรที่เขียนขึ้นมานี้เป็นวงจรที่นาย Ramsauer ซึ่งเป็นผู้ที่ทดลองหาค่า  $m.f.p.$  ได้สำเร็จได้เคยทำมาแล้ว ซึ่งมีหลักการทำงาน ดังนี้  
ลำแสงของอิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนหรืออะตอมจะถูกทำให้ผ่านช่องสลิตของ collector ต่าง ๆ โดยที่ช่องสลิตจะถูกทำให้แยกจากกันโดยที่เราต้องรู้ระยะทางระหว่างช่องสลิต ( $x$ ) เพื่อที่กระแสที่จัดได้ที่แต่ละ collector จะเป็นการวัดจำนวนอิเล็กตรอนที่สูญเสียไปจากลำแสงในช่องทางของแต่ละ collector ด้วยวิธีนี้อิเล็กตรอนต้องเคลื่อนที่ในช่องว่างที่ไม่มีสนามไฟฟ้า (collector B) ที่บรรจุก๊าซที่จะทดลองด้วย

จากรูปเราจะเห็นว่า แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนจะอยู่ที่ตำแหน่ง  $s$  โดยในการทดลองจะใช้ filament ที่ถูกทำให้ร้อนจนสามารถปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ลำแสงที่ออกมาจะถูกเร่งใน collector A โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ด้วยแบตเตอรี่และลำแสงที่ออกมานั้นจะถูกจัดโดย Ammeter  $G_0$  เพื่อเป็น

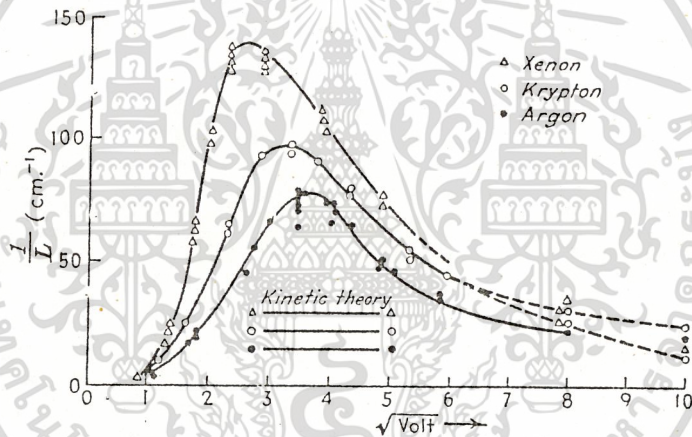
การกำหนดจำนวนอิเล็กตรอนที่จะเข้าไปยังช่องสลิต  $S_1$  ลำแสงนี้เมื่อผ่านช่องสลิต  $S_1$  เข้าไปจะสูญเสียอนุภาคบางส่วนโดยการชนกันผ่านก๊าซที่บรรจุอยู่ใน collector B ก่อนที่จะมีอิเล็กตรอนเข้าไปยัง collector C โดยลอดผ่านช่องสลิต  $S_2$  และอิเล็กตรอนที่อยู่ใน collector C นี้ จะมีค่า free path ขนาด  $X$  (ความยาวของ Collector B) อนุภาคที่กระจัดกระจายใน Collector B จะให้กระแสไฟฟ้าที่ขัดโดย  $G_1$  และอนุภาคที่มี free path  $X$  จะขัดโดย  $G_2$

การที่จะทำให้เป็นไปตามกฎความต่างศักย์ดังสมการ  $n = Ne^{-X/L}$  เราจะต้องทำการทดลองโดยการพยายามรักษาลำแสงให้มีความเร็วคงที่และเปลี่ยนแปลงขนาดความยาว  $X$



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/L$  กับ volt สำหรับ fast electron เครื่องมือที่ Ramsauer เคยทดลอง หรือตั้งรูปเป็นการทดลองหาผลของพลังงานอิเล็กตรอนที่ขึ้นกับค่า m.f.p. แต่คนที่ทำการทดลองหาผลของความสัมพันธ์นี้คนแรกทำโดย Lenard ผู้ซึ่งสามารถหาค่ารูป curve ของ  $1/L$  ได้สำเร็จด้วยการใช้อิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงค่า  $1/L$  จะเพิ่มขึ้นขณะที่พลังงานอิเล็กตรอนลดลง เพื่อที่จะทำให้ค่า  $L$  เป็นค่าที่ไม่คงที่เป็นไปตามทฤษฎีทางกลศาสตร์ ยังมีอีกผู้

หนึ่งที่ทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับค่า *m.f.p.* คือ Becker ผลลัพธ์ของการทดลองของ Becker แสดงให้เห็นได้ค่า  $1/L$  สำหรับอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเลขอะตอมมิกของอะตอมในรูปโมเลกุล ส่วนอิเล็กตรอนที่มีความเร็วต่ำ สภาวะจะแตกต่างกันไป โดยดูจากการศึกษา curve ของรูป 2.6 อิเล็กตรอนที่อยู่ในช่วงพลังงานที่สูงกว่าจะมีพฤติกรรม ตามรูป 2.5 แต่อิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำกว่า, จำนวนของ curve จะมี pronounced maxima ผลของการทดลองนี้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Ramsauer สำหรับก๊าซ Xe, Kr และ Ar



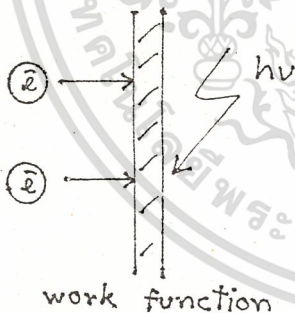
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/2$  กับ volt สำหรับ slow electron (รูป 2.6) และเป็นที่ยอมรับใน Ramsauer effect ถึงแม้ว่าผลที่ได้นี้จะไม่ใช่ที่เข้าใจอย่างแท้จริง แต่หลักฐานที่เป็นข้อยืนยันได้ว่า ค่า maximum ใน curve ในช่องพลังงานต่ำขึ้นอยู่กับอิเล็กตรอนที่มีประสิทธิภาพในการ IONIZING หรือ EXCITING อะตอมแต่ละอัน ผลสรุปนี้ถูกทำให้แน่ใจได้จากการทดลองที่แสดงให้เห็นว่า จำนวนอิเล็กตรอนที่กระจัดกระจายจำนวนมาก สูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมากให้แก่การ IONIZATION ของก๊าซ

## 2.4 การปล่อยอิเล็กตรอนของ filament

การที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากภายนอกของพื้นผิวของโลหะ เรียกว่า Electron Emission ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีพลังงานจำนวนหนึ่งถูกปล่อยเข้าไปให้กับโลหะ ซึ่งพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนนั้นสามารถหลุดออกมาจากโลหะ นั้นได้ เกิดขึ้นได้ 4 ลักษณะ คือ

2.4.1 Photo-Electric Emission ปรกติแล้วอิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบวงโคจรของอะตอมของโลหะ จะมีพลังงานอยู่จำนวนหนึ่งสะสมอยู่ในตัวของมันเอง แต่มันจะอยู่ในวงโคจรได้ก็เพราะแรงดึงดูดของนิวเคลียสของอะตอมนั้นมีค่าสูงกว่าพลังงานที่สะสมอยู่ที่อิเล็กตรอน แต่เมื่อมีพลังงานแสง (photon) ส่องไปตกกระทบที่ผิวของโลหะนั้น พลังงานแสง ( $h\nu$ ) ก็จะถ่ายทอดพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเพิ่มมากขึ้น และถ้ามีค่าสูงกว่า work function ก็จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรได้

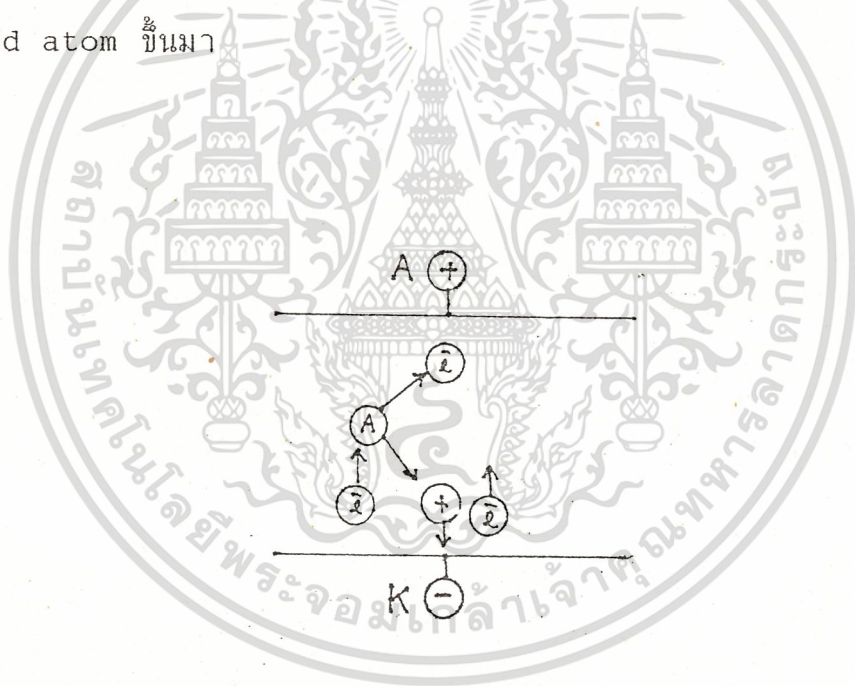
ถ้า  $h\nu > e_0$  จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา



รูปที่ 2.7 Photo-Electric Emission

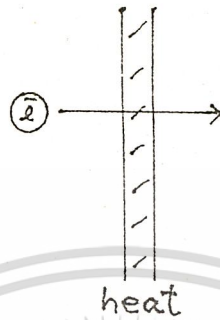
### 2.4.2 Electron Emission By Positive Ion & Excited Atom Impact

จากรูป (2.8) เมื่อเกิดมีอิเล็กตรอนอิสระ (free Electron) หลุดออกมาจากคาโทด (Cathode) แล้วอิเล็กตรอนนี้จะวิ่งออกไปชนกับอะตอมของก๊าซ จะทำให้อะตอมของก๊าซเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอน และประจุบวก (Positive Ion) ซึ่งประจุบวก (+VE) นี้ จะวิ่งย้อนกลับมายังคาโทดอีก จึงทำให้เกิดแรงดึงดูดเกิดขึ้น ระหว่างประจุบวกกับอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในคาโทด จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาอีก แต่ถ้าหากในการชนกันนั้นอิเล็กตรอนมีพลังงานไม่มากพอที่จะทำให้อะตอมของก๊าซแตกตัว มันจะไปเพิ่มพลังงานให้แก่อะตอม เกิดเป็น excited atom ขึ้นมา



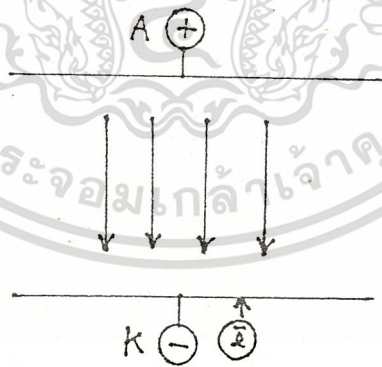
รูปที่ 2.8 Electron Emission

2.4.3 Thermionic Emission เมื่อเราป้อนความร้อนให้แก่โลหะทำให้อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในวงโคจรของอะตอมได้รับพลังงานเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีพลังงานมากพอจนถึงจุดหนึ่ง จะทำให้อิเล็กตรอนสามารถหลุดออกมาได้



รูปที่ 2.9 Thermionic Emission

2.4.4 Field Emission เมื่อเราจ่ายสนามไฟฟ้า (Electric field) ให้กับแอโนด (Anode) และคาโทด ดังรูป (2.10) จะทำให้ work function ลดลง และเมื่อสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอก็จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้



รูปที่ 2.10 Field Emission

## 2.5 การปล่อยอิเล็กตรอน แบบ Thermionic Emission

เราจะพิจารณาวัตถุที่เป็นโลหะ โลหะที่เราใช้โดยทั่วไปจะทำงานให้อยู่ในรูปแบบของไส้ (filament) เป็นขดลวดหรือเป็นแผ่น ถ้าไส้ filament บรรจุอิเล็กตรอนไว้ภายในและอิเล็กตรอนเหล่านั้นเคลื่อนที่ได้ภายในโลหะ (นี่เป็นกรณีที่ป้อนความต่างศักย์ให้ระหว่างปลายขดลวดทำให้เกิดกระแสไหล) จะทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากโลหะ

เราจะพิจารณาสิ่งที่เกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนขณะที่มันพยายามหลุดออกจากโลหะ ในการหลุดออกนั้น, อิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะหนีเยว่นำประจุบวกบนโลหะ จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกและอิเล็กตรอน การหลุดหนีของอิเล็กตรอนจะไม่เกิดขึ้น ถ้าพลังงานที่จ่ายให้ไส้ filament ไม่พอเพียงพอที่จะทำลายแรงดึงดูดภายในโลหะ จะทำให้มันกลับมาเป็นโลหะดั้งเดิม พลังงานที่ต่ำที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาไปทำลายแรงดึงดูด เรารู้จักกันในนาม "work function" ของโลหะ นี่เป็นพลังงานที่ต่ำที่สุดที่จำเป็นที่จะต้องจ่ายด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม วิธีหนึ่งที่มีนิยมนำใช้กันคือการให้ความร้อนกับโลหะ เพื่อให้มีอุณหภูมิสูง ๆ ด้วยวิธีนี้ พลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับโลหะจะถูกเปลี่ยนจากผลึกโลหะไปเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสของ Thermionic Emission และอุณหภูมิของโลหะ จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$J_{th} = A_0 T^2 e^{-b_0 / T} \quad \text{----- (2.1)}$$

เมื่อ  $A_0$  คือ ค่าคงที่ของโลหะทุกชนิด มีค่า  $120 \times 10^4 \text{ A/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^2$

$b_0$  คือ ค่าคงที่ของโลหะแต่ละชนิด

โดยที่ ค่า  $b_0$  มีความสัมพันธ์กับ "work function"  $E_w$  ของโลหะ ดังนี้

$$b_0 = 11,600 E_w \text{ } ^\circ\text{K} \quad \text{----- (2.2)}$$

เราพบว่าค่า  $J_{th}$  จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของโลหะเป็นจริง ถึงแม้ว่า ค่า  $A_0$  จะไม่ตรงตามทฤษฎีนัก

จากสมการที่ (2.1) เราจะพบว่าโลหะที่มีค่า work function ต่ำ จะเกิดการ Emission อย่างมากมายที่อุณหภูมิต่ำ ในปัจจุบันตัว Emitter ที่ใช้กันมาก คือทั้งสแตนเลส ๑ , thoriated-tungsten และ oxide-coated cathodes ค่าคงที่ Thermionic-emission ของตัว Emitter เหล่านี้ แสดงในตาราง

THE IMPORTANT THERMIONIC EMITTERS AND THE THERMIONIC-EMISSION CONSTANTS

Emitter	$A_0, \text{amp}/(\text{m}^2)(^\circ\text{K}^2)$	$W_w, \text{volts}$
Tungsten.....	$60 \times 10^4$	4.52
Thoriated-tungsten.....	$3 \times 10^4$	2.63
Oxide-coated.....	$0.01 \times 10^4$	1

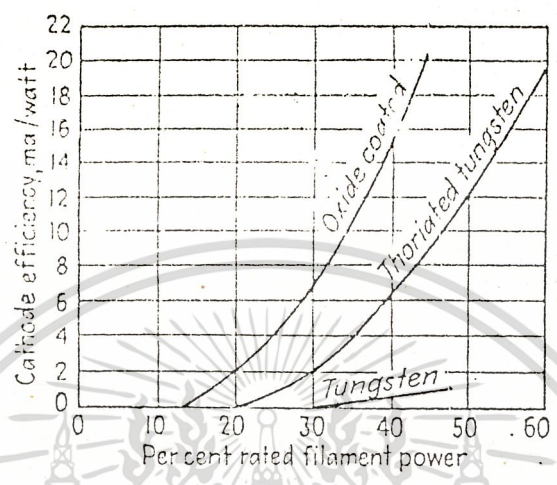
ตาราง 2.2 แสดง The important Thermionic emitters and the Thermionic emission constants

ทั้งสแตนเลสใช้เป็น thermionic filament ถึงแม้ว่าจะมีค่า work function สูง ในความเป็นจริงนั้นทั้งสแตนเลสที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพราะทนความร้อนได้สูงในหลอด high-voltage มันถูกใช้ในหลอด X-ray high-voltage, หลอด high-voltage rectifier และหลอด amplifier กำลังสูง ที่ใช้ในวิทยุ และอุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ แต่มีข้อเสียเปรียบตรงที่ประสิทธิภาพการ Emission คาโอด (อัตราส่วนของ Emission current (mA) กับ heating power (w) มีค่าต่ำ ทั้งสแตนเลสสามารถนำมาใช้กับอุณหภูมิสูง ๆ (ระหว่าง 2600 กับ 2800° K) เพื่อจะให้เกิดการ Emission ตามที่ต้องการ

เราพบว่าการทำให้ layer บางมาก ๆ ของโลหะ filament ทั้งสแตน จะช่วยลดค่า work function ที่พื้นผิว วัสดุ filament แบบ thoriated-tungsten ถูกทำขึ้นโดยการใส่ thorium oxide จำนวนเล็กน้อย ให้แก่ทั้งสแตนก่อนนำไปใช้ วัสดุ filament นี้, เมื่อถูกกระตุ้น, จะทำให้เป็น Emitter ที่ดีที่อุณหภูมิ  $1800^{\circ}\text{K}$  เราจะพบการเกิด carbon ที่ Emitter เมื่ออัตราการ evaporation ของชั้น thorium จากวัสดุ filament ถูกลดลง วัสดุ filament แบบ thoriated-tungsten มีข้อจำกัดคือใช้กับหลอดที่ปฏิบัติงานที่ ความต่างศักย์ปานกลาง ( $10000\text{ volts}$  หรือน้อยกว่า) ความต่างศักย์ที่สูงกว่าจะ ใช้วัสดุ filament ทั้งสแตนแท้ ๆ

คาโอดแบบ oxide-coated มีประสิทธิภาพที่ดีมาก (ความทนทาน 20 เท่าของ tungsten) มันสามารถให้กระแส Emission สูงมากที่อุณหภูมิต่ำที่  $1000^{\circ}\text{K}$  มันประกอบไปด้วยเปลือกโลหะของ konal (ของผสมของ nickel, cobalt, iron และ titanium) หรือโลหะอื่นซึ่งถูกห่อหุ้มด้วย oxide ของ barium และ strontium คาโอดเหล่านี้ถูกจำกัดใช้กับหลอดโวลเตจต่ำกว่า (lower Voltage tube) ประมาณ  $1,000\text{ V}$  หรือต่ำกว่า คาโอดพวกนี้ถูกใช้กับ หลอดแบบ receiving และจะถูกใช้งานอย่างดีด้วยระยะเวลาาน

curves แสดงประสิทธิภาพของคาโอดแบบ tungsten, thoriated tungsten และ oxide-coated แสดงในรูป 2.11 จากกราฟทำให้เห็นว่า tungsten จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า emitter ตัวอื่น ๆ



รูปที่ 2.11 Cathode efficiency curve of an oxide-coated, a Thoriated-tungsten and a pure tungsten filament

2.6 การ Ionization

คือขบวนการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจาก gas pasticle ซึ่งจะเกิดพร้อมกับการเกิดประจุบวก โดยที่เราจะพิจารณาใน 2 ลักษณะ คือ

1. Gass process คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมของก๊าซ
2. Electrode process คือ การเกิด Ionization เนื่องจากอิทธิพลของ electrode

ตามปรกติแล้วอิเล็กตรอนที่อยู่ที่วงโคจรของอะตอมจะมี kinetic energy ของตัวมันเอง โดยจะวิ่งรอบ ๆ อะตอม เมื่อเรามีพลังงานจากภายนอกหรือก็คืออิเล็กตรอนได้รับพลังงานเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวง

โคจรของอะตอมได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิด Ionization แต่ในกรณี  
 ที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานเพิ่มไม่มากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร  
 เพียงแต่เป็นการถ่ายเทพลังงานให้แก่อะตอมเท่านั้น ทำให้อะตอมมีพลังงานสูงขึ้น  
 กว่าเดิม ในกรณีนี้เราเรียกว่าเป็นการ excitation

พลังงานที่ทำให้เกิดการ Ionization ขึ้นเรียกว่า ionization energy

$$W_i = eV_i \quad (eV)$$

$V_i$  :- ionization potential

$e$  :- มีหน่วยเป็น electron charge

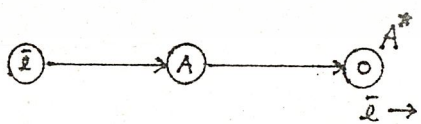
ในกรณีของก๊าซ การ Ionization เกิดขึ้นโดยอิเล็กตรอนวิ่งไปชน

อะตอม



รูปที่ 2.12 แสดงการไอออไนเซชัน

เกิดขึ้น เมื่อ  $\frac{1}{2}mv^2 > W_i$



รูปที่ 2.13 แสดงการ excitation

เกิดขึ้นเมื่อ  $\frac{1}{2}mv^2 < W_i$

จะเห็นได้ว่าการเกิด Ionization นี้ก็คือการทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น ซึ่งก็คือ การเพิ่ม conductivity นั้นเอง ดังนั้นการเกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น ถ้ามีอะตอมที่สามารถดึงเอาอิเล็กตรอนอิสระนั้นให้เข้าไปอยู่ในตัวของมันได้ ก็จะไม่เกิด conduction ทำให้ทนทานต่อ Strength ของโวลเตจสูง ๆ ได้ ซึ่งก๊าซที่มีอะตอมที่สามารถจับเอาอิเล็กตรอนอิสระนี้เรียกว่า electronegative gas ก๊าซพวกนี้ได้แก่พวก halogens เช่น F, Cl, Br, I, SF<sub>6</sub> เป็นต้น

### Ionization และ Excitation ในสนามไฟฟ้า

เมื่ออิเล็กตรอนหรือ positive ion เคลื่อนที่ผ่านก๊าซ ซึ่งไม่มี negative ion มันจะเกิด excite หรือ ionize atom หรือโมเลกุลโดยการชน ทำให้เกิดพลังงานมากเกินกว่าค่าวิกฤต ดังนั้นการชนแบบไม่ยืดหยุ่นสามารถเกิดขึ้นได้ในสนาม free space ในสนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนใหม่ และไอออน หรือ excite atoms ที่ถูกผลิตขึ้นยังคงมีอยู่ สำหรับเวลาสั้นในส่วนของ primary particle แต่ผลผลิตการชนจะไม่ถูกพบ และการกระแทกแบบไม่ยืดหยุ่นจะไม่เกิดขึ้นเลยในช่วงของ primary particle ในสนามไฟฟ้า excite atom เหมือนอิเล็กตรอน และไอออนถูกสร้างผ่านก๊าซร่วมกับ primary particle มันอาจกระจายเกินย่าน ซึ่งถูกล้อมด้วยอิเล็กโตรด และจำกัดที่ด้วย space ลักษณะของวิธีการนี้สำคัญมาก อิเล็กตรอนและไอออนถูกกระทำโดยถูกขับด้วยสนามไฟฟ้าไปยังอิเล็กโตรด และการชนด้วยวิธีนี้กับโมเลกุล ก๊าซจะผลิตไอออนและอิเล็กตรอนใหม่ ในอีกแง่หนึ่งการเคลื่อนที่ไม่ได้กระทำโดยสนาม ดังนั้น หนึ่งอิเล็กตรอนปฐมภูมิเริ่มต้นที่อิเล็กโตรดลบ สามารถทำให้เพิ่มขึ้นในสนามไฟฟ้ามาก ๆ หลายเท่า

## 2.7 กลไกการเกิดเบรคดาวน์ (Breakdown mechanisms)

การเกิดเบรคดาวน์ในก๊าซ หมายถึง การเปลี่ยนสภาพการจนวนไปสู่สภาพนำไฟฟ้า คือ เป็นช่วงต่อระหว่างสถานะภาพที่กระแสไหลประทังตัวเองไม่ได้ (Nonself-Sustained) ไปสู่สถานะภาพที่กระแสไหลประทังตัวเองได้ (Self-Sustained) ช่วงต่อดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เมื่อในแก๊ปมีจำนวนอิเล็กตรอนมากพอจนทำให้แก๊ปมีสภาพนำไฟฟ้าสูง ซึ่งโดยทฤษฎีแล้วจะมีกระแสไหลเป็นค่าอนันต์ คือ กระแสจะถูกจำกัดด้วยค่าของวงจรภายนอกเท่านั้น

จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นแล้วทำให้กระแสไหลประทังตัวเองอยู่ได้ จนเกิดการเบรคดาวน์ขึ้นนั้นพอจะอธิบายได้ตามทฤษฎี การเกิดเบรคดาวน์ของทาว์นเซนต์ และตามกลไกการเกิดเบรคดาวน์แบบสตรีมเมอร์ ส่วนกฎของพาสเชน (Paschen's law) จะไม่กล่าวถึง เพราะมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง

### 2.7.1 การเบรคดาวน์ของทาว์นเซนต์

ตามทฤษฎีกลไกเบรคดาวน์ของทาว์นเซนต์นั้นเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของอิเล็กตรอนอย่างต่อเนื่องในแก๊ประหว่างอิเล็กโตรด ซึ่งเกิดจากระบวนการเพิ่มทวีคูณของอิเล็กตรอนเกิดจากระบวนการขึ้นต้น ( $\alpha$ -process) และกระบวนการขึ้นสองเกิดจากการไอออไนเซชันโดยไอออนบวกชนโมเลกุลของก๊าซ ( $\beta$ -process) แต่ในปัจจุบันนี้พบว่ากระบวนการขึ้นต้นไม่สามารถทำให้เกิดการเบรคดาวน์ได้ กระบวนการขึ้นสองที่มีความสำคัญต่อการเกิดเบรคดาวน์คือ กระบวนการการ ๕ ( $\gamma$ -process) อันเป็นกระบวนการที่เพิ่มทวีคูณของอิเล็กตรอนปล่อยหลุดจากคาโอด โดยกระบวนการนี้แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

1.) ไอออนบวกอันเกิดจากระบวนการเบื้องต้น วิ่งเข้าไปชนกับผิวคาโอด แล้วปล่อยอิเล็กตรอนออกมา

2.) โมเลกุลที่อยู่ในสถานะตื่นกระตุ้นในอะวาลานซ์ปล่อยพลังงานโฟตอนออกมาในขณะที่อะตอมคืนเข้าสู่สถานะภาพพื้นฐาน (ground state) แล้วพลังงานโฟตอนตกลงบนคะโทดทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากคะโทด

3.) โมเลกุลที่อยู่ในสถานะ metastable อาจแพร่กระจายกลับไปหาคะโทดแล้วทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาได้ เมื่อโมเลกุลนั้นวิ่งไปกระทบคะโทด

ในที่นี้จะวิเคราะห์ทฤษฎีของทาวน์เซนต์ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ กล่าวคือทุกจุดในแกปมีความเครียดสนามไฟฟ้าเท่ากันทุกจุด มีสัมประสิทธิ์การไอออไนเซชันมีค่าคงตัว และผลของประจุค้าง (spacecharge) ที่มีต่อสนามไฟฟ้าในแกปมีค่าน้อยไม่ต้องคำนึงถึง

### 2.7.1.1 กระบวนการขึ้นต้น ( $\alpha$ - process or primary process)

จำนวนอิเล็กตรอนในอะวาลานซ์ในแกปที่ระยะ  $x$  จากคะโทดตามสมการ

$$N_x = N_0 e^{\alpha x}$$

เมื่อ  $N_0$  = จำนวนอิเล็กตรอนที่ปล่อยจากคะโทดต่อวินาที

$N_x$  = จำนวนอิเล็กตรอนที่ระยะ  $x$  จากคะโทด

จำนวนอิเล็กตรอนวิ่งไปถึงอะโนด ( $x=d$ ) ต่อวินาทีเป็น

$$N_d = N_0 e^{\alpha d}$$

อิเล็กตรอนแต่ละตัวที่ออกจากคะโทดจะสร้างอิเล็กตรอนขึ้นใหม่  $e^{\alpha d} - 1$  ซึ่งมีจำนวนเท่ากับจำนวนไอออนบวกที่เกิดขึ้นและวิ่งมาถึงคะโทด และเขียนเป็นค่ากระแสจะได้

$$I = I_0 e^{\alpha d}$$

จะเห็นได้ว่าจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเป็นเอกซโพเนนเชียล และจะต้องมีอิเล็กตรอนเริ่มต้นออกจากกะโหลกจำนวน  $N_0$  ต่อวินาที ที่ได้จากการส่องรังสีเข้าไปที่กะโหลก จึงเรียกว่าการดีสชาร์จที่ประทังตัวเองไม่ได้ เพราะถ้าเอาต้นกำเนิดที่สร้างอิเล็กตรอนเริ่มต้น  $N_0$  ออกเสีย กระบวนการไอออนไนเซชันก็จะหยุด ฉะนั้นลำพังกระบวนการนี้จึงยังไม่สามารถทำให้เกิดเบรคดาวน์ได้ หากจะต้องมีกระบวนการขึ้นสองมาเสริม

กระบวนการขึ้นสองเป็นกระบวนการซ้อนสืบเนื่องจากกระบวนการขึ้นต้น กล่าวคือไอออนบวกที่เกิดจากอิเล็กตรอนแยกตัวออกมาจากโมเลกุลที่เป็นกลางจะวิ่งไปชนอะตอมของก๊าซหรือชนกะโหลก ถ้าไอออนบวกนี้มีพลังงานสูงพอก็จะทำให้เกิดไอออนไนเซชันในก๊าซ เรียกว่ากระบวนการ  $\beta$  ถ้าไอออนบวกชนกะโหลกแล้ว ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากกะโหลกได้ เรียกว่ากระบวนการ  $\gamma$  แต่ว่ากระบวนการนั้นไม่มีผลต่อการทำให้เกิดเบรคดาวน์ กระบวนการขึ้นสองที่มีความสำคัญต่อกลไกเบรคดาวน์ คือ กระบวนการ  $\gamma$

### 2.7.1.2 กระบวนการขึ้นสองแบบ $\gamma$ ( $\gamma$ -process)

กระบวนการ  $\gamma$  เป็นกระบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากกะโหลก ซึ่งแบ่งเป็น 3 วิธีคือ

- 1.) ไอออนบวกอันเกิดจากกระบวนการเบื้องต้น วิ่งเข้าไปชนกับผิวกะโหลก แล้วปล่อยอิเล็กตรอนออกมา
- 2.) โมเลกุลที่อยู่ในสภาวะคั่นกระตุ้นในอะวาลานซ์ปล่อยพลังงานโฟตอนออกมาในขณะที่อะตอมคั่นเข้าสู่สถานะภาพพื้นฐาน (ground state) แล้วพลังงานโฟตอนตกลงบนกะโหลก ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา
- 3.) โมเลกุลที่อยู่ในสถานะ metastable อาจแพร่กระจายกลับไปหากะโหลกแล้ว ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้ เมื่อโมเลกุลนั้นวิ่งไปกระทบกะโหลก

ถ้าให้  $N'_0 =$  จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดจากระบวนการขึ้นที่สองที่คะโถดต่อวินาที

$N''_0 =$  จำนวนอิเล็กตรอนรวมทั้งหมดที่ออกจากคะโถดต่อวินาที

ฉะนั้น  $N''_0 = N_c + N'_0$

แต่อิเล็กตรอนแต่ละตัวที่ออกจากคะโถดจะชนไอออนซ์เท่ากับ  $e^{\alpha d - 1}$  ครั้ง จำนวนครั้งของการชนไอออนซ์ในแก๊สจะเป็น

$$N'_0 = N_c (e^{\alpha d} - 1)$$

และจะมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นจากกระบวนการขึ้นสองออกจากคะโถดเป็น

$$N'_0 = \gamma N''_0 (e^{\alpha d} - 1)$$

เมื่อ  $\gamma$  เป็นสัมประสิทธิ์ไอออนซ์ในเซชั้นที่สองของทาว์นเซนต์

ดังนั้น

$$N''_0 = N_c + \gamma N''_0 (e^{\alpha d} - 1)$$

$$N''_0 = \frac{N_c}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

จำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งไปถึงอะโนดจึงเป็น

$$N_d = N''_0 e^{\alpha d}$$

$$N_d = \frac{N_c e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

และ  $I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$

ดังนั้นเงื่อนไขที่จะเกิดเบรคดาวน์ก็คือเมื่อค่ากระแสเพิ่มเป็นอนันต์ นั่นคือ

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$$

แต่ว่าในขณะที่ใกล้เบรคดาวน์ค่า  $e^{\alpha d} \gg 1$  เพราะฉะนั้นจะได้เงื่อนไขในการเบรคดาวน์เป็น

$$\gamma e^{\alpha d} = 1$$

### 2.7.2 การเบรคดาวนแบบสตรีมเมอร์ (Streamer mechanism)

เนื่องจากกลไกเบรคดาวนตามทฤษฎีของทาวน์เซนต์ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์การเกิดเบรคดาวนได้ทุกกรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการก่อตัวของอะวาลานซ์ ที่ทำให้เกิดดีสชาร์จประหังตัวเองอยู่ได้ในก๊าซที่มีความดัน เช่น การเกิดเบรคดาวนในช่องแก๊ปกว้าง ๆ ในบรรยากาศของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าที่เกิดเบรคดาวนในช่วงหน้าคลื่น เวลาคลื่นตัดน้อยกว่า 0.1 ไมโครวินาที ซึ่งเป็นเวลาที่น้อยเกินไปที่ไอออนบวกจะสามารถเคลื่อนที่ไปถึงแคโทดเพื่อสร้างอิเล็กตรอนอิสระตามขบวนการ  $\propto \sqrt{t}$  ได้ หรือแม้แต่คิดเวลาที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่โดยตรงจากแคโทดข้ามช่องแก๊สไปยังอะโนดโดยไม่ชนกับโมเลกุลเลย ก็ยังใช้เวลานานกว่าเวลาคลื่นตัดที่ทดลองได้ ที่เป็นจุดล้มเหลวที่สำคัญของทฤษฎีเบรคดาวนของทาวน์เซนต์

จุดอ่อนอีกประการหนึ่งของกลไกเบรคดาวนของทาวน์เซนต์ที่ไม่สามารถอธิบายผลของประจุค้าง (space charge) ที่อยู่เบื้องหลังของอิเล็กตรอนอะวาลานซ์ก่อน ๆ มีหลายกรณีที่กลุ่มไอออนเหล่านี้ทำให้สนามไฟฟ้าเดิมบิดเบือนไปในทางที่มีความเครียดสูงขึ้น และอาจทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานมากพอที่จะเกิดไอออนในเซชันขึ้นได้

ความล้มเหลวของทาวน์เซนต์ที่เกิดขึ้นทำให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรคิดค้นหาทฤษฎีใหม่ขึ้นมาอธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้ ทฤษฎีที่มีเหตุผล และเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือ ทฤษฎีสตรีมเมอร์ (Streamer theory)

กลไกสตรีมเมอร์อธิบายการเกิดสปาร์คดีสชาร์จจากอะวาลานซ์เดี่ยว ซึ่งมีประจุค้างเกิดขึ้นจากอะวาลานซ์เองเปลี่ยนจากอะวาลานซ์ไปเป็นพลาสมาสตรีมเมอร์ ทำให้สนามไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดเบรคดาวนขึ้นในแนวนี้ หลักการของการเกิดเบรคดาวนทางทฤษฎีกลไกสตรีมเมอร์เป็นผลสืบเนื่องจากกระบวนการ ของทาวน์เซนต์ กล่าวคือจะมีการไอออนในเซชันเป็นจำ

นวนมากจากพลังงานโฟตอน ที่เรียกว่า Photo-ionization ของก๊าซโมเลกุลที่ ส่วนหน้าของสตริมเมอร์ กลุ่มประจุค่างของไอออนที่ส่วนหัวของสตริมเมอร์ทำให้ สนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมา และทำให้เกิดไอออนในเซชั้นเพิ่มขึ้นอย่างมาก ไอ ออนบวกเคลื่อนที่ได้ช้าเกือบจะ เรียกได้ว่าอยู่กับที่ เมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ ของอิเล็กตรอนที่วิ่งข้ามช่องแคบไปสู่อะโนด เกิดหมอกอิเล็กตรอนเป็นฉา ระหว่างอิเล็กโตรด ปล่อยให้ไอออนบวกอยู่เบื้องหลังรวมกันเป็นหมอก ความเครียด สนามไฟฟ้าที่ส่วนหัวและหลังอะวาลานซ์เพิ่มสูงขึ้น แต่ในบริเวณระหว่างอิเล็กตรอน กับหมอกไอออนความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลง การเพิ่มสูงขึ้นของความเครียด สนามไฟฟ้าตามจุดต่าง ๆ ทำให้เกิด Photo-ionization ขยายตัวเพิ่มขึ้น เกิดอะวาลานซ์ใหม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หมอกประจุเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาไฟฟ้าสูง ขึ้นเป็นแนวมีลักษณะเป็นสตริมเมอร์ระหว่างอะโนดกับแคโทด และทำให้เกิดเบรค ดาวน์ตามแนวนี้ จึงเรียกกลไกเบรคดาวน์ลักษณะนี้ว่า สตริมเมอร์เบรคดาวน์ การ ขยายเพิ่มสภาพหนาไฟฟ้ระหว่างอิเล็กโตรดโดยอาศัย Photo-ionization สร้างอะวาลานซ์เป็นไปด้วยความเร็วเท่ากับแสง ด้วยลักษณะจึงสามารถทำให้การ เบรคดาวน์แบบสตริมเมอร์สามารถอธิบายการเกิดเบรคดาวน์ได้ทุกกรณี โดยเฉพาะ การเกิดเบรคดาวน์ในช่องแคบกว้าง ๆ ในบรรยากาศของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่น พ้ผ่าที่เกิดเบรคดาวน์ในเวลาน้อยกว่า 0.1 ไมโครวินาทีได้ ซึ่งกลไกการเบรค ดาวน์ของทาวน์เซนต์ไม่สามารถอธิบายได้

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง m.f.p. กับกระบวนการ  $\alpha$

ค่าสัมประสิทธิ์การชนไอออนในเซชั้น  $\alpha$  ขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้า และความดันของกาซซึ่งมีความสัมพันธ์

$$\frac{\alpha}{P} = f \left( \frac{E}{P} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

ความสัมพันธ์สมการ (2.3) สำหรับก๊าซต่าง ๆ มีลักษณะคล้าย ๆ กัน ซึ่งอาจเขียนได้ด้วยสมการ

$$\frac{\alpha}{P} = Ae^{-BP/E} \dots\dots\dots (2.4)$$

โดย A และ B เป็นค่าคงตัวขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ และฟังก์ชันดังกล่าว ใช้ได้ในย่านจำกัดของ E/P ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ก๊าซ	A (cm - Torr) <sup>-1</sup>	B (cm - Torr) <sup>-1</sup>	ย่านที่ใช้ได้ ( $\frac{E}{P}$ ) (cm - Torr)
Air	15	365	100 - 800
N <sub>2</sub>	12	342	100 - 600
H <sub>2</sub>	5.1	138.8	20 - 600
He	3	34	20 - 150
Ne	4	100	100 - 400
A	14	180	100 - 600
Kr	17	240	100 - 1000
Xe	26	350	200 - 800
CO <sub>2</sub>	20	466	500 - 1000
H <sub>2</sub> O	12.9	289	150 - 1000

ตารางที่ 2.3 ค่าคงตัว A และ B ของก๊าซต่าง ๆ สำหรับที่มาของสมการที่ (2.4) มีลำดับขั้นตอนดังนี้ สมมุติว่าไอออนไนเซชันจะเกิดขึ้น ถ้าพลังงานที่ได้ต่อ FREE PATH

มากกว่าหรือเท่ากับ  $e V_i$

$$edE \geq eV_i$$

$V_i$  เป็น IONISATION POTENTIAL

$$d \geq \frac{V_i}{E} \dots\dots\dots (2.5)$$

ความเป็นไปได้สำหรับ FREE PATH ที่มากกว่าหรือเท่ากับ  $d = e^{-d/L}$

จำนวนของการชนกันต่อเซนติเมตร  $= \frac{1}{L}$

จำนวนของการ IONISATION ที่เป็นไปได้ต่อเซนติเมตร

$$= \frac{1}{L} e^{-d/L} \dots\dots (2.6)$$

จากความสัมพันธ์ที่ได้จากทฤษฎี GAY-LUSSAC LAW จะได้สมการดังนี้

$$P = NKT$$

เมื่อ

P คือ ความดันของก๊าซ (แรง/หน่วยพื้นที่)

N คือ จำนวนโมเลกุลของก๊าซต่อปริมาตร

K คือ ค่าคงที่ของโบลต์ซมานน์ (BOLTZMANN'S CONSTANT)

T คือ อุณหภูมิของก๊าซ ( $^{\circ}K$ )

ถ้าหากกำหนดให้อุณหภูมิคงที่แล้วจะเห็นได้ว่า ความดันแปรผันตรงกับ

จำนวนโมเลกุลของก๊าซ ( $p \propto N$ ) และจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า mean free path กับ จำนวนโมเลกุลซึ่งแปรผกผันกัน ( $L \propto \frac{1}{N}$ ) จึงสรุปได้ว่า ความดันของก๊าซแปรผกผันกับค่า mean free path

โดยอุณหภูมิของก๊าซคงที่

$$P \propto \frac{1}{L} \quad \text{เมื่อ } T \text{ คงที่}$$

จะได้ว่า  $P = \frac{1}{AL}$

หรือ  $AP = \frac{1}{L} \dots \dots \dots (2.7)$

โดย A เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

จากสมการที่ (2.5) และ (2.7) แทนค่าในสมการที่ (2.6)

จะได้ว่า

จำนวนของการ IONISATION ที่เป็นไปได้ต่อซม. =  $A \cdot p \cdot e^{-V_{iA} \cdot P / E}$

ถ้าให้ B เป็นค่าคงที่ โดย  $B = V_{iA}$

จะได้ว่า

$\alpha = A \cdot P \cdot e^{-BP / E}$

จัดรูปใหม่ได้ ดังนี้

$\frac{\alpha}{P} = A \cdot e^{-BP / E} \dots \dots \dots (2.8)$

ค่าของ  $\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right)$  เป็นแฟกเตอร์สำคัญที่กำหนดการเพิ่มทวีคูณ

ของอนุภาคประจุ และนำไปสู่การเบรคดาว์นในก๊าซซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้  
ดังนี้

เอา p.d คูณสมการ (2.3) ตลอดจะได้

$\alpha d = pd f\left(\frac{E}{P}\right)$

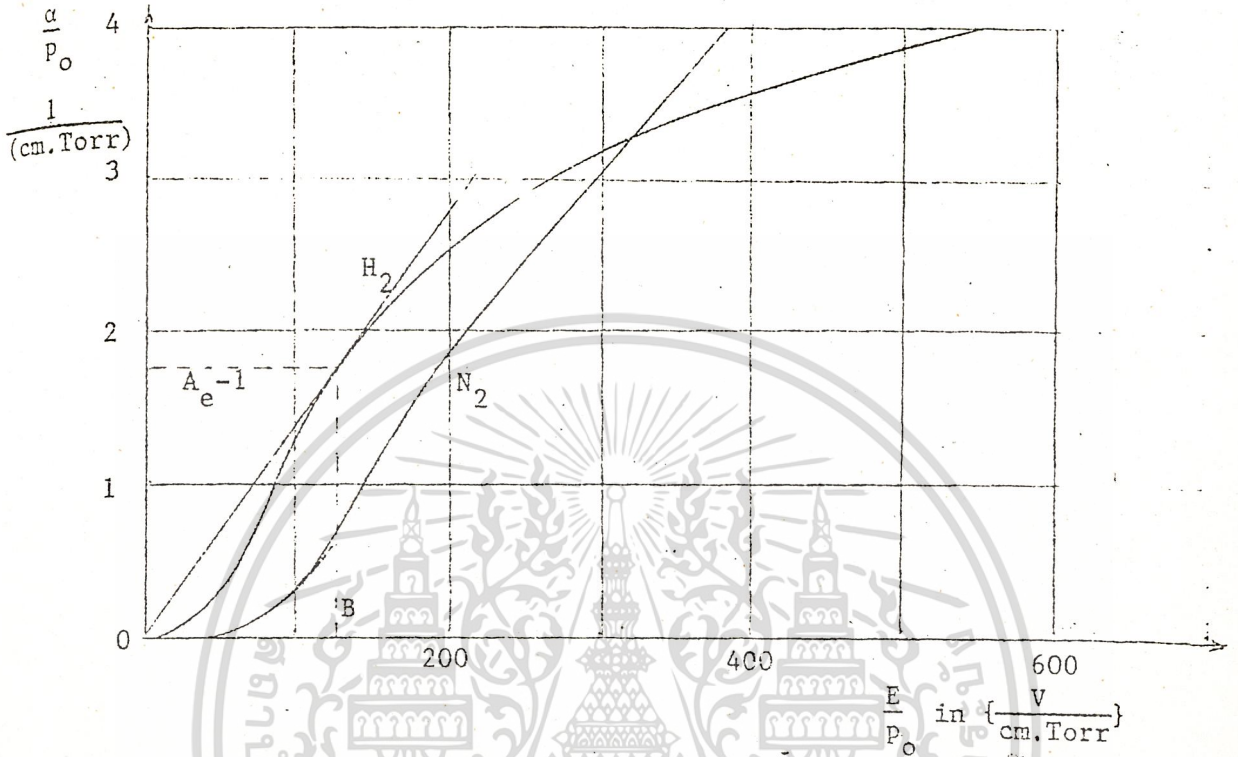
$\alpha d = pd f\left(\frac{U}{Pd}\right) = K$

ถ้า U เป็นค่าแรงดันเบรคดาว์น จะพบว่า  $U_b$  นี้อยู่ในฟังก์ชันของ p.d. เท่านั้น

หรือ  $U_i$  เป็นค่าแรงดันเริ่มต้น จะพบว่า  $U_i$  นี้อยู่ในฟังก์ชันของ pd เท่านั้นเช่นกัน

ตัวอย่างความสัมพันธ์ของ  $\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right)$  ของ  $N_2$  และ  $H_2$  ดังกราฟ ในรูปที่ 2.14

(NASSER)



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของ  $\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right)$  ของ  $H_2$  และ  $N_2$  (NASSER)  
 $P_0$  เป็นความดันที่  $^{\circ}C$ ,  $P_0 = P \cdot T_0 / T$  และ  $T_0 = 273^{\circ}K$

ข้อสังเกตจากเส้นกราฟในรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่า  $\frac{\alpha}{P}$  นั้นมีได้ เริ่มต้นที่แกนศูนย์ หากแต่เริ่มต้นที่ค่า  $\frac{E}{P}$  ค่าหนึ่งซึ่งแสดงถึงค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า  $E_b$  มีค่าต่ำสุด เกิดในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่อิเล็กโตรดวางห่างกันมาก ๆ ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ ๆ และเส้นทางเดินของอิเล็กตรอนมีระยะไกลจึงมีโอกาสที่โมเลกุลของก๊าซจับอิเล็กตรอนไว้ได้กลายเป็นไอออนลบเคลื่อนที่ได้ช้า การไอออนเซชันเกิดได้ยาก เป็นการหน่วงการเกิดเบรคดาวน์ ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเห็นได้ชัดในก๊าซอนุภาคประจุลบ (ELECTRONEGATIVE GAS)

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการทดลองหาค่า mean free path ของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าไปในก๊าซ  $H_2$  และ  $N_2$  เราจะรูปแบบการทดลองที่เป็นของ Ramsauer (นักวิทยาศาสตร์ผู้ที่เคยทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของพลังงานอิเล็กตรอนที่ขึ้นอยู่กับค่า mean free path ได้สำเร็จ) ซึ่งจะมีรูปแบบของวงจร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรการทดลองหาค่า mean free path

#### ส่วนของอุปกรณ์การทดสอบ

แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้ คือ

- 3.1 ส่วนแหล่งผลิตอิเล็กตรอน
- 3.2 ส่วนเพิ่มพลังงานให้อิเล็กตรอนในการหาค่ากระแส
- 3.3 ส่วนอุปกรณ์ควบคุมความดัน

### 3.1 ส่วนแหล่งผลิตอิเล็กทรอนิกส์

ส่วนแหล่งผลิตอิเล็กทรอนิกส์ จะมีรูปแบบเป็นวงจรที่ประกอบได้ filament และแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง (DC Supply)

#### 3.1.1 วัสดุ filament

วัสดุ filament ที่ใช้ในการทดลองหาค่า mean free path คือ วัสดุทังสเตน (pure Tungsten) ซึ่งมีค่า  $E_w = 4.52 \text{ V}$  และ  $A_o = 60 \times 10^4 \text{ A/(m}^2)(\text{ }^\circ\text{K)}^2$  ซึ่งเป็นไปตามหลัก Thermionic Emission ดังนั้นในการหาขนาดของวัสดุ filament ทังสเตน จะเป็นไปดังนี้

จากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสของ Thermionic Emission และอุณหภูมิของวัสดุ filament ดังนี้

$$J_{th} = A_o T^2 e^{-b_o/t}$$

เมื่อ

$$A_o = 60 \times 10^4 \text{ A/(m}^2)(\text{ }^\circ\text{K)}^2$$

$$E_w = 4.52 \text{ V}$$

$$b_o = 11,600 \frac{E_w}{\text{ }^\circ\text{K}}$$

$$= 52,432 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T = \text{อุณหภูมิของวัสดุ filament}$$

ในการทดลองเราจะให้อุณหภูมิ (T) เท่ากับ  $2,650 \text{ }^\circ\text{K}$  เพราะเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่วัสดุทังสเตนจะทนได้ เพื่อที่จะได้ค่า  $J_{th}$  ตามที่เราต้องการ

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } J_{th} &= (60 \times 10^4) (2,650)^2 e^{-52,432/2650} \\ &= 105.2 \times 10^2 \text{ A/m}^2 \end{aligned}$$

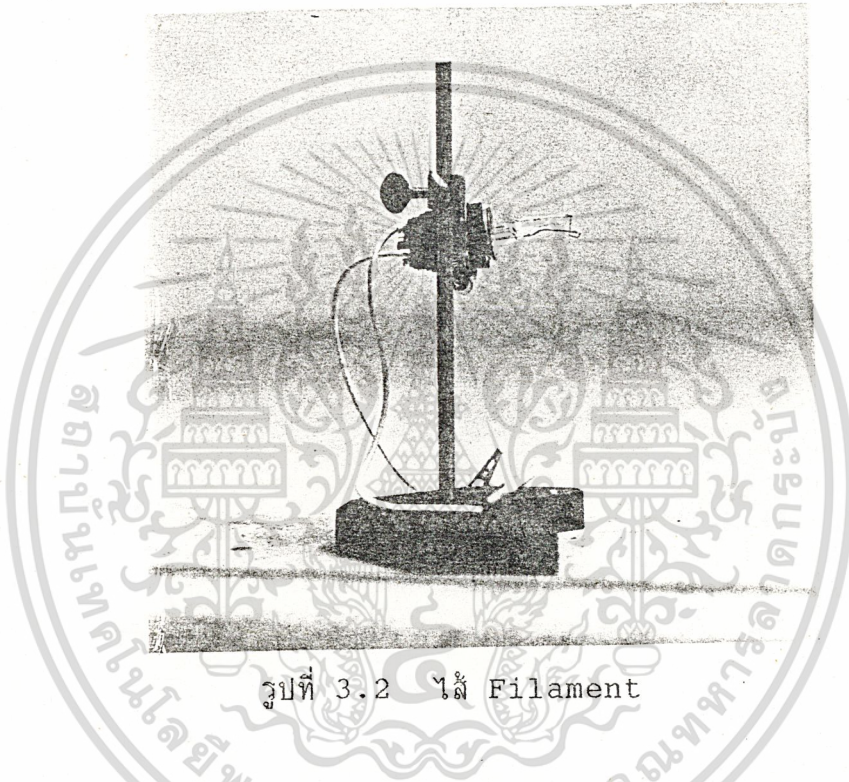
วัสดุ filament ทังสเตนที่เราใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.0085 \text{ นิ้ว}$   
ความยาววัสดุ filament  $3 \frac{11}{16} \text{ นิ้ว}$

$$\text{ดังนั้น พื้นที่ผิวของวัสดุ filament (A) = } 2\pi r l$$

$$= 0.635 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{ค่ากระแส (I) ที่ไส้ filament} &= Jth. A \\ &= 670 \text{ mA} \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ไส้ filament ทั้งสแตน จะสามารถจ่ายอิเล็กตรอน ออกมาให้ได้



รูปที่ 3.2 ไส้ Filament

### 3.1.2 แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงสำหรับจ่ายไฟให้ filament

แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงที่จะใช้จ่ายให้กับไส้ filament นั้น จะต้องสามารถจ่ายกระแสตามที่กำหนดได้ ในการทดลองเราใช้ Bridge Rectifier

### 3.2 ส่วนเพิ่มพลังงานให้อิเล็กตรอนในการหาค่ากระแส

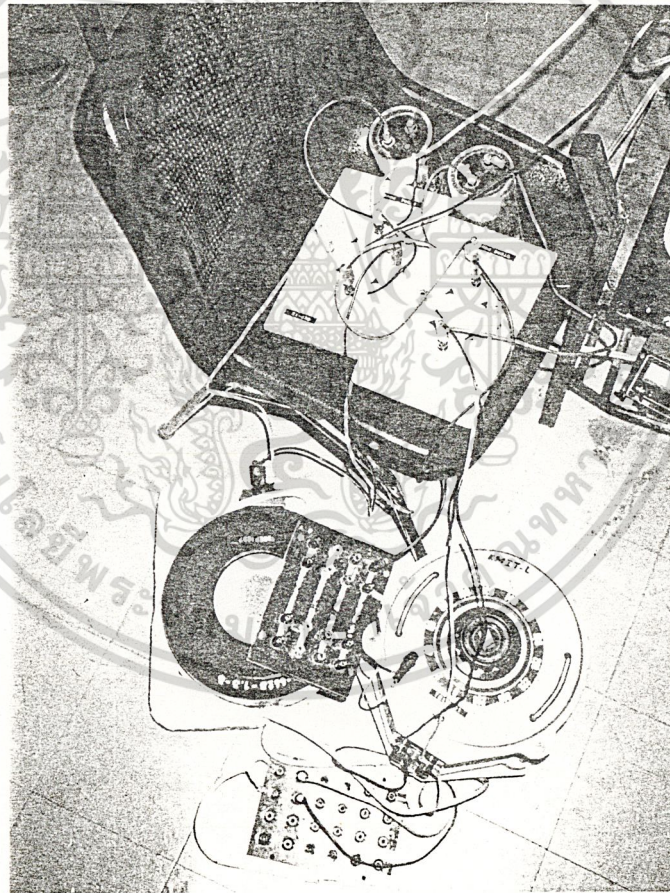
ส่วนนี้จะประกอบไปด้วย Power Supply ที่สามารถเพิ่มความต่างศักย์

เพื่อไปเร่งความเร็วของอิเล็กตรอน ส่วน Collector และเครื่องมือวัด

รูปแบบของวงจรส่วนนี้ จะมีลักษณะต้านไส้ filament เปรียบเหมือน เป็นขั้วคาโทด และส่วน Collector จะเป็นขั้วอานอด

### 3.2.1 แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรง 0-100 V

แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงที่เราจะใช้ในนี้ ต้องสามารถปรับความต่างศักย์ในช่วง 0-100 V ได้ เพราะเราต้องการจะนำค่าที่วัดได้ในช่วงนี้มาหาความสัมพันธ์ของ  $1/L$  กับ  $\sqrt{V}$  เพื่อจะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Ramsauer



รูปที่ 3.3 แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรง 0-100 V.

### 3.2.2 ส่วน Collector

ส่วน Collector จะทำด้วยทองแดงทำเป็นกล่องสี่เหลี่ยม และจะมี  
ฉนวนกันระหว่าง Collector ไม่ให้ติดกัน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามหน้าที่ของแต่ละ  
Collector ดังนี้

#### 3.2.2.1 Collector A

จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 จะทำหน้าที่ในการเพิ่มพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนที่หลุดออกมา  
จากไส้ filament โดยการเพิ่มความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น  
ระหว่างไส้ filament กับ Collector A โดยที่ส่วนนี้จะมี  
ส่วนในการบังคับอิเล็กตรอนให้ซึ่งเป็นลำ beam ผ่านเข้าไปใน  
ช่อง Slit เข้าไปยังอีกส่วนของ Collector A

ส่วนที่ 2 ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อิเล็กตรอนที่ออกจากช่อง Slit แล้ว  
มีความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง (ตามความต่างศักย์ที่ป้อนให้ในตอน  
แรก) โดยจำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในส่วนนี้ จะถูกวัดออกมาใน  
รูปกระแส โดย Ammeter เป็นกระแสเริ่มต้น ( $I_0$ ) ที่จะนำ  
มาหาค่า m.f.p. และอิเล็กตรอน จำนวนนี้จะวิ่งผ่านเข้าไป  
ในช่อง Slit ( $s_1$ ) เข้าไปยัง Collector B

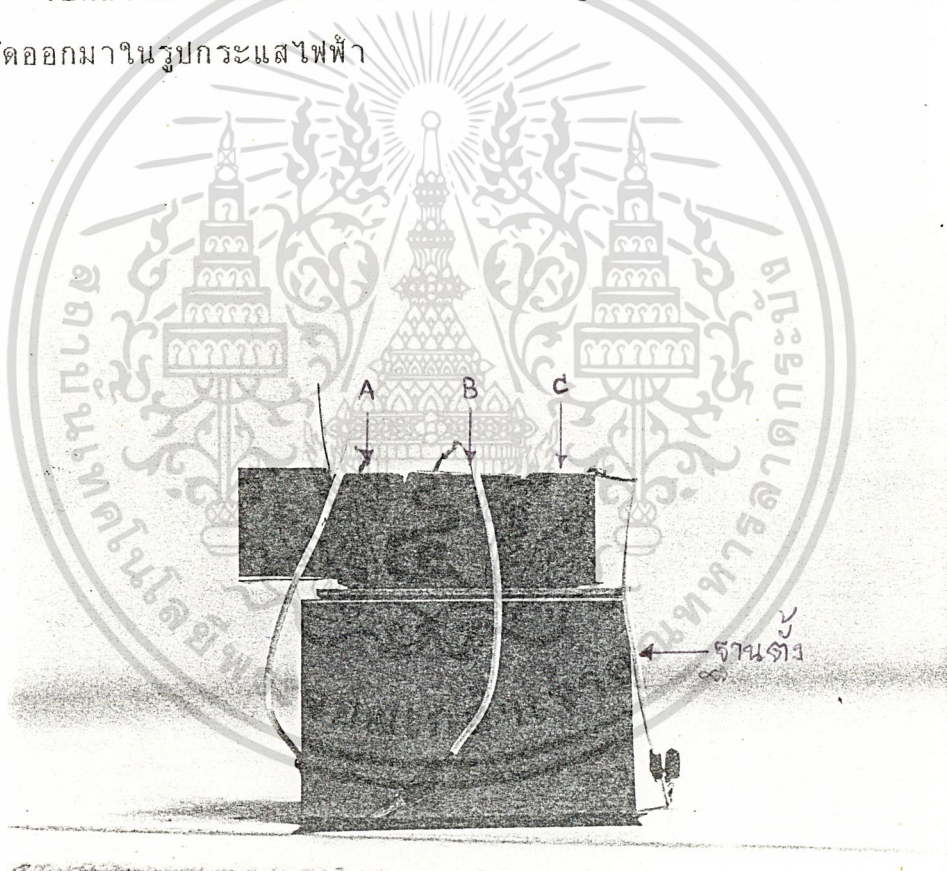
#### 3.2.2.2 Collector B

เป็นส่วนที่กำหนดค่า free path ที่เราจะใช้ในการคำนวณตามสูตร  
 $I = I_0 e^{-x/L}$  ในการทดลองครั้งนี้ Collector B มีค่า free path ( $x$ ) = 5  
cm โดยในทางทฤษฎีอิเล็กตรอนที่มีค่า free path ต่ำกว่า 5 cm จะไม่สามารถ  
วิ่งผ่านช่อง Slit ( $s_2$ ) เข้าไปได้ เนื่องจากอิเล็กตรอนนั้นจะชนกับโมเลกุลของ

ก๊าซก่อนที่จะถึงช่อง Slit ( $S_2$ ) ทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางการวิ่งหรือเข้าไปชนกับโมเลกุลของก๊าซเป็นไอออนลบ หรืออาจจะทำให้เกิดการ Ionized ขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งไปไม่ถึงช่อง Slit ( $S_2$ ) ดังนั้น จึงมีเพียงอิเล็กตรอนที่มีค่า free path มากกว่าหรือเท่ากับ 5 cm ที่สามารถวิ่งผ่านช่อง Slit ( $S_2$ ) เข้าไปยัง Collector C เท่านั้น

### 3.2.2.3 Collector C

เป็นส่วนที่เก็บอิเล็กตรอนที่มีค่า free path มากกว่าหรือเท่ากับ 5 cm โดยจะวัดออกมาในรูปกระแสไฟฟ้า



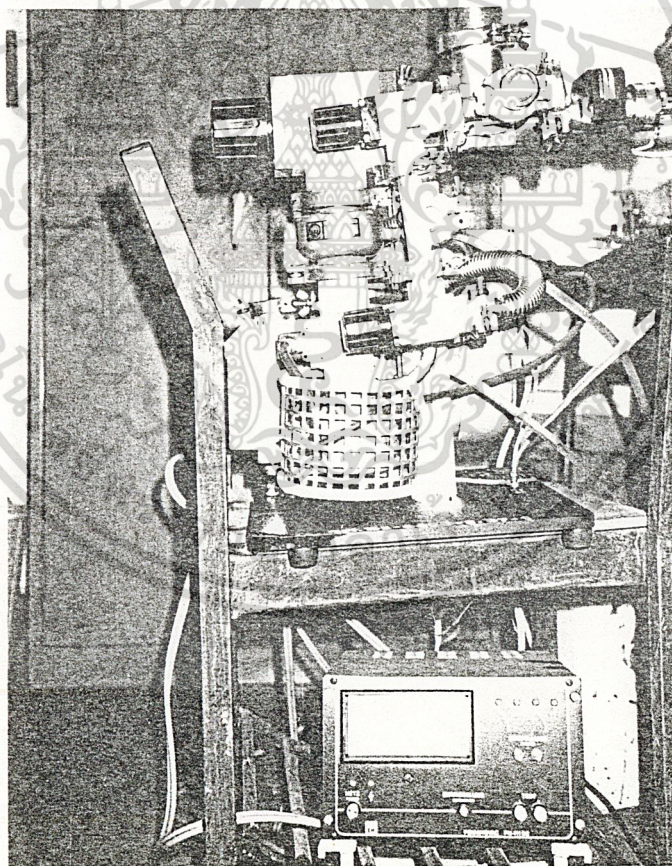
รูปที่ 3.4 Collector A, B และ C

### 3.2.3 เครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่เราจะใช้จะเป็น Ammeter ขนาด 0-500 mA จะนำไปใช้วัดที่ 2 จุด คือ ที่ Collector B และ Collector C เพื่อจะนำค่ามาคำนวณอีกที และค่าที่วัดได้ที่ Collector B และ Collector C รวมกัน จะเป็นค่ากระแสที่วัดที่จุด Collector A

### 3.3 ส่วนอุปกรณ์ควบคุมความดัน

เป็น pumping system ประกอบขึ้นด้วย Rotary pump กับ diffusion pump โดยที่ Rotary pump จะ pump จนถึง  $10^{-2}$  Torr และ diffusion pump จะ pump ต่อไปจนถึง  $10^{-5}$  Torr



รูปที่ 3.5 Pumping System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการทดลอง

1. เตรียมชุดทดสอบเรื่อง mean free path ให้พร้อม
2. ดูอากาศที่อยู่ภายใน Container ออกให้เป็นสุญญากาศ จากนั้น  
ใส่ก๊าซ  $N_2$  เข้าไปใน container แล้วค่อย ๆ ดูก๊าซ  $N_2$   
จนกว่าภายใน Container จะมีความดัน  $10^{-3}$  Torr
3. เริ่มปรับโวลเตจของ power supply ชุดที่จ่ายไฟให้กับ  
filament โดยเริ่มที่ 5 โวลต์ แล้วค่อย ๆ เพิ่มทีละ 5 โวลต์
4. เริ่มปรับโวลเตจของ power supply ชุดที่เพิ่มพลังงานให้  
อิเล็กตรอนจาก 0-100 โวลต์ แล้วสังเกตค่ากระแสจาก  
Ampmeter  $G_0$  ว่ากระแสไหลหรือยัง ถ้าหากยังไม่มีกระแสไหล  
หรือน้อยเกินไปให้กลับไปทำข้อ 3 อีกที
5. เมื่อเราได้ระดับโวลเตจของ power supply ชุดที่จ่ายไฟให้  
filament ว่าใช้ได้แล้ว เราก็ปรับโวลเตจของ power supply  
ชุดที่เพิ่มพลังงานให้อิเล็กตรอน ปรับขึ้นทีละ 10 โวลต์ ทำการ  
บันทึกค่าที่ได้จาก Ampmeter ทั้ง 3 ตัว ( $G_0, G_1, G_2$ ) เทียบ  
กับโวลเตจที่จ่ายจาก Supply
6. นำค่ากระแสที่อ่านได้จากการทดลองไปคำนวณ หาค่า  
mean free path ตามสูตร  $I = I_0 e^{-x/L}$  โดย  
 $I_0$  คือ ค่ากระแสที่วัดจาก Ampmeter  $G_2$  รวมกับ  $G_1$   
 $I$  คือ ค่ากระแสที่วัดจาก Ampmeter  $G_2$   
เมื่อ  $x = 5$  cm

$$\text{ได้ } L = \frac{-x}{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)}$$

7. ทำค่า mean free path (L) ที่คำนวณได้มาเขียนกราฟ  
ความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/L$  กับ VOLT

บันทึกผลการทดลอง

Volt	$\sqrt{\text{Volt}}$	$I_0(\text{A})$	$I(\text{A})$	$L(\text{Cm})$	$1/L (\text{cm}^{-1})$
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					

## บทที่ 4

### อุปสรรคในการทดลอง

เนื่องจากขณะทำการทดลอง ได้เกิดปัญหาบางอย่างกับอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งส่งผลทำให้การทดลองครั้งนี้ไม่สามารถทำได้สำเร็จ และไม่สามารถวัดผลการทดลองได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นมี ดังนี้

#### 4.1 ส่วน Container

กล่อง Container ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมา นั้น จะต้องเป็น Container ที่สามารถทนความดันต่ำ ได้ และไม่มีรอยร้าวที่จะทำให้อากาศเข้าออกได้ เมื่อนำไปต่อกับระบบ pumping เพื่อทำการดูดอากาศออกจากภายในกล่อง Container เพื่อให้มีความดันภายในประมาณ  $10^{-9}$  Torr (เป็นความดันที่เหมาะสมในการทำการทดลอง) แต่ปรากฏว่าไม่สามารถทำให้ Container มีความดันถึง  $10^{-9}$  Torr สามารถทำได้ต่ำสุดเพียง  $10^{-1}$  Torr แต่เมื่อปิดระบบ Pumping อากาศก็จะไหลเข้าไปยังกล่อง Container ได้จนมีความดันเท่าความดันภายนอก แสดงว่าเกิดรอยร้าวที่กล่อง Container แต่เราไม่สามารถตรวจสอบหาจุดที่รั่วบน Container ได้

กล่อง Container ที่ได้สร้างขึ้นมา นั้น จะมีฝาเปิดปิดอยู่ด้านบนกล่อง เพื่อใช้ในการเปิดปิดสำหรับการทดสอบหาไส้ filament ที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำการทดลองก่อน ดังนั้น จึงไม่สามารถปิดตายได้ แต่จะมีแผ่นยางปิดก่อนปิดฝาดีกทีหนึ่ง เราจึงสันนิษฐานว่าที่ฝาเปิดปิดจะทำให้เกิดการรั่วไหลของอากาศผ่านเข้าออกได้ หรือไม่กี่คงที่เป็นรอยต่อ Terminal และรอยต่อข้าง ๆ ของกล่อง Container ที่ทำการฉีดยาลิโคน ป้องกันการรั่ว เนื่องจากซิลิโคนอาจจะป้องกันไม่ให้น้ำไหลออกได้ แต่อาจจะไม่สามารถป้องกันอากาศไหลออกไปได้ ดังนั้น เราจึงไม่ได้ Container ที่ตรงตามที่ต้องการ

#### 4.2 ส่วนไส้ filament

ไส้ filament ที่เราต้องการใช้จริง ๆ นั้น ควรจะเป็น ทั้งสแตนเบริสทูทึ โดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0085 นิ้ว และยาว 3 11/16 นิ้ว ซึ่งจะทำให้เกิดการ Emission ที่ให้อิเล็กตรอนเพียงพอตามต้องการ เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ การจัดหา filament ตามที่ระบุไว้ นั้น ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากในประเทศไทยไม่มีการทำไส้ทั้งสแตนเบริสทูทึ มีแต่การทำไส้ทั้งสแตนผสม ดังนั้น เราจึงได้นำไส้หลอด Incandescent มาทำการทดลองแทนไส้ทั้งสแตนเบริสทูทึ ทำให้เกิดการ Emission น้อยกว่าที่ต้องการ

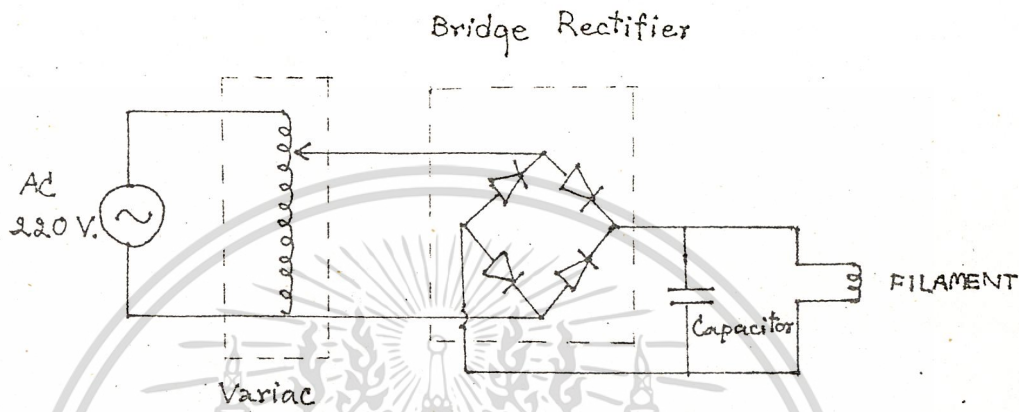
ไส้ filament สามารถ Emission ได้อิเล็กตรอนตามที่ต้องการก็ต่อเมื่อให้ความร้อนสูง ๆ แก่ไส้ filament (โดยวิธี Thermionic Emission จะเป็นการจ่ายกระแสไฟให้กับไส้หลอด โดยที่กระแสไฟจะสูงมากกว่า 1.5 A จึงจะทำให้ไส้ filament ทั้งสแตนเบริสทูทึ ปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้ตามที่ต้องการ) แต่เมื่อทำการทดลองโดยที่เราได้ใช้ไส้หลอด Incandescent แทนไส้ทั้งสแตนเบริสทูทึ เพื่อจ่ายกระแสไฟประมาณ 600 mA เข้าไป ทำให้ไส้ filament เกิดไหม้จนไส้เกิดขาดได้ ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากยังมีอากาศอยู่ในกล่อง Container เมื่อไส้ filament มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดอิเล็กตรอน ซึ่งจะไปไอออไนซ์โมเลกุล  $O_2$  และไอออน  $O_2$  ทำปฏิกิริยาเคมีกับไส้ filament จนทำให้ไส้ filament ขาดได้

#### 4.3 ส่วน Supply ที่จ่ายไส้ filament และส่วนที่ให้พลังงาน

##### แก้อิเล็กตรอน

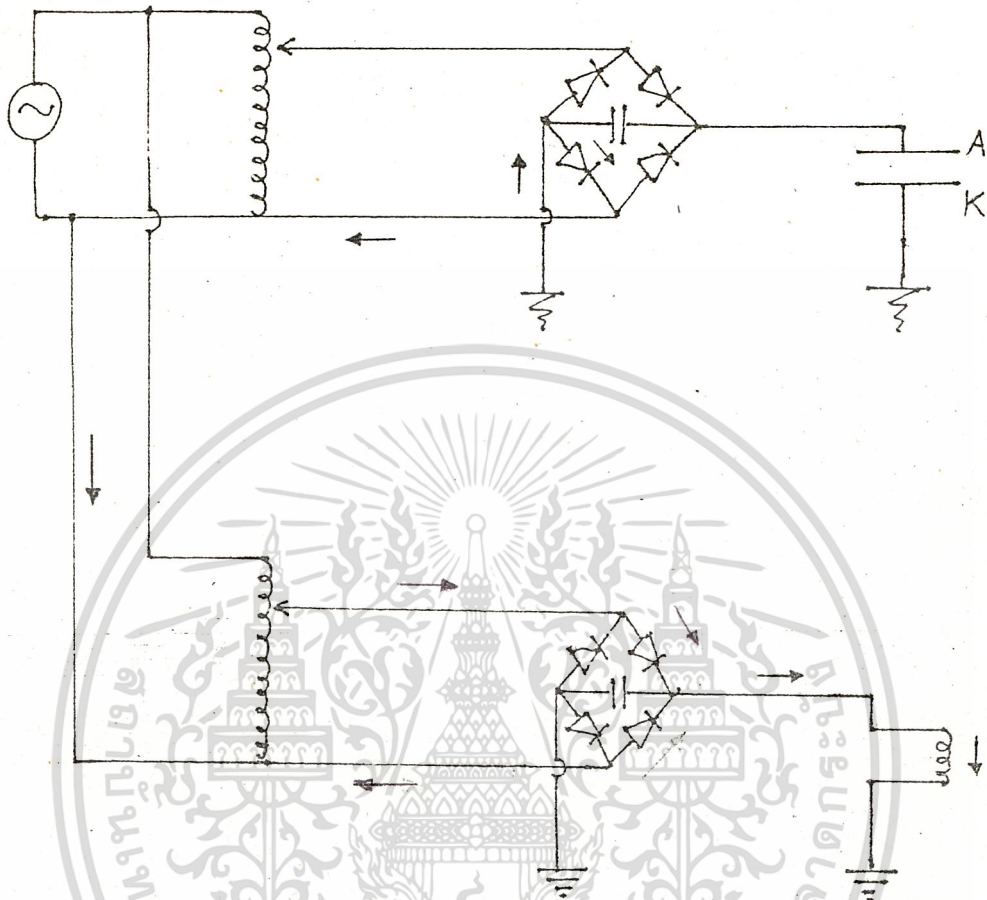
Supply ที่จ่ายไฟให้ไส้ filament นั้นในช่วงแรกใช้ Regulator Power Supply ขนาด 0-30V เมื่อทำการทดลอง ปรากฏว่า สามารถจ่ายไฟให้แก่อิเล็กตรอนได้เพียง 200 mA ดังนั้นจึงเปลี่ยน Supply มาเป็นแบบ Bridge Rectifier โดยใช้ Variac เป็นตัวปรับ Voltage ที่คร่อมไส้ filament และใช้ capacitor ต่อเข้าในวงจร เพื่อลดผลของ

Ripple ที่เกิดจากการใช้ Bridge Rectifier เพื่อเปลี่ยนไฟ AC เป็น DC โดยมีวงจรดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบ Bridge Rectifier สำหรับจ่ายไฟ filament

แต่ปรากฏว่าเมื่อนำขั้วลบของ Supply ทั้งสองชุดในส่วนของไฟ DC มาต่อรวมกันคือ ชุดที่จ่ายไฟให้ไส้ filament และส่วนที่ทำให้พลังงานแก่อิเล็กตรอน (Supply ทั้งสองชุดมีลักษณะเป็นวงจร Bridge Rectifier เหมือนกัน) ปรากฏว่าเกิดกระแสไหลระหว่างชุด Supply ทั้งสอง โดยไหลผ่านขั้วลบของไฟ DC ทิศทางการไหลกระแสไฟมีทิศทางดังรูป 4.2



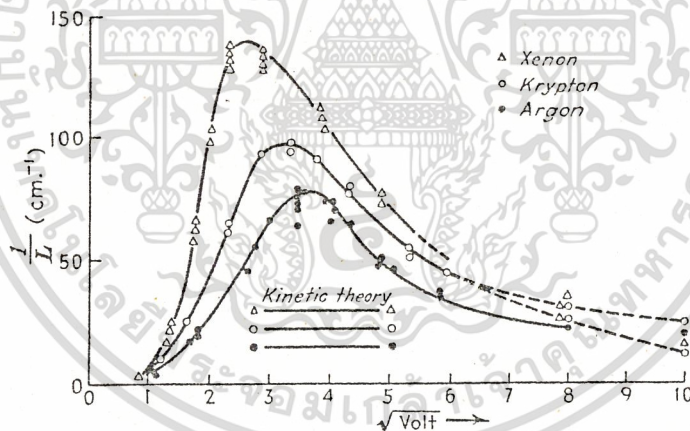
รูปที่ 4.2 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟระหว่างแหล่งจ่ายไฟทั้งสองชุด เราจะเห็นได้ว่าถ้าเราใช้ Bridge Rectifier จะทำให้เกิดการผิดพลาด เนื่องจากมีกระแสไหลต่อกัน ดังนั้น เราควรจะหา DC Battery ที่สามารถจ่ายกระแสไฟได้สูงกว่า 1.5 A มาต่อให้กับไส้ filament และใช้ DC Battery ป้อนพลังงานให้แก่อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อจะทำให้ Supply ทั้งสองชุดไม่ส่งผลมาถึงกัน ทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้นอีกได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากการทำการทดลองเรื่อง m.f.p. ครั้งนี้ ประสบกับอุปสรรคที่กล่าวมาแล้ว จึงทำให้ทำการทดลองไม่สำเร็จ และไม่มีผลการทดลอง ดังนั้นจึงขอกล่าวผลการทดลองที่น่าจะเป็นไปได้ ถ้าหากทำการทดลองได้จนสำเร็จ โดยอาศัยผลการทดลองของ RAMSAUER เป็นแนววิเคราะห์ผลที่จะได้

กราฟที่ได้จากการคำนวณโดยอาศัยผลการทดลองของทั้งก๊าซ  $N_2$  และ  $H_2$  จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับกราฟของ XENON, KRYPTON, ARGON ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/L$  กับ  $\sqrt{\text{VOLT}}$  สำหรับ Slow electron

จากกราฟรูปที่ 5.1 นั้นจุดที่ 1/L มากที่สุดคือจุดที่ค่า m.f.p. มีค่าน้อยที่สุด และจุดนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ณ ที่ระดับ voltage ที่ทำให้เกิด minimum m.f.p. นั้นทำให้เกิดการ IONIZATION, EXCITATION หรือ ATTACHMENT มากที่สุด



## เอกสารอ้างอิง

1. ดร. นีพนธ์ สุภุม B. Eng (Hons), Ph.D. (Liverpool)  
"Kinetic Theory of gases และ Gas discharge"  
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ดร. สวรรวย ลังษ์สะอาด "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. James Dillon Cobine, Ph.D. "Gaseous Conductors"  
Constable & Co., Ltd., 1958
4. Samuel Seely, Ph.D. "Electron - tube Circuits"  
McGRAW - HILL Book Company, INC., 1950.

## กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รศ.ดร. นิพนธ์ สุขุม ที่ให้คำแนะนำทางวิชาการ และช่วยเหลือในการปฏิบัติการทำ Project ชี้นี้ และขอขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือ และประสิทธิ์ประสาทวิชาให้



สมชาติ วชิรลาภไพฑูรย์

สนอง วีระไวทยะ

อุดมเวช บุญธรรมมา

3/04/34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vakuumtechnik

Vakuump-  
Verfahrenstechnik

Meß- und  
Analysetechnik



LEYBOLD AG

Ein Unternehmen der Degussa

GA 08.100

Gebrauchsanweisung  
Operating Instructions  
Mode d'emploi

PD

40, 40L, 180, 180L, 410

Säulenpumpstände mit Grobpumpleitung  
Pillar Pump Systems with Roughing Line  
Groupe de pompage avec canalisation de  
prévidage

0 11 50/51/52/53/54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	Beschreibung
1.1	Allgemeines
1.2	Lieferumfang
1.3	Technische Daten
2	Anschluß und Inbetriebnahme
2.1	Vorbereitung zur Inbetriebnahme
2.1.1	Zweistufige Drehschieber -Vakuumpumpe
2.1.2	Öl-Diffusionspumpe
2.1.3	Kühlwasser-Anschluß
2.1.4	Elektrischer Anschluß
2.1.5	Auspuff-Leitung
2.1.6	Vakuum-Meßstellen
2.2	Inbetriebnahme
2.2.1	Bedienung der Ventile
2.2.2	Pumpstand
2.2.3	Chargenbetrieb
2.3	Abschalten des Pumpstandes
2.4	Lufteinbruch
3	Wartung
3.1	Vorvakuumpumpe
3.2	Öl-Diffusionspumpe
3.2.1	Austausch der Heizung
3.3	Allgemeine Hinweise für den Betrieb

1	Description
1.1	General
1.2	Standard Specification
1.3	Technical Data
2	Connection and Start-up
2.1	Preparations for Start-up
2.1.1	Two-Stage Rotary Vane Vacuum Pump
2.1.2	Oil Diffusion Pump
2.1.3	Cooling Water Connection
2.1.4	Electrical Connection
2.1.5	Exhaust Line
2.1.6	Vacuum Gauge Points
2.2	Start-up
2.2.1	Operation of Valves
2.2.2	Pump System
2.2.3	Batch Operation
2.3	Shutdown of Pump System
2.4	Accidental Air Admission
3	Maintenance
3.1	Backing Pump
3.2	Oil Diffusion Pump
3.2.1	Replacing the Heater
3.3	General Notes on Operation

1	Description
1.1	Généralités
1.2	Equipement standard
1.3	Données techniques
2	Raccordement et mise en service
2.1	Préparatifs pour la mise en service
2.1.1	Pompe rotative biétagée à palettes
2.1.2	Pompe à diffusion d'huile
2.1.3	Raccordement de l'eau de refroidissement
2.1.4	Raccordement électrique
2.1.5	Conduite d'échappement
2.1.6	Points de mesure du vide
2.2	Mise en service
2.2.1	Fonctionnement des robinets
2.2.2	Mise en service du groupe de pompage
2.2.3	Service intermittent
2.3	Mise hors service du groupe de pompage
2.4	Entrées d'air involontaires
3	Entretien
3.1	Pompe primaire
3.2	Pompe à diffusion d'huile
3.2.1	Démontage du chauffage de la pompe à diffusion d'huile
3.3	Remarques générales sur le service

## Anlagen

GA 00.002	
zu PD 40:	GA 01.200/GA 06.106
zu PD 40L:	GA 01.200/GA 06.106
zu PD 180:	GA 01.201/GA 06.106 und 06.302
zu PD 180 L:	GA 01.201/GA 06.106 und 06.302
zu PD 410:	GA 01.202/GA 06.106 und 06.302

## Enclosures

GA 00.002	
for PD 40:	GA 01.200/GA 06.106
for PD 40L:	GA 01.200/GA 06.106
for PD 180:	GA 01.201/GA 06.106 und 06.302
for PD 180 L:	GA 01.201/GA 06.106 und 06.302
for PD 410:	GA 01.202/GA 06.106 und 06.302

## Annexes

GA 00.002	
pour PD 40:	GA 01.200/GA 06.106
pour PD 40L:	GA 01.200/GA 06.106
pour PD 180:	GA 01.201/GA 06.106 et 06.302
pour PD 180 L:	GA 01.201/GA 06.106 et 06.302
pour PD 410:	GA 01.202/GA 06.106 et 06.302

## Wichtige Hinweise

Im Rahmen des neugestalteten Abfallgesetzes vom 1. Nov. 1986 hat die Entsorgung von Altöl eine Neuregelung erfahren. Nach dem Abfallrecht gilt hier das Verursacher-Prinzip.

**Somit sind Altöl-Besitzer für die ordnungsgemäße Entsorgung verantwortlich.**

Das Altöl aus Vakuumpumpen darf nicht mit anderen Stoffen vermischt werden.

Altöle aus Vakuumpumpen (LH-Öle auf Mineralölbasis), die nur durch normalen Verschleiß infolge der Einwirkung von

**Luftsauerstoff, Temperaturerhöhung und mechanischen Abrieb**

verunreinigt sind, müssen der Altöl-Entsorgung zugeführt werden.

Altöle aus Vakuumpumpen, verunreinigt durch andere Stoffe, müssen unter Hinweis auf die jeweilige Verunreinigung gekennzeichnet, gelagert und als Sonderabfall entsorgt werden.

Da für den Verbleib des Altöls eine Nachweispflicht besteht, sowie der Transport desselben genehmigungspflichtig ist, empfehlen wir alle notwendigen Informationen einzuholen, beim

**Bundesamt für Gewerbliche Wirtschaft (BAW)**  
Frankfurter Str. 29-31  
6236 Eschborn/Taunus  
Telefon: (0 61 96) 40 41 - Telex: 41 56 03/04

## LEYBOLD-Service

Vor jeder Inanspruchnahme des LEYBOLD-Service ist es aus Gründen der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes notwendig, am oder im Gerät befindliche, gefährliche Stoffe (z.B. im Sinne EG-Richtlinie L 360, 1976/1979 oder VPG 16) anzuzeigen und zu deklarieren. Sofern keine Deklaration erfolgt, muß LEYBOLD davon ausgehen, daß das Gerät von derartigen Stoffen frei ist.

Unter bestimmten Einsatz-Bedingungen können beim Betrieb der Vakuumpumpe gefährliche Zustände nicht ausgeschlossen werden. In diesen Fällen sollten Sie sich wegen einer Beratung mit uns in Verbindung setzen.

## Important notes

Under the amended law relating to waste disposal dated 1st November 1986 (F.R.G.) the disposal of used oil is subject to new provisions.

According to legislation relating to waste disposal the so-called principle of causality is applied.

**Hence, anyone in possession of used oil is responsible for its proper disposal.**

Used oil coming from vacuum pumps must not be mixed with other substances.

Used oils from vacuum pumps (LH oils on the basis of mineral oils) having been affected by normal contamination due to

**oxygen from the ambient air increases in temperature and mechanical wear**

must be disposed of as used oil in accordance with the regulations.

Used oils from vacuum pumps that have been contaminated by other substances must be labelled, stored and disposed of as special waste with reference to the kind of contamination.

If you send a pump to LEYBOLD for repair please indicate any harmful substances existing in the pump oil or around the pump.

A form is available from LEYBOLD for this purpose.

When disposing of used oil please observe the safety regulations that are valid in your country.

## Important

Any time it is necessary to call the LEYBOLD after-sales service, please indicate for the sake of operational safety any toxic or other harmful products or media, or such involving environmental hazard etc. (as laid down, for instance, in the Common Market Guideline L 360, 1976/1979) that may exist in or near the apparatus to be serviced. In the absence of any such statement, LEYBOLD may rightfully assume that no products or media of this kind, as indicated exist.

Under certain operating conditions, dangerous situations may occur when running the vacuum pump. If this happens, please contact our local office.

## Remarques importantes

Dans le cadre de la nouvelle loi fédérale portant sur la décharge des déchets du 1er novembre 1986, la décharge de l'huile usagée a fait l'objet d'un nouveau règlement appliquant le principe de causalité.

**Aussi les sociétés productrices d'huile usagée sont-elles responsables de la décharge de celle-ci conformément aux règles.**

L'huile usagée provenant des pompes à vide ne doit pas être mélangée avec d'autres substances.

L'huile usagée provenant des pompes à vide (huiles LH à la base d'huile minérale) uniquement altérée par:

**l'oxygène de l'air ambiant les augmentations de températures et l'usure mécanique**

doit être amenée à la décharge normale d'huile usagée.

Les huiles usagées provenant des pompes à vide contaminées par d'autres substances devront être stockées et déchargées en tant que déchets spéciaux en indiquant la nature de contamination.

Lorsque vous renvoyez une pompe à réparer à LEYBOLD, veuillez indiquer toutes les matières dangereuses qui peuvent être dans l'huile ou sur la pompe. Veuillez utiliser pour cela le formulaire que nous avons préparé à cet effet et que nous vous ferons parvenir sur demande.

Lors de la décharge de l'huile usagée respecter les consignes en matière de protection de l'environnement en vigueur dans votre pays.

## Attention

Pour des raisons de sécurité du travail et de l'environnement, veuillez nous indiquer s.v.p. à chaque demande d'intervention du S.A.V. de LEYBOLD les produits et matières nocifs ou toxiques (en vertu par exemple des directives de la Communauté Européenne L 360, 1976/1979 ou VBG 16) se trouvant éventuellement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'appareil en question, faute de quoi LEYBOLD considérera que l'appareil est exempt de tels produits.

Des situations dangereuses ne sont pas exclues lors du fonctionnement de la pompe à vide sous certaines conditions d'utilisation. Dans de tels cas, nous vous prions de prendre contact avec nos spécialistes.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Erläuterungen zur Abb. 1

- 1 Zweistufige Drehschieber-Vakuumpumpe TRIVAC D 1,6B
- 2 Vorvakuumventil
- 3 Grobvakuumventil
- 4 Hochvakuumventil
- 5 Dampfsperre
- 6 Öl-Diffusionspumpe
- HV Hochvakuum-Meßstelle
- VV1 Vorvakuum-Meßstelle/Öl-Diffusionspumpe
- VV2 Vorvakuum-Meßstelle/Grobvakuumleitung
- BV Belüftungsventil

Key to Fig. 1

- 1 Two-Stage rotary vane vacuum pump TRIVAC D 1,6B
- 2 Backing valve
- 3 Rough-vacuum valve
- 4 High-vacuum-valve
- 5 Baffle
- 6 Oil diffusion pump
- HV High-vacuum-gauge point
- VV1 Fore-vacuum gauge point/oil-diffusion pump
- VV2 Fore-vacuum gauge point/roughing line
- BV Venting valve

Légende de la fig. 1

- 1 Pompe à palettes biétagée TRIVAC D 1,6B
- 2 Robinet vide primaire
- 3 Robinet de prévidage
- 4 Robinet vide poussé
- 5 Baffle
- 6 Pompe à diffusion d'huile
- HV Point de contrôle vide poussé
- VV1 Point de contrôle vide primaire/pompe à diffusion d'huile
- VV2 Point de contrôle vide primaire/canalisation de prévidage
- BV Robinet d'entrée d'air

\*) Im PD 40 ist die Kühlung der Dampfsperre mit der Öl-Diffusionspumpe gekoppelt.  
 \*) With the PD 40 the cooler of the baffle and that of the oil-diffusion pump are coupled.  
 \*) Au PD 40 le refroidisseur du baffle est relié à celui de la pompe à diffusion d'huile.  
 = --- Optionen/options

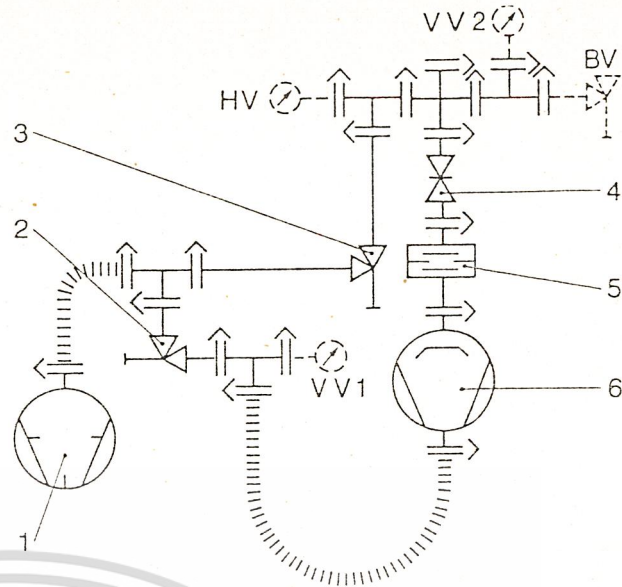


Abb. 1 Aufbauschema eines Säulenpumpstandes mit Grobvakuumleitung

Fig. 1 Schematic diagram of a pillar pump system with roughing line

Fig. 1 Schéma d'un poste de pompage mobile avec canalisation de prévidage

1 Beschreibung

1.1 Allgemeines

Der vakuumtechnische Aufbau der Pumpstände ist für alle hier aufgeführten Typen gleich. Der Unterschied ist durch die Kühlart Wasser- bzw. Luftkühlung gegeben. Die Pumpstände enthalten die notwendigen Verbindungselemente für Vakuum und Elektrik, eine zweistufige Drehschieber-Vakuumpumpe als Vorpumpe (1/1), eine Öl-Diffusionspumpe (1/6) mit Schalendampfsperre (1/5), ein Vorvakuumventil (1/2), ein Grobvakuumventil (1/3) und ein Hochvakuumventil (1/4).

Die Drehschieber-Vakuumpumpe (1/1) ist mit einem Gasballastventil, zusätzlicher Geräuschkämpfung und einem Saugstutzenventil ausgerüstet. Das Saugstutzenventil sperrt bei Stromausfall bzw. beim Abschalten die Vakuumleitung zur Diffusionspumpe ab. Öl-Diffusionspumpe, Vakuumbehälter oder andere Aufbauten werden also nicht über die Vorpumpe zwangsbelüftet.

Das Gasballastventil wird durch Drehen des Gasballast-Knebels (an der Stirnseite der Pumpe) geöffnet bzw. geschlossen. Es verhindert durch Einlassen von Nebenluft – Gasballast – eine Kondensation der Dämpfe im Schöpfraum.

Drehschieber-Vakuumpumpe und Ventile sind durch eine flexible Leitung aus Edelstahl miteinander verbunden. In die Vorvakuumleitung ist ein T-Stück mit Anschlußflansch DN 16 KF (blindgeflanscht) eingebaut. Zur Überwachung des Vorvakuumdruckes können an diesem Anschlußflansch eine Meßröhre, z.B. TR 201, oder andere Geräte direkt angeschlossen werden.

Belüftungsventil sowie Hochvakuum-Meßröhre gemäß Abb. 1 anschließen.

1 Description

1.1 General

The design principle of the pump systems is the same for all models described here. They differ only in their cooling systems, which are for water or air cooling. The equipment includes the necessary connecting elements for vacuum and power, a two-stage rotary vane vacuum pump as backing pump (1/1), an oil diffusion pump (1/6) with shell baffle (1/5), a backing valve (1/2), a roughing valve (1/3) and a high-vacuum valve (1/4).

The rotary vane vacuum pump (1/1) is equipped with a gas ballast valve, additional silencer and anti-suckback valve. The anti-suckback valve isolates the vacuum line to the oil diffusion pump in the event of a power failure or when the pump system is shut down. Hence the oil diffusion pump, vacuum chamber or any parts of a connected vacuum system are not automatically vented via the backing pump.

The gas ballast valve is opened or closed by turning the knob at the front of the pump. The condensation of vapors in the pump chamber is avoided by admitting secondary air, so-called "gas ballast".

The rotary vane vacuum pump and valves are interconnected by flexible stainless-steel tubing. Between this connecting line and the backing pump a tee with blanked-off flange DN 16 KF is fitted. On this connecting flange a gauge tube, e.g. TR 201, or other gauges can be directly connected to monitor the backing pressure.

Connect the venting valve and high-vacuum gauge head in accordance with Fig. 1.

The shell baffle and oil diffusion pump are mounted underneath the assembly plate.

The high-vacuum valve (1/4) is mounted above the assembly plate.

1 Description

1.1 Généralités

Tous les types de groupes de pompage mentionnés présentent la même construction et ce qui concerne la technique du vide. La différence réside dans le type de refroidissement, à eau ou à air. Les groupes sont équipés des raccords vide et électrique nécessaires, d'une pompe rotative biétagée, palettes servant de pompe primaire (1/1), d'une pompe à diffusion d'huile (1/6) avec baffle à cuvettes (1/5), d'un robinet vide primaire (1/2), d'un robinet de prévidage (1/3) et d'un robinet vide poussé (1/4).

La pompe rotative à palettes (1/1) est équipée d'un robinet de lest d'air avec silencieux et d'un clapet anti-retour. Ce dernier ferme la conduite du vide vers la pompe à diffusion d'huile en cas de panne ou d'arrêt volontaire de l'alimentation électrique. On évite ainsi la mise à l'atmosphère automatique, par la pompe primaire, de la pompe à diffusion, de l'enceinte sous vide ou d'autres équipements éventuels.

On ouvre ou ferme le robinet de lest d'air en tournant la commande du lest d'air (sur la face avant de la pompe). Il empêche la condensation de vapeur dans la chambre de la pompe par injection d'air.

La pompe à palettes et les robinets sont reliés par une conduite flexible en acier surfin. Un T avec bride de raccordement DN 16 KF (obturée) est monté dans la conduite vide primaire. On peut y raccorder directement des appareils, notamment un capteur, p.ex. TR 201, pour surveiller la pression primaire.

Raccorder un robinet d'aération et le capteur vide poussé comme indiqué dans la fig. 1.

Le baffle à cuvettes et la pompe à diffusion d'huile sont fixés par le bas à la plaque de montage.

Schalendampfsperre und Öl-Diffusionspumpe sind von unten an der Montageplatte befestigt.

Das Hochvakuumventil (1/4) befindet sich oberhalb der Montageplatte.

Über dem Hochvakuumventil können die prozeßbedingten Aufbauten montiert werden. Die Verbindungselemente zum direkten Anschluß gehören zum Lieferumfang des Pumpstandes.

Zu Wartungszwecken kann die Öl-Diffusionspumpe nach unten hin ausgebaut werden, ohne daß die oberen Aufbauten gelöst werden müssen.

Ein Thermo-Schutzschalter, der die Heizung der Öl-Diffusionspumpe bei unzulässig hoher Temperatur abschaltet, schützt die Öl-Diffusionspumpe vor Beschädigungen, z.B. durch Kühlwasserausfall bzw. Ausfall des Gebläses.

Der Motor der Gasballastpumpe ist durch einen Überstromauslöser zuverlässig geschützt.

Vorpumpe und Öl-Diffusionspumpe werden über einen Drehschalter getrennt geschaltet.

Detaillierte Angaben zu den eingebauten Vakuum-Komponenten entnehmen Sie bitte den beiliegenden Gebrauchsanweisungen.

## 1.2 Lieferumfang

Die zweistufige Rotorschieber-Vakuumpumpe ist bei Auslieferung des Pumpstandes mit Spezialöl N62 gefüllt. Das für die Öl-Diffusionspumpe notwendige Treibmittel, DIFFELEN® normal, wird separat mitgeliefert.

Die Pumpstände sind für den Transport verschlossen.

Der Hochvakuum-Anschlußflansch der Pumpstände PD 40 und PD 40L ist mit einem Spann- und Zentrierring DN 40 KF mit Blindflansch verschlossen; die anderen Pumpstände sind durch einen ISO-K-Blindflansch einschließlich Zentrier- und Dichtring sowie vier Schrauben verschlossen.

Der Auspuff-Flansch ist mit einer Gummi-Membran durch Zentrier- und Spannring für den Transport verschlossen.

Für den elektrischen Anschluß sind die Säulenpumpstände mit einer 2 m langen Leitung und Schukostecker für 220 V, 50 Hz, ausgerüstet.

Die Pumpstände werden vor der Auslieferung in unserem Werk auf Funktion und Dichtheit geprüft.

Additional components required for the process can be mounted on top of the high-vacuum valve. The fitting for direct mounting are part of the standard equipment of the pump system.

For maintenance purposes the oil diffusion pump can be taken off downward without having to disassemble the components mounted on top.

A thermal protection switch, which turns off the heater whenever the pump system becomes overloaded, prevents damage to the oil diffusion pump, e.g. due to failure of the water supply or of the fan.

The motor of the gas ballast pump is reliably protected by an overload circuit breaker.

The backing pump and oil diffusion pump are switched on separately via rotary switch.

Details of the built-in vacuum components are contained in the attached operating instructions.

## 1.2 Standard Specification

The two-stage rotary vane vacuum pump is supplied filled with special oil N62. The fluid needed for the oil diffusion pump, DIFFELEN® normal, is supplied in a separate container.

The pump systems are sealed for shipping.

The high-vacuum connecting flange of models PD 40 and PD 40L is sealed by a clamping and centering ring DN 40 KF with blank flange. All other pump systems are sealed by an ISO-K blank flange including centering ring, O-ring and 4 bolts.

The exhaust flange is sealed during shipping by a rubber diaphragm and a centering and clamping ring.

For connection to the mains, the pillar pump systems are equipped with a 2-meter cable and earthed plug for 220 V, 50 Hz.

Before delivery, the pump systems are tested in our factory for proper functioning and leak tightness.

Le robinet vide pousse (1/4) se trouve au-dessus de la plaque de montage.

Les équipements nécessaires au process peuvent se monter au-dessus du robinet vide poussé. Les éléments de raccordement direct font partie de l'équipement standard du groupe de pompage.

Pour les travaux d'entretien, on peut démonter la pompe à diffusion d'huile vers le bas, sans devoir démonter les équipements supérieurs.

Un interrupteur thermique, arrêtant le chauffage de la pompe à diffusion d'huile pour les températures trop élevées, protège la pompe à diffusion contre les endommagements provoqués p.ex. par une panne d'eau de refroidissement ou de la soufflante.

Le moteur de la pompe à lest d'air est protégé efficacement par un discontacteur à surintensité.

La pompe primaire et la pompe à diffusion d'huile sont enclenchées séparément par un interrupteur rotatif.

Vous trouverez des indications détaillées sur les différents composants dans les modes d'emplois en annexe.

## 1.2 Equipement standard

La pompe à palettes biétagée est remplie de l'huile spéciale N 62 à la livraison du groupe de pompage. Le fluide moteur nécessaire, DIFFELEN® normal, est livré séparément.

Les groupes de pompage sont fermés pour le transport.

La bride de raccordement vide poussé des groupes PD 40 et PD 40 L est fermée par une bague de serrage et de centrage DN 40 KF avec bride aveugle; les autres groupes sont fermés par une bride aveugle comprenant une bague de serrage et de centrage et quatre vis.

Pour le transport, la bride d'échappement est fermée avec une membrane en caoutchouc par une bague de serrage et de centrage.

Pour le raccordement électrique, les groupes de pompage sont équipés d'un cordon de 2 m de long et d'une prise à contacts de sécurité pour 220 V, 50 Hz.

Avant leur livraison, les groupes de pompage subissent en usine un contrôle de fonctionnement et d'étanchéité.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 Technische Daten

Wasser-/luftgekühlt (L)		PD 40	PD 40 L	PD 180	PD 180 L	PD 410	
Öl-Diffusionspumpe LEYBODIFF		40	40 L	180	180 L	410	
	Kat.-Nr.	219 20	219 40	219 25	219 45	219 30	
Saugvermögen für Luft bei 10 <sup>-5</sup> mbar	l·s <sup>-1</sup>	40	40	180	180	410	
Ölfüllung DIFFELEN normal, min./max.	cm <sup>3</sup>	10/20	10/20	30/70	30/70	100	
Vorpumpe, TRIVAC		D 1,6 B	D 1,6 B	D 8 B	D 8 B	D 8 B	
	Kat.-Nr.	112 25	112 25	112 55	112 55	112 55	
Nennsaugvermögen nach DIN 28400 ff	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	1,75	1,75	9,7	9,7	9,7	
Ölfüllung N 62, min./max.	cm <sup>3</sup>	160/250	160/250	300/900	300/900	300/900	
Schalendampfsperre aus Edelstahl		Kat.-Nr.	225 95	225 93	226 25	226 23	226 35
Leitwert	l·s <sup>-1</sup>	60	60	170	170	400	
Hochvakuumventil, handbetätigt		DN	40 KF	40 KF	63 ISO-K	63 ISO-K	100 ISO-K
	Kat.-Nr.	287 13	287 13	286 25	286 25	286 26	
Erreichbarer Enddruck bei Verwendung von DIFFELEN normal	mbar	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	
Hochvakuum-Anschluß	DN	40 KF	40 KF	63 KF	63 KF	100 ISO-K	
Auspuff-Anschluß	DN	16 KF	16 KF	25 KF	25 KF	25 KF	
Anschluß-Flansche							
Vorvakuum-Meßstelle	DN	10 KF	10 KF	10 KF	10 KF	10 KF	
Hochvakuum-Meßstelle	DN	40 KF	40 KF	40 KF	40 KF	40 KF	
Kühlwasser-Anschluß, Schlauchtülle Außen-Ø	mm	7	-	11,5	-	11,5	
Kühlwasser-Mindestdurchflußmenge	l·h <sup>-1</sup>	5	-	15	-	20	
Netzanschluß, 50 Hz	V	220	220	220	220	220	
Leistungsaufnahme	kW	0,35	0,5	1,0	1,1	1,1	
Anheizzeit der Diffusionspumpe	min	10-12	10-12	12-15	12-15	15-18	
Abmessungen, L×B×H	mm	370×290×455		500×425×728		485×640×728	
Gewicht	kg	21	23	70	70	75	
Pumpstand betriebsbereit, handbetätigte Ausführung		Kat.-Nr.	011 50	011 51	011 52	011 53	011 54

### 1.3 Technical Data

Water-cooled/air-cooled (L)		PD 40	PD 40 L	PD 180	PD 180 L	PD 410	
Oil diffusion pump LEYBODIFF		40	40 L	180	180 L	410	
	Ref.-No.	219 20	219 40	219 25	219 45	219 30	
Pumping speed for air at 10 <sup>-5</sup> mbar	l·s <sup>-1</sup>	40	40	180	180	410	
Oil filling DIFFELEN normal, min./max.	cm <sup>3</sup>	10/20	10/20	30/70	30/70	100	
Backing pump, TRIVAC		D 1,6 B	D 1,6 B	D 8 B	D 8 B	D 8 B	
	Ref.-No.	112 25	112 25	112 55	112 55	112 55	
Nominal pumping speed DIN 28 400 ff	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	1,75	1,75	9,7	9,7	9,7	
Oil filling N 62, min./max.	cm <sup>3</sup>	160/250	160/250	300/900	300/900	300/900	
Stainless steel shell baffle		Ref.-No.	225 95	225 93	226 25	226 23	226 35
Conductance	l·s <sup>-1</sup>	60	60	170	170	400	
High-vacuum valve, manually operated		DN	40 KF	40 KF	63 ISO-K	63 ISO-K	100 ISO-K
	Ref.-No.	287 13	287 13	286 25	286 25	286 26	
Attainable ultimate pressure when using DIFFELEN normal	mbar	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	
High-vacuum connection	DN	40 KF	40 KF	63 KF	63 KF	100 ISO-K	
Exhaust connection	DN	16 KF	16 KF	25 KF	25 KF	25 KF	
Connecting flanges							
Fore-vacuum gauge point	DN	10 KF	10 KF	10 KF	10 KF	10 KF	
High-vacuum gauge point	DN	40 KF	40 KF	40 KF	40 KF	40 KF	
Cooling water connection, hose nozzle OD	mm	7	-	11,5	-	11,5	
Minimum cooling water flow rate	l·h <sup>-1</sup>	5	-	15	-	20	
Mains supply, 50 Hz	V	220	220	220	220	220	
Power consumption	kW	0,35	0,5	1,0	1,1	1,1	
Warm-up time of diffusion pump	min	10-12	10-12	12-15	12-15	15-18	
Dimensions, (l×w×h)	mm	370×290×455		500×425×728		485×640×728	
Weight	kg	21	23	70	70	75	
Pump system, ready for operation, with manual control		Ref.-No.	011 50	011 51	011 52	011 53	011 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 วิศวกรแต่ละท่านก็ยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

Refroidie à l'eau/à l'air (L)		PD 40	PD 40 L	PD 180	PD 180 L	PD 410
Pompe à diffusion d'huile LEYBODIFF		40	40 L	180	180 L	410
	Réf.	219 20	219 40	219 25	219 45	219 30
Débit d'air à 10 <sup>-5</sup> mbar	l·s <sup>-1</sup>	40	40	180	180	410
Charge d'huile DIFFELEN normal, min./max.	cm <sup>3</sup>	10/20	10/20	30/70	30/70	100
Pompe primaire, TRIVAC		D 1,6 B	D 1,6 B	D 8 B	D 8 B	D 8 B
	Réf.	112 25	112 25	112 55	112 55	112 55
Débit nominal (PNEUROP)	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	1,75	1,75	9,7	9,7	9,7
Charge d'huile N 62, min./max.	cm <sup>3</sup>	160/250	160/250	300/900	300/900	300/900
Baffle à cuvettes en acier surfon,						
conductance	Réf.	225 95	225 93	226 25	226 23	226 35
	l·s <sup>-1</sup>	60	60	170	170	400
Robinet vide poussé, manuel						
	DN	40 KF	40 KF	63 ISO-K	63 ISO-K	100 ISO-K
	Réf.	287 13	287 13	286 25	286 25	286 26
Pression finale limite avec						
DIFFELEN normale	mbar	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	<1×10 <sup>-6</sup>	
Raccord vide poussé	DN	40 KF	40 KF	63 KF	63 KF	100 ISO-K
Echappement	DN	16 KF	16 KF	25 KF	25 KF	25 KF
Raccords						
capteur vide primaire	DN	10 KF	10 KF	10 KF	10 KF	10 KF
capteur vide poussé	DN	40 KF	40 KF	40 KF	40 KF	40 KF
Raccord eau de refroidissement						
ajutage cranté, diamètre ext.	mm	7,	-	11,5	-	11,5
Débit min. d'eau de refroidissement	l·h <sup>-1</sup>	5	-	15	-	20
Tension d'alimentation, 50 Hz	V	220	220	220	220	220
Puissance absorbée	kW	0,35	0,5	1,0	1,1	1,1
Temps de chauffage de la pompe à diffusion	min	10-12	10-12	12-15	12-15	15-18
Encombrement, (lxbxh)	mm	370×290×455		500×425×728		485×640×728
Poids	kg	21	23	70	70	75
Poste de pompage,						
en ordre de marche, commande manuelle	Réf.	011 50	011 51	011 52	011 53	011 54

## 2 Anschluß und Inbetriebnahme

### 2.1 Vorbereitung zur Inbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme die folgenden Hinweise unbedingt beachten.

#### 2.1.1 Zweistufige Drehschieber-Vakuumpumpe

Bei der Auslieferung des Pumpstandes sind die Kleinflansch-Anschlußflansche mit einer Gummimembran verschlossen. Diese Gummimembran und die im Auspuff-Stutzen befindliche Platte mit Bohrung müssen vor der Inbetriebnahme entfernt werden.

Nach dem Entfernen der Membranen den Anschluß zur Öl-Diffusionspumpe wieder ordnungsgemäß herstellen, d.h. auf Sauberkeit der Dichtflächen und einwandfreie Lage des Dichtringes achten.

Die Drehschieber-Vakuumpumpe ist betriebsbereit mit Öl N 62 gefüllt, eine Kontrolle des Ölstandes ist jedoch in jedem Fall ratsam.

Detaillierte Angaben finden Sie in der anliegenden Gebrauchsanweisung zur Drehschieber-Vakuumpumpe.

#### 2.1.2 Öl-Diffusionspumpe

Das Treibmittel wird separat mitgeliefert.

Das Einfüllen erfolgt durch den Vorvakuumstutzen der Öl-Diffusionspumpe (siehe auch Abschnitt 3).

## 2 Connection and Start-up

### 2.1 Preparations for Start-up

Prior to initial operation, the following instructions should be observed:

#### 2.1.1 Two-Stage Rotary Vane Vacuum Pump

When the pump system is delivered, the small-flange connection ports are blanked off by rubber diaphragms. These diaphragms and the perforated plate in the exhaust port must be removed before operation.

After removing the diaphragms, connect the oil diffusion pump properly to the system, i.e. make sure that sealing surfaces are clean and that the O-ring is correctly positioned.

The rotary vane vacuum pump is filled with oil N 62 ready for operation, but the oil level should be checked in any case.

For details, see the operating instructions of the rotary vane vacuum pump.

#### 2.1.2 Oil Diffusion Pump

The pump fluid is supplied in a separate container.

Pour in the fluid via the fore-vacuum port of the oil diffusion pump (see Section 3).

## 2 Raccordement et mise en service

### 2.1 Préparatifs pour la mise en service

Pour la mise en service il faut absolument tenir compte auparavant des remarques suivantes.

#### 2.1.1 Pompe rotative biétagée à palettes

A la livraison les raccords petite bride KF sont obturés par des membranes en caoutchouc. Il faut les retirer, ainsi que la plaque percée de la tubulure d'échappement avant de mettre la pompe en service.

Après cette opération, raccorder correctement avec la pompe à diffusion d'huile, c.-à-d. en veillant à la propreté des surfaces d'étanchéité et au parfait positionnement de la bague d'étanchéité.

La pompe à palettes est prête au service et remplie d'huile N 62, il convient cependant d'en contrôler le niveau.

Pour de plus amples détails voir le mode d'emploi de la pompe à palettes.

#### 2.1.2 Pompe à diffusion d'huile

Le fluide moteur est fourni séparément.

Le plein s'effectue par la tubulure vide primaire de la pompe à diffusion (voir également la section 3).

### 2.1.3 Kühlwasser-Anschluß

Schalendampfsperre und Öl-Diffusionspumpe sind bereits ab Werk miteinander verbunden.

Für den Anschluß des Kühlwasser-Zu- und Abflusses sind die mit „EIN“ bzw. „AUS“ bezeichneten Schlauchtüllen vorgesehen.

Es empfiehlt sich, die Verwendung von druckfestem Wasserschlauch.

### 2.1.4 Elektrischer Anschluß

Die Säulenpumpstände können direkt an Wechselstrom 220 V, 50 Hz, angeschlossen werden. Eine Drehrichtungskontrolle der Vorpumpe ist nicht notwendig, da die Drehrichtung fest eingestellt ist.

### 2.1.5 Auspuff-Leitung

Wir empfehlen, von der Auspuffseite der rotierenden Pumpe eine Leitung in einen Abzug zu verlegen. Bei Verwendung eines Auspuff-Filters ist dies nicht erforderlich.

Der Auspuff-Filter kann jedoch nur dann eine Auspuff-Leitung ersetzen, wenn keine oder nur wenig kondensierbare Dämpfe abgesaugt werden. Eine regelmäßige Wartung des Auspuff-Filters ist unerlässlich.

Auspuff-Filter AF 1,6 für S/D 1,6 B

Kat.-Nr. 189 02

Auspuff-Filter AF 4-8 für S/D 4/8 B

Kat.-Nr. 189 06

### 2.1.6 Vakuum-Meßstellen (siehe Abb. 1)

Die Druck-Überwachung erfolgt sinnvoll an drei Meßstellen.

Meßstelle zur Überwachung des Vorvakuum-druckes zwischen Öl-Diffusionspumpe und Drehschieber-Vakuumpumpe; Meßbereich  $10^{-3}$  bis 1000 mbar.

Meßröhren-Anschluß DN 10 KF.

Meßstelle zur Überwachung des Grobvakuum-Druckes am Vakuumbehälter; Meßbereich  $10^{-3}$  bis 1000 mbar.

Meßröhren-Anschluß DN 10 KF.

Meßstelle zur Überwachung des Hochvakuum-druckes am Vakuumbehälter; Meßbereich  $10^{-6}$  bis  $10^{-2}$  mbar.

Meßröhren-Anschluß DN 40 KF.

Als geeignetes Meßgerät empfehlen wir unser COMBITRON® CM 350,

Kat.-Nr. 157 55

Dazu sind erforderlich:

1 Meßröhre PR 32

Kat.-Nr. 157 51

1 Meßleitung

Kat.-Nr. 162 88

2 Meßröhren TR 301

Kat.-Nr. 157 40

2 Meßleitungen

Kat.-Nr. 160 79

2 Zentrierringe DN 10 KF

Kat.-Nr. 183 21

2 Spannringe DN 10 KF

Kat.-Nr. 183 41

1 Zentrierring DN 40 KF

Kat.-Nr. 183 28

1 Spannring DN 40 KF

Kat.-Nr. 183 48

## 2.2 Inbetriebnahme

Vor Beginn des eigentlichen Arbeitsprozesses empfehlen wir eine Dichtheitskontrolle an der angeschlossenen Anlage vorzunehmen.

Siehe dazu die beiliegende Gebrauchsanweisung GA 00.002.

Die angeschlossene Anlage bzw. der Vakuumbehälter sollte eine dem Saugvermögen des Pumpstandes angemessene Größe haben.

### 2.1.3 Cooling water Connection

The shell baffle and oil diffusion pump are already connected to each other at our works.

Connect the cooling water inlets and outlets using the hose nozzles marked "EIN" (IN) and "AUS" (OUT).

It is recommendable to use pressure tubing for the cooling water.

### 2.1.4 Electrical Connection

The pillar pump systems can be directly connected to a 220 V, 50 Hz power supply. The direction of rotation of the backing pump need not be checked as it is firmly set.

### 2.1.5 Exhaust Line

It is advisable to install an exhaust line leading from the exhaust port of the rotary vane pump to a fume extractor. This is not necessary when using an exhaust filter.

But the exhaust filter can only replace the exhaust line if no or merely very small amounts of condensable vapors are pumped. The exhaust filter requires regular maintenance.

Exhaust filter AF 1,6 for S/D 1,6 B

Ref.No. 189 02

Exhaust filter AF 4-8 for S/D 4/8 B

Ref.No. 189 06

### 2.1.6 Vacuum Gauge Points (see Fig. 1)

The pressure can best be monitored at three points:

Gauge point for monitoring the backing pressure between oil diffusion pump and rotary vane vacuum pump; measuring range  $10^{-3}$  to 1000 mbar.

Gauge connection: DN 10 KF.

Gauge point for monitoring the roughing pressure in the vacuum chamber; measuring range  $10^{-3}$  to 1000 mbar.

Gauge connection: DN 10 KF.

Gauge point for monitoring the high vacuum in the vacuum chamber; measuring range  $10^{-6}$  to  $10^{-2}$  mbar.

Gauge connection: DN 40 KF.

We recommend our COMITRON® CM 350 as a suitable gauge, Ref.No. 157 55

Necessary gauge heads and accessories:

1 gauge head PR 32

Ref.No. 157 51

1 gauge cable

Ref.No. 162 88

2 gauge heads TR 301

Ref.No. 157 40

2 gauge cables

Ref.No. 160 79

2 centering rings DN 10 KF

Ref.No. 183 21

2 clamping rings DN 10 KF

Ref.No. 183 41

1 centering ring DN 40 KF

Ref.No. 183 28

1 clamping ring DN 40 KF

Ref.No. 183 48

## 2.2 Start-up

Before starting the actual working process, we recommend checking the connected system for leaks. For details, see the attached operating instructions GA 00.002.

The connected vacuum system or chamber should be of a suitable size in relation to the pumping speed of the pump system.

### 2.1.3 Raccordement de l'eau de refroidissement

Le baffle à cuvettes et la pompe à diffusion d'huile sont déjà raccordés en usine.

Les embouts à olive marqués de "EIN" et "AUS" (entrée/sortie) sont prévus pour le raccordement des tuyaux d'alimentation et d'évacuation de l'eau de refroidissement.

Il est conseillé d'utiliser des tuyaux à eau résistant à la pression.

### 2.1.4 Raccordement électrique

On peut raccorder directement les groupes de pompage au courant alternatif 220 V, 50 Hz. Comme le sens de rotation de la pompe primaire est imposé, il n'est pas nécessaire de le vérifier.

### 2.1.5 Conduite d'échappement

Nous conseillons de mener une conduite du côté d'échappement de la pompe rotative vers une hotte d'aspiration si l'on n'utilise pas de filtre d'échappement.

Ce filtre ne peut remplacer la conduite d'échappement que si on n'aspire pas ou très peu de vapeurs condensables. Un entretien régulier du filtre est indispensable.

Filtre d'échappement AF 1,6 pour S/D 1,6 B

Réf. 189 02

Filtre d'échappement AF 4-8 pour S/D 4/8 B

Réf. 189 06

### 2.1.6 Points de mesure du vide (voir fig. 1)

La pression se contrôle de préférence à trois points.

Point de mesure pour le contrôle du vide primaire entre la pompe à diffusion d'huile et la pompe rotative; gamme de mesure  $10^{-3}$  à 1000 mbar.

Raccord du capteur DN 10 KF.

Point de mesure pour le contrôle du vide grossier de l'enceinte sous vide; gamme de mesure  $10^{-3}$  à 1000 mbar.

Raccord du capteur DN 10 KF.

Point de mesure pour le contrôle du vide poussé de l'enceinte sous vide; gamme de mesure  $10^{-6}$  à  $10^{-2}$  mbar.

Raccord du capteur DN 40 KF.

Comme instrument de mesure nous conseillons notre COMBITRON® CM 350,

Réf. 157 55

avec les équipements suivants:

1 capteur PR 32

Réf. 157 51

1 câble de mesure

Réf. 162 88

2 capteurs TR 301

Réf. 157 40

2 câbles de mesure

Réf. 160 79

2 anneaux de centrage DN 10 KF

Réf. 183 21

2 colliers de serrage DN 10 KF

Réf. 183 41

1 anneau de centrage DN 40 KF

Réf. 183 28

1 collier de serrage DN 40 KF

Réf. 183 48

## 2.2 Mise en service

Avant de commencer les travaux proprement dits, il convient de contrôler l'étanchéité du système raccordé.

Voir pour cela le mode d'emploi ci-joint GA 00.002.

La taille du système raccordé ou de l'enceinte à évacuer doit être adaptée au débit du groupe de pompage.

Handbetätigte Eckventile.

Die Ventile mit Drehknopf sind geschlossen, wenn sie im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag gedreht wurden.

PD 180, PD 410

Das Hochvakuumventil ist geschlossen, wenn der Handhebel nach hinten zeigt (siehe auch GA 06.302).

### 2.2.2 Inbetriebnahme des Pumpstandes (siehe Abb.1)

Die Anweisungen beziehen sich auf die wassergekühlte Ausführung.

Bei den luftgekühlten Pumpständen entfallen die Anweisungen in Bezug auf die Wasserkühlung.

Alle Ventile schließen.

Die Drehschieber-Vakuumpumpe mit dem Drehschalter (Schalterstellung 1) einschalten.

Vorvakuumventil (1/2) öffnen; die Ventile (1/3) und (1/4) bleiben geschlossen.

Die Drehschieber-Vakuumpumpe evakuiert die Öl-Diffusionspumpe.

Wenn der Druck an der Vorvakuum-Meßstelle (Option)  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar ist, Kühlwasser-Zufluß öffnen, und Heizung der Öl-Diffusionspumpe durch weiterschalten des Drehschalters (Schalterstellung 2) einschalten. Anheizzeit siehe Technische Daten.

Zum Grobevakuieren des Vakuumbehälters das Vorvakuumventil (1/2) schließen und das Grobvakuumventil (1/3) öffnen. Die Drehschieber-Vakuumpumpe evakuiert nun den Vakuumbehälter. Wenn an der Grobvakuum-Meßstelle des Vakuumbehälters ein Druck  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar erreicht ist, das Grobvakuumventil (1/3) schließen und das Vorvakuumventil (1/2) öffnen.

Vorvakuum an der Öl-Diffusionspumpe der Vorvakuum-Meßstelle kontrollieren, evtl. abwarten bis wieder ein Druck  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar erreicht ist.

Wenn der Druck an der Grobvakuum-Meßstelle  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar beträgt und die Öl-Diffusionspumpe betriebsbereit ist, das Hochvakuumventil (1/4) öffnen.

Das Vorvakuumventil (1/2) bleibt offen, Grobvakuumventil (1/3) und Belüftungsventil müssen geschlossen bleiben.

Die Öl-Diffusionspumpe evakuiert nun den Vakuumbehälter. Die Drehschieber-Vakuumpumpe arbeitet als Vorpumpe zur Öl-Diffusionspumpe.

Wenn an der Grobvakuum-Meßstelle des Vakuumbehälters ein Druck  $<1 \cdot 10^{-2}$  mbar erreicht ist, auf die Hochvakuum-Meßstelle umschalten.

Betriebszustand ist erreicht.

### 2.2.3 Chargenbetrieb

Hochvakuum-Meßstelle abschalten, das Hochvakuumventil (1/4) schließen, Belüftungsventil öffnen.

Möglichst trockene Luft oder Stickstoff verwenden.

Der Vakuumbehälter wird belüftet.

### Chargieren

Belüftungsventil schließen, Vorvakuumventil (1/2) schließen und Grobvakuumventil (1/3)

Manually-operated angle valves.

The valves with rotary knob are closed when the wheel is turned clockwise to the stop.

PD 180, PD 410

The high-vacuum valve is closed when the hand lever points backwards (see GA 06.302).

### 2.2.2 Start-up of Pump System (see Fig. 1)

The instructions below relate to water-cooled models.

For air-cooled models, the instructions referring to water cooling do not apply.

Close all valves.

Switch on the rotary vane vacuum pump at the rotary switch (position 1).

Open the backing valve (1/2); valves (1/3) and (1/4) are left closed.

The rotary vane pump evacuates the oil diffusion pump.

On attaining a pressure  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar at the fore-vacuum gauge point (optional), open the cooling water supply and switch on the heater of the oil diffusion pump – turn the rotary switch further (position 2). For warm-up time, refer to the Technical Data.

For roughing the vacuum chamber, close the backing valve (1/2) and open the roughing valve (1/3). Now the rotary vane pump evacuates the backing vacuum chamber. On attaining a pressure  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar at the rough-vacuum gauge point of the vacuum chamber, close the roughing valve (1/3) and open the backing valve (1/2).

Check the fore-vacuum of the oil diffusion pump. If necessary, wait until a pressure  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar has again been attained.

When a pressure  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar has been attained the rough-vacuum gauge point and the oil diffusion pump is ready for operation, open the high-vacuum valve (1/4).

The backing valve (1/2) stays open; the roughing valve (1/3) and venting valve must remain closed.

The oil diffusion pump now evacuates the vacuum chamber. The rotary vane pump operates as backing pump for the oil diffusion pump.

When a pressure  $<1 \cdot 10^{-2}$  mbar has been attained at the rough-vacuum gauge point of the vacuum chamber, switch over to the high-vacuum gauge point.

The system has reached its normal operational state.

### 2.2.3 Batch Operation

Switch off the high-vacuum gauge point, close the high-vacuum valve (1/4), open the venting valve.

Use very dry air or nitrogen.

The vacuum chamber is vented.

### Charging

Close the venting valve, close the backing valve (1/2), open the roughing valve (1/3). The high-vacuum valve (1/4) stays closed.

When a pressure  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar has been attained at the rough-vacuum gauge point of the vacuum chamber, close the roughing valve (1/3).

Robinets equerre manuels.

Les robinets sont fermés lorsqu'on a tourné le bouton rotatif, dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à la butée.

PD 180, PD 410

Le robinet vide poussé est fermé lorsque la manette est repoussée vers l'arrière (voir également GA 06.302).

### 2.2.2 Mise en service du groupe de pompage (voir fig. 1)

Les instructions se rapportent au modèle refroidi à l'eau.

Pour les groupes de pompage à refroidissement à air, il suffit de ne pas tenir compte des remarques sur le refroidissement à eau.

Fermer les robinets.

Enclencher la pompe rotative avec le commutateur rotatif (1ère commutation).

Ouvrir le robinet vide primaire (1/2); les robinets (1/3) et (1/4) restent fermés.

La pompe rotative évacue la pompe à diffusion d'huile. Lorsque la pression du point de mesure vide primaire (option) est  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar, ouvrir l'alimentation en eau de refroidissement, enclencher le chauffage de la pompe à diffusion d'huile en continuant à tourner le commutateur rotatif (2ème commutation); pour le temps de chauffage, voir les données techniques.

Pour l'évacuation grossière de l'enceinte sous vide, fermer le robinet vide primaire (1/2) et ouvrir le robinet de prévidage (1/3). La pompe primaire évacue alors l'enceinte vide primaire. À la pression  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar au point de mesure vide grossier de l'enceinte, fermer le robinet de prévidage (1/3) et ouvrir le robinet vide primaire (1/2).

Contrôler le vide primaire de la pompe à diffusion d'huile, attendre éventuellement que la pression soit de nouveau  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar.

Ouvrir le robinet vide poussé (1/4) quand la pression mesurée au point vide grossier est  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar et que la pompe à diffusion d'huile est prête.

Le robinet vide primaire (1/2) reste ouvert. le robinet de prévidage (1/3) et le robinet d'aération doivent rester fermés.

La pompe à diffusion d'huile évacue maintenant l'enceinte. La pompe rotative à palettes travaille comme pompe primaire de la pompe à diffusion d'huile.

Commuter sur le point de mesure du vide poussé lorsqu'on obtient une pression  $<1 \cdot 10^{-2}$  au point de mesure du vide grossier de l'enceinte.

L'état de service est atteint.

### 2.2.3 Service intermittent

Mettre le point de mesure vide poussé hors service, fermer le robinet vide poussé (1/4), ouvrir le robinet d'aération.

Utiliser de préférence l'air sec ou de l'azote pour aérer.

L'enceinte est remise à l'atmosphère.

### Chargement

Fermer le robinet d'aération et le robinet vide primaire (1/2), ouvrir le robinet de prévidage (1/3). Le robinet vide poussé (1/4) reste fermé.

umt. Das Hochvakuumventil (1/4) bleibt geschlossen.

Wenn an der Grobvakuum-Meßstelle des Vakuumbehälters ein Druck von  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar erreicht ist, das Grobvakuumventil (1/3) schließen.

Vorvakuumventil (1/2) öffnen und Druckkontrolle an der Vorvakuum-Meßstelle durchführen. Hochvakuumventil (1/4) öffnen.

Wenn der Druck an der Grobvakuum-Meßstelle des Vakuumbehälters  $<1 \cdot 10^{-2}$  mbar beträgt, die Hochvakuum-Meßstelle einschalten.

### 2.3 Abschalten des Pumpstandes

Vakuum-Meßgeräte ausschalten.

Hochvakuumventil (1/4) schließen, Grobvakuum- und Belüftungsventil sind geschlossen; das Vorvakuumventil (1/2) bleibt zunächst offen. Heizung der Öl-Diffusionspumpe abschalten.

Drehschalter in die Schaltstellung 1 zurückschalten.

Die Vorpumpe bleibt in Betrieb und das Kühlwasser muß weiter fließen, bis die Öl-Diffusionspumpe abgekühlt ist (Abkühlungsdauer: ca. 15 bis 25 min, je nach Pumpentyp).

Kühlwasserzufluß abstellen, Vorvakuumventil (1/2) schließen; Hochvakuumventil (1/4), Grobvakuumventil (1/3) und Belüftungsventil bleiben geschlossen.

Drehschieber-Vakuumpumpe abschalten.

Drehschalter in Stellung „0“.

Durch das in der Drehschieber-Vakuumpumpe eingebaute Saugstutzenventil wird der Pumpstand von der Drehschieber-Vakuumpumpe abgesperrt und die Drehschieber-Vakuumpumpe belüftet.

#### Achtung

Die heiße Öl-Diffusionspumpe darf nicht belüftet werden.

Beim Belüften der heißen Öl-Diffusionspumpe oxidiert das Treibmittel. Ein einwandfreier Betrieb wird dann erst nach Reinigung der Öl-Diffusionspumpe und Wechsel des Treibmittels wieder möglich.

#### Hinweis

Die Gesamtanlage einschließlich Vakuumbehälter sollte nur belüftet werden, wenn eine neue Versuchsanordnung benötigt wird. Aus Gründen der Sauberkeit sollte die Anlage möglichst immer evakuiert bleiben.

### 2.4 Luftleinbrüche

Kurzzeitige Luftleinbrüche beeinträchtigen die Funktion der Öl-Diffusionspumpe nicht, da sich das Treibmittel wieder selbst reinigt. Trotzdem ist eine Kontrolle des Ölstandes angezeigt, ebenso eine Kontrolle des Innenteiles der Öl-Diffusionspumpe.

Ist des öfteren mit Luftleinbrüchen zu rechnen, empfehlen wir die Verwendung von Silikonölen (z.B. DC 704), da diese eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Oxidation und Zersetzung besitzen.

Open the backing valve (1/2) and check the pressure at the fore-vacuum gauge point. Open the high-vacuum valve (1/4).

When a pressure  $<1 \cdot 10^{-2}$  mbar has been attained at the rough-vacuum gauge point of the vacuum chamber, switch on the high-vacuum gauge point.

### 2.3 Shutdown of Pump System

Switch off the vacuum gauges.

Close the high-vacuum valve (1/4). The roughing and venting valves are closed. The backing valve (1/2) initially stays open. Switch off the heater of the oil diffusion pump.

Turn the rotary switch back to position 1.

The backing pump must continue to operate and the cooling water supply must not be turned off until the oil diffusion pump has cooled down (about 15-25 min., depending on the model).

Turn off the cooling water supply, close the backing valve (1/2). The high-vacuum valve (1/4), roughing valve (1/3) and venting valve stay closed.

Shut down the rotary vane vacuum pump.

Turn the rotary switch to position "0".

Due to the anti-suckback valve incorporated in the rotary vane pump, the pump system is isolated from the rotary vane pump, and the latter pump is vented.

#### Important

The hot oil diffusion pump must not be vented. If the pump is vented when hot, the pump fluid oxidizes. Reliable operation is then impossible until the pump has been thoroughly cleaned and the pump fluid changed.

#### Note

The whole vacuum system, including vacuum chamber, should only be vented if a new test array is needed. For reasons of cleanliness the system should, if possible, remain shut under vacuum.

### 2.4 Accidental Air Admission

Short inrushes of air will not affect the operation of the oil diffusion pump, as the pump fluid will repurify itself. All the same, check the oil level and the jet assembly of the oil diffusion pump.

If air inrushes are likely to occur frequently, we recommend using silicon oils (e.g. DC 704) because they are more resistant to oxidation and decomposition.

pression  $<1 \cdot 10^{-1}$  mbar au point de mesure du vide grossier de l'enceinte.

Ouvrir le robinet vide primaire (1/2) et contrôler la pression au point de mesure vide primaire. Ouvrir le robinet vide poussé (1/4).

Mettre en service le point de mesure vide poussé pour une pression  $<1 \cdot 10^{-2}$  mbar au point de mesure vide grossier de l'enceinte.

### 2.3 Mise hors service du groupe de pompage

Mettre le manomètre hors circuit.

Fermer le robinet vide poussé (1/4), le robinet de prévidage et le robinet d'aération sont fermés; le robinet vide primaire (1/2) reste d'abord ouvert. Arrêter le chauffage de la pompe à diffusion d'huile.

Tourner le commutateur rotatif sur la 1ère commutation.

La pompe primaire reste en service et l'eau de refroidissement doit continuer à circuler jusqu'au refroidissement de la pompe à diffusion d'huile (durée du refroidissement: env. 15 à 25 min. selon le type de pompe).

Arrêter l'alimentation en eau de refroidissement, fermer le robinet vide primaire (1/2); les robinets vide poussé (1/4), de prévidage (1/3) et le robinet d'aération restent fermés.

Mettre la pompe rotative hors circuit.

Commutateur rotatif en position „0“.

Grâce au clapet anti-retour intégré dans la pompe rotative le groupe de pompage est isolé de la pompe rotative et cette dernière est remise à l'atmosphère.

#### Attention

La pompe à diffusion d'huile à température élevée ne doit pas être remise à l'atmosphère. L'aération de cette pompe chaude oxyde le fluide moteur. Un fonctionnement correct n'est alors possible qu'après le nettoyage de la pompe et le remplacement du fluide moteur.

#### Remarque

L'installation complète avec l'enceinte sous vide ne devrait être aérée que lorsqu'un nouveau dispositif expérimental est nécessaire. Sinon il convient de la maintenir en permanence sous vide pour qu'elle reste propre.

### 2.4 Entrées d'air involontaires

Les entrées d'air de courte durée ne nuisent pas au fonctionnement de la pompe à diffusion d'huile car le fluide moteur se purifie automatiquement. Il convient cependant de contrôler le niveau d'huile ainsi que l'ensemble diffuseur-défecteur de la pompe à diffusion.

Si l'on doit s'attendre aux fréquentes entrées d'air, nous conseillons d'utiliser des huiles silicone (DC 704) car elles résistent mieux à l'oxydation et à la décomposition.

### 3.1 Vorvakuumpumpe

Es muß dafür gesorgt werden, daß immer eine genügende Menge sauberes Öl in der Drehschieber-Vakuumpumpe ist.

Ölstand überwachen und – falls nötig – Öl nachfüllen. Im allgemeinen wird das Öl bei stehender Pumpe an der Öleinfüllschraube nachgefüllt.

Der minimale Ölstand ist dann erreicht, wenn der Ölspiegel an der Unterkante des Ölstandsglases zu sehen ist. Maximale Ölfüllung entspricht einem Ölstand bis zum oberen Rand des Ölstandsglases (bei gegen Enddruck laufender Pumpe ohne Gasballast).

Nach den ersten 100 Betriebsstunden muß das Öl auf jeden Fall gewechselt werden.

Unter Umständen ergibt die Kontrolle, daß ein Wechsel schon eher notwendig ist, wenn sich das Öl farblich verändert.

Weitere Hinweise siehe GA zur Drehschieber-Vakuumpumpe.

### 3.2 Öl-Diffusionspumpe

Bei störungsfreiem, sauberem Betrieb ist ein Treibmittelwechsel in der Öl-Diffusionspumpe im allgemeinen nur ein- bis zweimal jährlich erforderlich. Treibmittelmenge – wir empfehlen, die optimale Menge einzufüllen – siehe technische Daten.

Nähere Angaben zur Reinigung und zum Ölwechsel finden Sie in der beiliegenden Gebrauchsanweisung.

Nachfüllen von Treibmittel kann bei den Pumpständen durch den Vorvakuumstutzen der Öl-Diffusionspumpe erfolgen. Hierzu den Spänning am Vorvakuumstutzen lösen und den flexiblen Metallschlauch etwas zur Seite drehen. Nach dem Einfüllen des Treibmittels die Verbindung wieder vakuumdicht verschließen.

Auf Sauberkeit der Flansche und einwandfreie Lage des Dichtringes achten.

#### 3.2.1 Demontage der Öl-Diffusionspumpen-Heizung

**Netzstecker ziehen!**

Berührungsschutz durch Lösen der Schraube am Netz-Anschlußkasten der Öl-Diffusionspumpe entfernen. Heizplatten-Verkleidung abschrauben; dabei wird gleichzeitig die Heizplatte gelöst. Die Montage in umgekehrter Reihenfolge vornehmen.

### 3.3 Allgemeine Hinweise für den Betrieb

Bei ungenügendem Enddruck empfiehlt es sich, zunächst die angeschlossene Apparatur (Vakuumbehälter) auf Dichtheit zu prüfen. Der angegebene Wert für den Enddruck läßt sich nur dann sicher erreichen, wenn die angeschlossene Apparatur dicht ist, wenig elastische Dichtungen enthält, eine saubere Oberfläche besitzt und möglichst ausheizbar ist. Wird der Enddruck, obwohl die angegebenen Voraussetzungen erfüllt sind, nicht erreicht, gibt die folgende Checkliste Hinweise zur Fehlersuche.

### 3.1 Backing Pump

Make sure that there is always enough clean oil in the rotary vane vacuum pump.

Check the oil level and add oil if necessary. In most cases, oil is poured in via the oil-fill plug when the pump is not in operation.

The minimum oil level is reached when the oil surface is visible at the lower rim of the oil-level glass. The maximum oil level is attained when the oil surface is at the top rim of the oil-level glass (the pump running at its ultimate pressure without gas ballast).

The oil must be changed in any case after the first 100 hours of operation.

Under certain circumstances a check may indicate that the oil has to be changed earlier, if for instance the oil has discolored.

For further details, see the operating instructions of the rotary vane vacuum pump.

### 3.2 Oil Diffusion Pump

Under clean conditions, the pump fluid in the oil diffusion pump must in general be changed only once or twice a year. For the quantity, see the Technical Data (it is advisable to fill in the optimum quantity).

Further details regarding cleaning and oil change are to be found in the attached operating instructions.

Pump fluid can be added via the fore-vacuum port of the oil diffusion pump on the pump system. To do so, release the clamping ring on the fore-vacuum port and slightly turn the flexible metal tubing to the side. After adding pump fluid, close the connection vacuum-tight.

Make sure that the flanges are clean and that the gasket is correctly positioned.

#### 3.2.1 Removing the Oil Diffusion Pump Heater

**Pull out the mains plug.**

Remove the anti-contact guard by loosening the screw at the junction box of the oil diffusion pump. Unscrew the heater cladding; the heater plate is simultaneously loosened. Reassemble in the reverse sequence.

### 3.3 General Notes on Operation

If the ultimate pressure is insufficient, it is advisable first to check the connected vacuum system (chamber) for tightness. The specified ultimate pressure can only be reliably attained if the connected system has no leaks, contains only few rubber gaskets, has a clean surface and, if possible, is bakeable. If the ultimate pressure is not attained even though the foregoing conditions are fulfilled, the check list on the next pages will assist you in troubleshooting.

### 3.1 Pompe primaire

Veiller à ce qu'il y ait toujours une quantité suffisante d'huile propre dans la pompe rotative à palettes.

Contrôler le niveau de l'huile et en rajouter si nécessaire. En général on rajoute l'huile par la vis de remplissage lorsque la pompe est à l'arrêt.

Le minimum est atteint quand le niveau de l'huile est à la hauteur du bord inférieur du regard. Le maximum correspond au bord supérieur du regard (lorsque la pompe tourne sans lest d'air et a presque atteint la pression limite).

Il faut changer l'huile obligatoirement après les premières 100 heures de service.

Il est cependant possible qu'un contrôle montre qu'il faut la changer plus tôt car elle a changé de couleur.

Pour de plus amples détails, voir le mode d'emploi de la pompe rotative.

### 3.2 Pompe à diffusion d'huile

Si les conditions de service sont normales et propres, il suffit en général de changer le fluide moteur de la pompe à diffusion d'huile une à deux fois par an. En ce qui concerne la quantité de fluide, nous conseillons la quantité optimale indiquée dans les données techniques. Vous trouverez de plus amples détails sur le nettoyage et le changement d'huile dans le mode d'emploi ci-joint.

On peut remplir le fluide moteur par la tubulure vide primaire de la pompe à diffusion d'huile. Enlever le collier de serrage de la tubulure et tourner le flexible métallique un peu de côté. Après le remplissage, refermer de façon étanche au vide; vérifier la propreté des brides et le bon positionnement du joint d'étanchéité.

#### 3.2.1 Démontage du chauffage de la pompe à diffusion d'huile

**Retirer la prise secteur!**

Retirer la protection contre le toucher en dégageant la vis de la boîte de raccordement secteur de la pompe à diffusion d'huile. Dévisser l'habillage de la plaque chauffante ce qui libère également cette dernière. Le montage s'effectue dans l'ordre inverse des opérations.

### 3.3 Remarques générales sur le service

Si la pression limite est insuffisante, il est recommandé de vérifier tout d'abord l'étanchéité du système (enceinte) raccordé au groupe de pompage. Pour obtenir efficacement la pression limite indiquée il faut que le système raccordé soit étanche, qu'il ne contienne que peu de joints en caoutchouc, que sa surface soit propre et qu'il soit étuvable dans la plus grande mesure possible. Veuillez consulter la liste de dépannage suivante si la pression limite n'est pas atteinte bien que toutes les conditions ci-dessus soient remplies.

**Allgemeine Hinweise**

Eine Änderung der Konstruktion und der angegebenen Daten behalten wir uns vor.  
Die Abbildungen sind unverbindlich.

**General remarks**

We reserve the right to alter the design or any data given in these Operating Instructions.  
The illustrations are not binding.

**Remarques générales**

Nous nous réservons le droit de modifier la construction et les données indiquées. Les figures sont sans engagement.

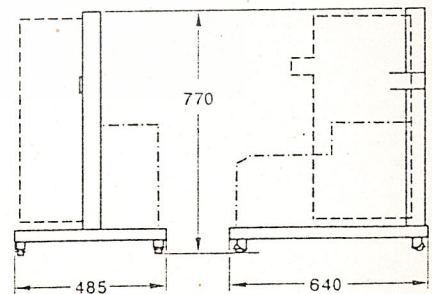
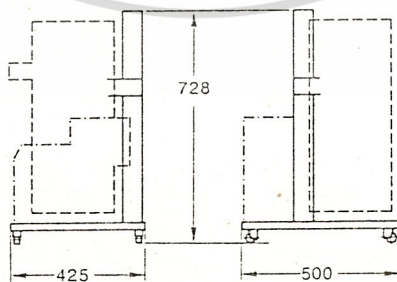
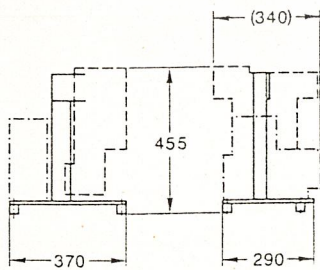


Abb. 2 Maßzeichnung der Säulenpumpstände PD 40 und PD 40 L; Maße in Klammern für PD 40 L

Fig. 2 Dimensioned drawing of PD 40 and PD 40 L Pillar Pump Systems, dimensions in brackets for PD 40 L

Fig. 2 Cotes de postes PD 40 et (entre paranthèses) PD 40 L

Abb. 2 Maßzeichnung der Säulenpumpstände PD 180 und 180 L

Fig. 2 Dimensioned drawing of PD 180 and PD 180 L Pillar Pump

Fig. 2 Cotes des postes PD 180 et PD 180 L

Abb. 2 Maßzeichnung des Säulenpumpstandes PD 410

Fig. 2 Dimensioned drawing of PD 410 Pillar Pump System

Fig. 2 Cotes du poste PD 410

สงวนลิขสิทธิ์ © ๒๕๖๓ โดย บริษัท อีพีเอส จำกัด. ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต. การนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย. บริษัท อีพีเอส จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและภาพที่ปรากฏ. บริษัท อีพีเอส จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและภาพที่ปรากฏ. บริษัท อีพีเอส จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและภาพที่ปรากฏ. บริษัท อีพีเอส จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและภาพที่ปรากฏ.

# Wir stehen zu Ihrer Verfügung



## LEYBOLD AG · KÖLN

Bonner Straße 498 · Postfach 51 07 60 · D-5000 Köln 51  
Telefon (02 21) 3 47-0 · Telex 8 88 481-20 lh d · Draht leybold köln  
Telefax 02 21/3 47-12 50

## LEYBOLD AG · HANAU

Wilhelm-Rohn-Straße 25 · Postfach 15 55 · D-6450 Hanau 1 · Telefon (0 61 81) 34-0  
Telex 4 152 06-0 lh d · Draht leybold hanau · Telefax 0 61 81/34-16 90

## Niederlassungen:

### VERTRIEBSBEREICH NORD

#### Niederlassung Hamburg

Spaldingstraße 1 B  
2000 Hamburg 1  
Tel.: (0 40) 23 16 76 · Telex: 2 162 261

#### Zweigniederlassung Berlin (West)

Wittestr. 30 E  
1000 Berlin 27  
Tel.: (0 30) 4 32 50 28 · Telex: 1 83 811

#### Niederlassung Hannover

Eckenerstraße 5 A  
3000 Hannover 1 (Vahrenheide)  
Tel.: (05 11) 63 20 99 · Telex: 9 23 331

### VERTRIEBSBEREICH MITTE

#### Niederlassung Frankfurt

Edisonstraße 7  
6000 Frankfurt/M. 60  
Tel.: (0 61 09) 39 02 · Telex: 4 185 967

### VERTRIEBSBEREICH SÜDWEST

#### Niederlassung Stuttgart

Vollmoellerstraße 11  
7000 Stuttgart 80  
Tel.: (07 11) 7 35 20 01 · Telex: 7 255 517

#### Niederlassung Karlsruhe

Vorbergstraße 5  
7500 Karlsruhe 41  
Tel.: (07 21) 49 19 22

### VERTRIEBSBEREICH SÜD

#### Niederlassung München

Lerchenstraße 5  
8000 München 50  
Tel.: (0 89) 3 51 40 66/69 · Telex: 5 215 061

#### Niederlassung Nürnberg

Endterstraße 3  
8500 Nürnberg 40  
Tel.: (09 11) 4 46 64 40

### VERTRIEBSBEREICH WEST

#### Niederlassung Köln

Wingertsheide 2  
5060 Bergisch Gladbach 1  
Tel.: (0 22 04) 6 00 67

#### Niederlassung Bochum

Josef-Baumann-Straße 21  
4630 Bochum 1  
Tel.: (02 34) 8 55 45/6/7 · Telex: 8 25 497

## Technisches Büro Jülich

Grabenstraße 70 · 5162 Niederzier 2  
Tel.: (0 24 28) 40 61 · Teletex: 2 428 401 LHS

## Tochtergesellschaften:

### Belgien

LEYBOLD N.V.  
Leuvensesteenweg 641  
B-1930 Zaventem  
Tel.: 7 59 79 36 · Telex: 23 856

### Dänemark

LEYBOLD ApS  
Roskildevej 342 A  
DK-2630 Tåstrup  
Tel.: 02-99 64 44

### England · Irland

LEYBOLD LTD.  
Waterside Way · Plough Lane  
London SW17 7AB  
Tel.: 019479744  
Telex: 896 430 · Telefax: 019470210

### Finnland

LEYBOLD OY  
Olarinluoma 10  
02200 Espoo 20  
Tel.: 90-42 39 44 · Telex: 124 278

### Frankreich

LEYBOLD S.A.  
7, Avenue du Quebec  
Z. A. de Courtabœuf  
B.P. 42 · 91942 Les Ulis Cedex  
Tel.: (1) 69 07 64 00 · Telex: 600 852

### Hongkong

LEYBOLD LTD.  
20th Floor · 80 Gloucester Road  
Hongkong  
Tel.: 5-202880 · Telex: 66737 lhkh hx  
Telefax: 5-8656883

### Italien

LEYBOLD S.p.A.  
Via P. Toselli, 11  
20127 Milano  
Tel.: (02) 2 87 15 21 · Telex: 330 348

### Japan

LEYBOLD CO. LTD.  
Ginza Showa-Doori Building  
Ginza 8-14-14, Chuo-Ku  
Tokyo 104  
Tel.: (03) 5 46 24 66/7  
Telefax: (03) 5462468  
LEYBOLD COMPONENTS CO.  
Service Center  
3-100, Kashiwai-cho  
Kasugai-shi, Aichi-ken, 486  
Tel.: 0568-84-8131  
Telefax: 0568-84-1444

### Kanada

LEYBOLD INC.  
100 Strada Drive, Unit 4  
Woodbridge, Ontario, L4L 5V7  
Tel.: (416) 851-7327  
Telex: 065-27400 · Telefax: (416) 851-7950

### Niederlande

LEYBOLD B.V.  
Postfach 90 · 3440 AB Woerden  
Rosmolenaan 1 · 3447 GL Woerden  
Tel.: 0 34 80-7 74 11 · Telex: 47 652 lh wd nl  
Telefax: 0 34 80-2 04 89

### Norwegen

LEYBOLD A/S  
Solheimveien 11 · 1473 Skarer  
Tel.: 2-97 05 20

### Österreich

LEYBOLD GES.M.B.H.  
Favoritenstraße 35 · A-1040 Wien  
Tel.: 65 16 44/45 · Telex: 131 400

### Schweden

LEYBOLD AB  
Frögatan 8 F  
42122 Västra Frölunda  
Tel.: 31-49 12 12 · Telex: 21 193 leyvac s

### Schweiz · Liechtenstein

LEYBOLD AG  
Oerlikoner Strasse 88 · 8057 Zürich  
Tel.: (01) 3 11 57 57 · Telex: 823 212  
Telefax: 01/3 12 50 83

### Spanien

LEYBOLD S.A.  
Calle Balmes 148-150  
Barcelona  
Tel.: 2180121/2180185  
Telefax: 2379626 · Telex: 98954 lh e

### USA

LEYBOLD INC.  
1860 Hartog Drive  
San Jose, CA 95131  
Tel.: (408) 436-28 28  
LEYBOLD  
VACUUM PRODUCTS INC.  
5700 Mellon Road  
Export, Pa. 15632  
Tel.: (412) 327-57 00 · Telex: 199 138  
LEYBOLD INFICON  
6500 Fly Road  
East Syracuse, N.Y. 13057  
Tel.: 4 37-03 77 · Telex: 710 541-0594  
LEYBOLD  
VACUUM SYSTEMS INC.  
120 Post Road  
Enfield, Connecticut 06082  
Tel.: 7 41-22 81 · Telex: 955 344  
LEYBOLD TECHNOLOGIES, INC.  
120, Post Road  
Enfield, Ct. 06082  
Tel.: (203) 7 41-22 67 · Telex: 955 344