شرکت انتقال گاز ایران
منطقه 8 عملیات انتقال گاز

# آموزش پرسنل بهره برداري و تعميرات ايستگاههاي تقويت فشارگاز

## عنوان دوره : کمپرسورهاي سانتريفوژ

هر انچه يك مهندس شيمي نياز دارد
کانال تلگرام:
@ Chem_Eng_World

مهدی زارع

بسم الله الرحمن الرحیم

فهرست مطالب :

- تعريف كمپرسور و هدف از كاربرد آن
- دسته بندي كمپرسورها
- كمپرسورهاي سانتريفوژ
- شناسايي اجزا، كمپرسورهاي سانتريفوژ شامل :

1 – پروانه

2- ديافراگم

3- آبندي

4- ديفيوزرها

5- كوپلينگ هاي انتقال قدرت

6- بیرینگ ها ( تراست و ژورنال )

7- Dry Gas Seal و ....

- بررسي مدل ترموديناميكي كمپرسور سانتريفوژ شامل:

1- معادلات حاكم

2- برآورد راندمان

3- محاسبات فلوي گاز عبوري

- بررسي منحني عملكرد (Performance Map ) كمپرسورهاي سانتريفوژ
- بررسي پديده سرج و Stone wall در كمپرسورهاي سانتريفوژ و راهكارهاي جلوگيري از آن
- آشنايي با سيستم Seal Gas و تكنولوژي Dry Seal Gas

# تعریف کمپرسور :

ماشینهای جذب کننده قدرت مکانیکی که انرژی را به صورتهای مختلفی از قبیل انرژی حرارتی ، انرژی جنبشی و یا پتانسیل به سیالات تراکم پذیر اعمال می کنند طیف وسیعی را شامل فن ها، دمنده ها و کمپرسورها تشکیل می دهند که از این میان کمپرسورها دارای نسبت تراکم بیشتری بوده و غالباً در آنها خنک کاری گاز فرایندی انجام می شود.کمپرسور دستگاهی است که برای بالا بردن فشار گاز و انتقال آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر در طول فرایند استفاده می‌شود. این فشار به منظور غلبه براصطکاک مسیر، تاثیر در یک واکنش معین و یا بهبود خواص ترمودینامیکی گاز مورد نیاز می باشد. لازم به ذکر است گازهای جابجا شده دارای طیف وسیعی از وزن مولکولی بوده که از هیدروژن با وزن مولکولی ۲ تا هگزا فلوراید اورانیوم با وزن مولکولی ۳۵۲ را شامل می شوند.

**به عبارت د یگر کمپرسور انرژی که از درایور میگیرد به صورت فشار , سرعت و حرارت به سیال منتقل میکند که به صورت Kj/Kg بیان میگردد.**

# دسته بندی کمپرسور :

کمپرسورها برحسب مکانیزم و اصول عملکرد و نحوه اعمال انرژی به سیال به دو گروه عمده تقسیم می شوند:

۱- کمپرسورهای جابجائی مثبت[1] یا جریان منقطع[2]

۲- کمپرسورهای دینامیک[3] یا پیوسته[4]

کمپرسورهای جابجایی مثبت مثل کمپرسورهای پیستونی , دیافراگمی , چرخشی و .....

کمپرسورهای دینامیکی مثل کمپرسور سانتریفوژ ( جریان شعاعی), کمپرسور جریان محوری و جریان مخلوط , اجکتورها و ...

---

[1] Positive Displacement
[2] Intermittent
[3] Dynamic
[4] Continuous

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

کمپرسور ها از نظر کاربردی در صنعت دارای تقسیم بندی دیگری به صورت زیر هستند:

۱- کمپرسورهای رفت و برگشتی[۵]

۲- کمپرسورهای سانتریفوژ[۶]

۳- کمپرسورهای پیچشی[۷]

۴- کمپرسورهای حلزونی[۸]

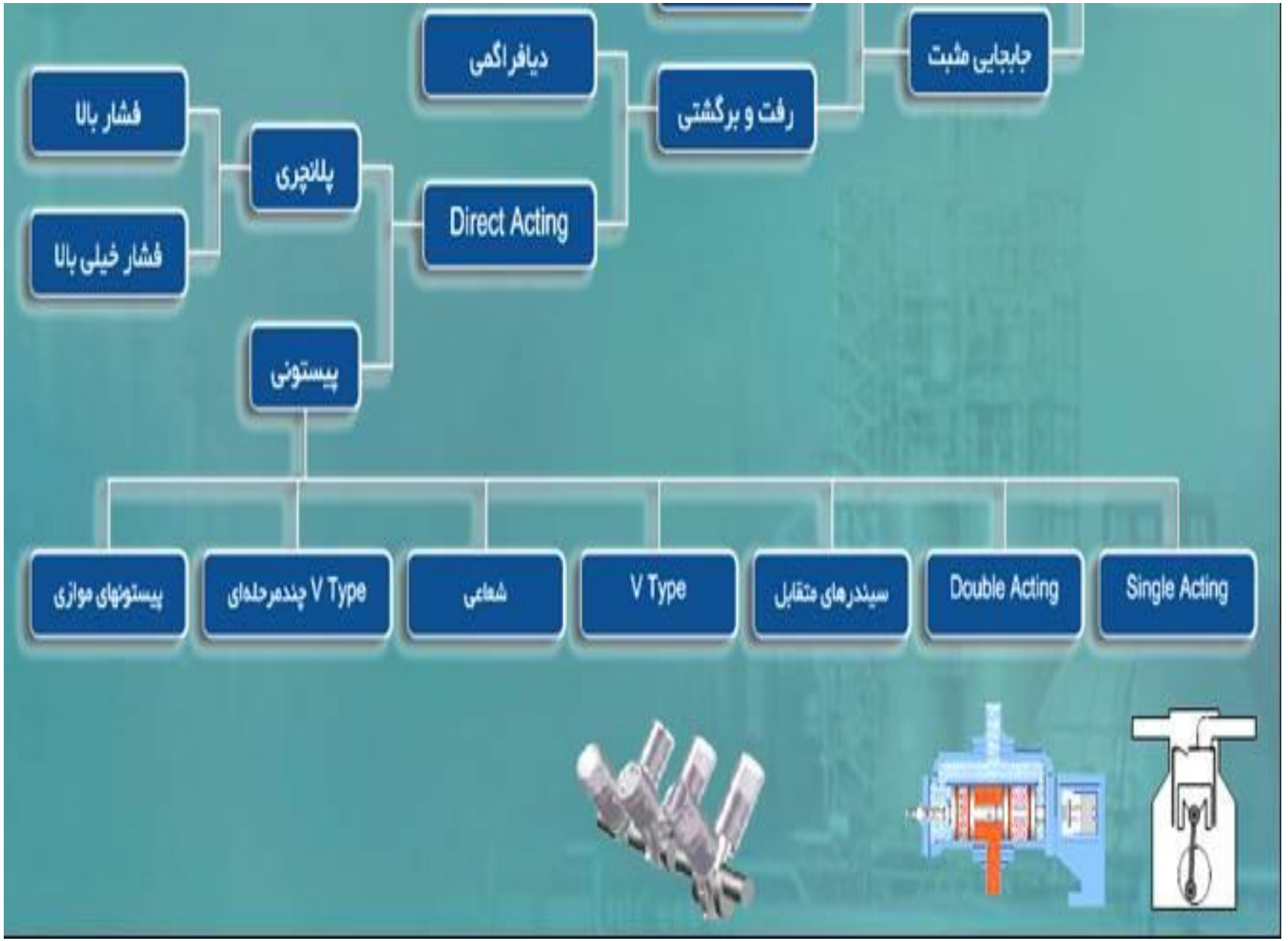
۵- کمپرسورهای جریان محوری[9]



---

[5] Reciprocating Compressor
[6] Centrifugal Compressor
[7] Screw Compressor
[8] Scroll Compressor
[9] Axial Flow Compressor

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



# کمپرسورهاي سانتريفوژ

# بهره برداري از كمپرسورها

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



کمپرسورهای جریان محوری و سانتریفوژ در دسته کمپرسورهای دینامیک و کمپرسورهای رفت و برگشتی و چرخشی در دسته کمپرسورهای جابجائی مثبت قرار دارند. کمپرسورهای حلزونی و پیچشی انواعی از کمپرسورهای چرخشی[1] هستند. طراحان براساس محدوده های خاصی که از نظر نسبت تراکم و شدت جریان گاز در مراجع وجود دارد نوع خاصی از کمپرسور را برای هدف مورد نظر انتخاب می کنند. لازم به ذکر است که هر یک از این نوع کمپرسورها مزایا و کاربردهای خاص خود را دارند.

**توجه : فن ها ( Fan ) و بلورها (Blower ) از نوع دمندهای (کمپرسورهای ) دینامیکی است که ظریب افزایش فشار آنها از 1.2 کمتر می باشد .**

---

[1] rotary

# اساس افزايش فشار در کمپرسورها

- در کمپرسورهای دینامیکی اساس افزایش فشار افزایش سرعت سیال در پروانه و تبدیل سرعت به فشار با عبور از مجراي ديفيوزر مي باشد.

- در کمپرسورهای جابجایی مثبت اساس افزایش فشار ، کاهش حجم است.

تبصره 1 : اگر سرعت سیال قابل تراکم کمتر از سرعت صوت باشد و به عبارت دیگر عدد ماخ کمتر از یک باشد سرعت سیال در ضمن عبور از مجرای دیفیوز به فشار تبدیل میگردد.

تبصره 2 : بخارات نیز همچون گاز ها جزء سیالات قابل تراکم محسوب میشود.

# كمپرسورهاي سانتريفوژ



f1£ fк13 † *$'5}1 $fm817f$57$$ 5 *9f''1}f*к

1 - حجم مولكولي سيال

2 - ماهيت خوردگي سيال

3 - ضريب تراكم سيال

4- رطوبت موجود درسيال

( درپالايشگاهها عبور جريان گاز از روي آب بدليل پديده Cary Over باعث مرطوب شدن گاز ميگردد)

5- درجه حرارت ورودي

6- افت فشار درهر Stage كمپرسور(3-5psi)

7- ضريب افزايش فشار Rc

8- مقدار Flow Rate

تبصره: كمپرسور مورد استفاده در ايستگاههای تقويت فشار گاز معمولا ازنوع سانتريفوز می باشد .

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

*9f1£fK1T $f$f*T

مسئله افزایش فشار در فرایندهای مختلف صنعتی به خصوص در فرایندهای پتروشیمی بسیار حائز اهمیت است. صنایع و زمینه های متعددی وجود دارند که در هر کدام از آنها کمپرسور نقش دارد که این زمینه ها عبارتند از:

- تهویه ساختمانها، تونل ها، معادن و کوره ها
- تأمین هوای فشرده جهت احتراق در ماشین‌های احتراق داخلی و دیگ‌های بخار
- انتقال گاز( تأمین فشار لازم جهت جریان گاز و افت‌های مسیر)
- تأمین فشار مخازن ذخیره تحت فشار
- تزریق گاز به میدانهای نفتی
- سیستم تبرید
- فرایندهای شیمیایی و تصفیه گاز
- بالا بردن سرعت واکنشها در فرایندهای شیمیایی
- انتقال برخی پودرها توسط گاز فشرده شده

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## توضیحات بیشتر :

- کمپرسورهای سانتریفوژ دارای نسبت تراکم کم و ظرفیت (فلوی)بالا بوده و فشار و جریان خروجی آن یکنواخت می باشد.
- کمپرسورهای رفت و برگشتی دارای نسبت تراکم زیاد و ظرفیت کم بوده ولی جریان و فشار در آن متقاطع و ناپیوسته می باشد لذا نیاز به استفاده از اکمولاتور با سرج درام (Surge drum) می باشد.
- دلیل استفاده از کمپرسورهای دیافراگمی ؛ پارامترهایی مثل ، خورندگی سیال ( گاز ترش ) ، سمی بودن سیال ، جلوگیری از نشتی برای اطمینان بیشتر و خالص بودن گاز مطرح می باشد.

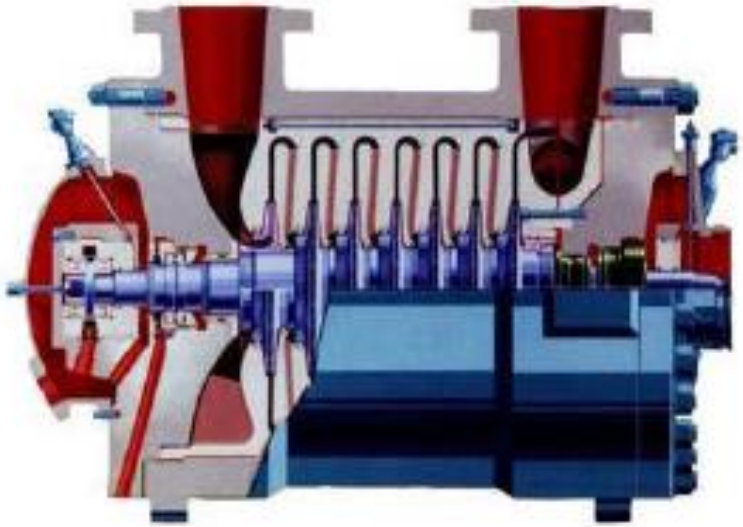
تنصره : در کمپرسور دیافراگمی بین پیستون و سیال دیافراگم وجود دارد.

- در کمپرسور رفت و برگشتی ، اگر نسبت طول به قطر پیستون بیشتر باشد ، پلانجر گویند که در فشارهای بالا کاربرد دارد و اگر نسبت طول به قطر کمتر و مساوی یک باشد پیستونی گویند.

# کمپرسورهای سانتریفوژ

## انواع کمپرسورهای سانتریفوژ

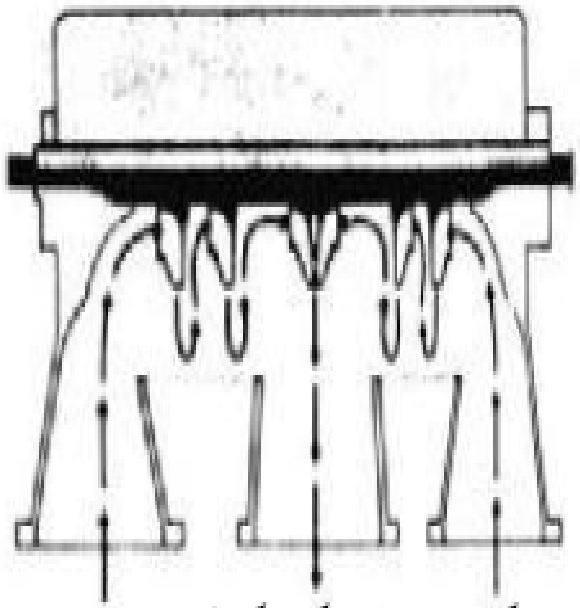
شکل‌های مختلفی برای مسیر جریان سیال در کمپرسورها وجود دارد. ساده‌ترین شکل، حالتی است که در (شکل ٤٢) نشان داده شده است. در این حالت کمپرسور فقط دو نازل دارد یکی ورودی و دیگری خروجی. گاز از نازل ورودی وارد کمپرسور شده و پس از عبور از یک یا چند مرحله افزایش فشار از نازل خروجی خارج می‌شود.



شکل ٤٢- شماتیکی از یک کمپرسور با یک جریان ورودی و یک جریان خروجی

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

درصورتی که شدت جریان گاز بالا و اختلاف فشار کمی در کمپرسور مورد نیاز باشد، سازندگان اغلب اندازه کمپرسور را با به‌کارگیری دو جریان ورودی که در (شکل۴۳) نشان داده شده است کاهش می‌دهند. در این حالت سیال ورودی به دو بخش مساوی تقسیم شده و از دو انتهای کمپرسور وارد آن می‌شود. گاز پس از فشرده شدن از نازل خروجی که در وسط کمپرسور قرار دارد، خارج می‌شود. در این حالت قطر خارجی کمپرسور و هزینه ساخت آن کاهش می‌یابد. درنتیجه، این روش راهی است که می‌توان ظرفیت بدنه کمپرسور را دو برابر کرد.



شکل ۴۳- شماتیک یک کمپرسور با دو جریان ورودی و یک جریان خروجی

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

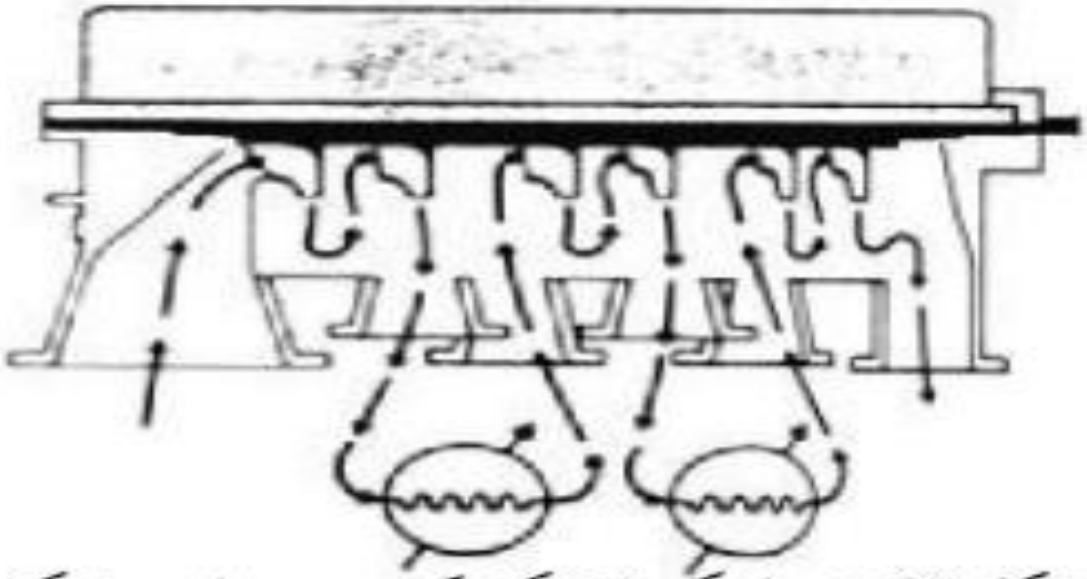


برای حالت‌هایی که دمای گاز به‌علت افزایش فشار به شدت افزایش می‌یابد، باید با استفاده از خنک کردن گاز دماهای خروجی را در حد قابل قبولی نگه داشت. یک راه برای انجام این کار استفاده از دو کمپرسور با یک مبدل حرارتی که مابین آنها قرار دارد می‌باشد. البته برای سرد کردن، سازندگان می‌توانند از خنک کن‌های داخلی استفاده کنند. در این صورت در واقع دو کمپرسور در یک محفظه قرار خواهند داشت (شکل ٤٤). در این حالت گاز از نازل ورودی، وارد کمپرسور شده و از یک نازل خروجی میانی وارد یک مبدل حرارتی خارجی می‌شود و پس از سردشدن، دوباره از بخش میانی محفظه کمپرسور وارد آن شده و دوباره فشرده می‌شود. درنهایت گاز از آخرین نازل خروجی خارج شده و به سیستم خط لوله وارد می‌شود.

شکل ۴۴- شماتیک یک کمپرسور با خنک کن میانی

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

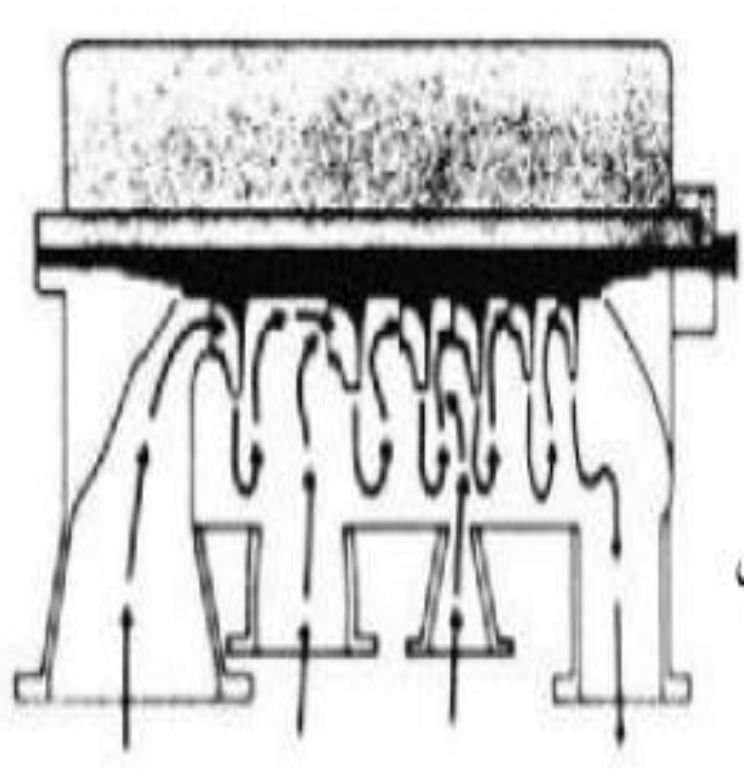
گازهای با وزن مولکولی بالا نسبت به گازهای با وزن مولکولی پائین سریع‌تر گرم می‌شوند. در این موارد سازندگان از کمپرسورهایی با یک بدنه و دو خنک کن میانی استفاده می‌کنند. در این صورت گاز از دو نازل در قسمت‌های میانی بدنه برای سردشدن خارج شده و دوباره وارد می‌شود(شکل ٤٥).



شکل ۴۵– شماتیکی از یک کمپرسور با دو خنک کن میانی

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





شکل ۴۶– شماتیکی از یک کمپرسور با جریان جانبی

وجود هر خنک کن میانی مستلزم استفاده از دو نازل اضافی در بدنه کمپرسور و درنتیجه افزایش فضای اشغال شده توسط آن می‌باشند، بنابراین حداکثر تعداد دفعات سرمایش در کمپرسور دارای یک بدنه، دومرتبه می‌باشد. در بعضی از فرایندهای سرمایش، مراحل فشرده سازی مختلفی مورد نیاز است. سازنده می‌تواند این کار را با استفاده از جریان‌های جانبی انجام دهد (شکل٤٦). در این حالت جریان اصلی گاز از نازل ورودی وارد می‌شود و پس از گذشتن از چند مرحله برای فشرده سازی جریان دیگری در داخل بدنه با آن مخلوط شده و به مرحله بعدی کمپرسور وارد می‌شود. در صورت نیاز گاز فرایندی می‌تواند پس از خروج از نازل خروجی میانی و قبل از ورود به نازل ورودی دوم وارد یک خنک کن شود.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## کارکرد کمپرسورهای سانتریفوژ

کمپرسورهای سانتریفوژ از نوع کمپرسورهای دینامیکی هستند، یعنی برخلاف کمپرسورهای رفت و برگشتی که در آنها تراکم گاز به وسیله یک عضو متراکم کننده(یا همان پیستون) انجام می‌شود، کمپرسورهای سانتریفوژ عضو متراکم کننده‌ای ندارند و تراکم گاز در آنها عمدتاً با نیروی گریز از مرکز و سرعتی که از چرخش سریع گاز به وسیله پروانه حاصل می‌شود انجام می گیرد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



پروانه‌ها یا همان impeller ها از جمله اجزای متحرک کمپرسورهای سانتریفوژ بوده و منبع تمام انرژی داده شده به گاز در طول تراکم می‌باشند. هنگام چرخش پروانه، انرژی داده شده به گاز توسط پره‌های پروانه موجب افزایش فشار استاتیکی و سرعت گاز می‌شود. به این صورت که نیروی گریز از مرکز وارده به گاز مابین پره‌ها، باعث متراکم شدن گاز می‌شود. علاوه بر این فشار استاتیکی، به دلیل افزایش سرعت گاز در گذر از مرکز تا محیط چرخ، افزایش می‌یابد. به این ترتیب افزایش کل فشار به وسیله یک پروانه برابر مجموع افزایش فشارهای استاتیکی و سرعتی است.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



در کمپرسورهای سانتریفوژ پروانه‌ها بر روی یک شفت نصب می شوند. با چرخش شفت و در نتیجه چرخش روتور، گاز به صورت محوری، یعنی در راستای محور شفت وارد پروانه شده و به صورت شعاعی، یعنی عمود بر شفت، با فشار و سرعت بالاتری خارج می‌شود. روتور به وسیله موتور الکتریکی یا توربین به حرکت در می‌آید و گاز کم فشار و کم سرعت از قسمت مرکزی وارد چشم ورودی ویا چشمه کمپرسور شده و با چرخش توسط پروانه و افزایش فشار، از خروجی کمپرسور خارج می گردد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



برای هدایت جریان گاز به دهانه پروانه با کمترین افت فشار، از پره‌هایی در ورودی کمپرسور و یا میان پروانه ها استفاده می‌شود که به آنها پره‌های هادی یا Guide vane گفته می‌شود. زاویه بین این پره‌ها را می‌توان به طور دستی یا اتوماتیک تغییر داد و کارکرد کمپرسور را تنظیم کرد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

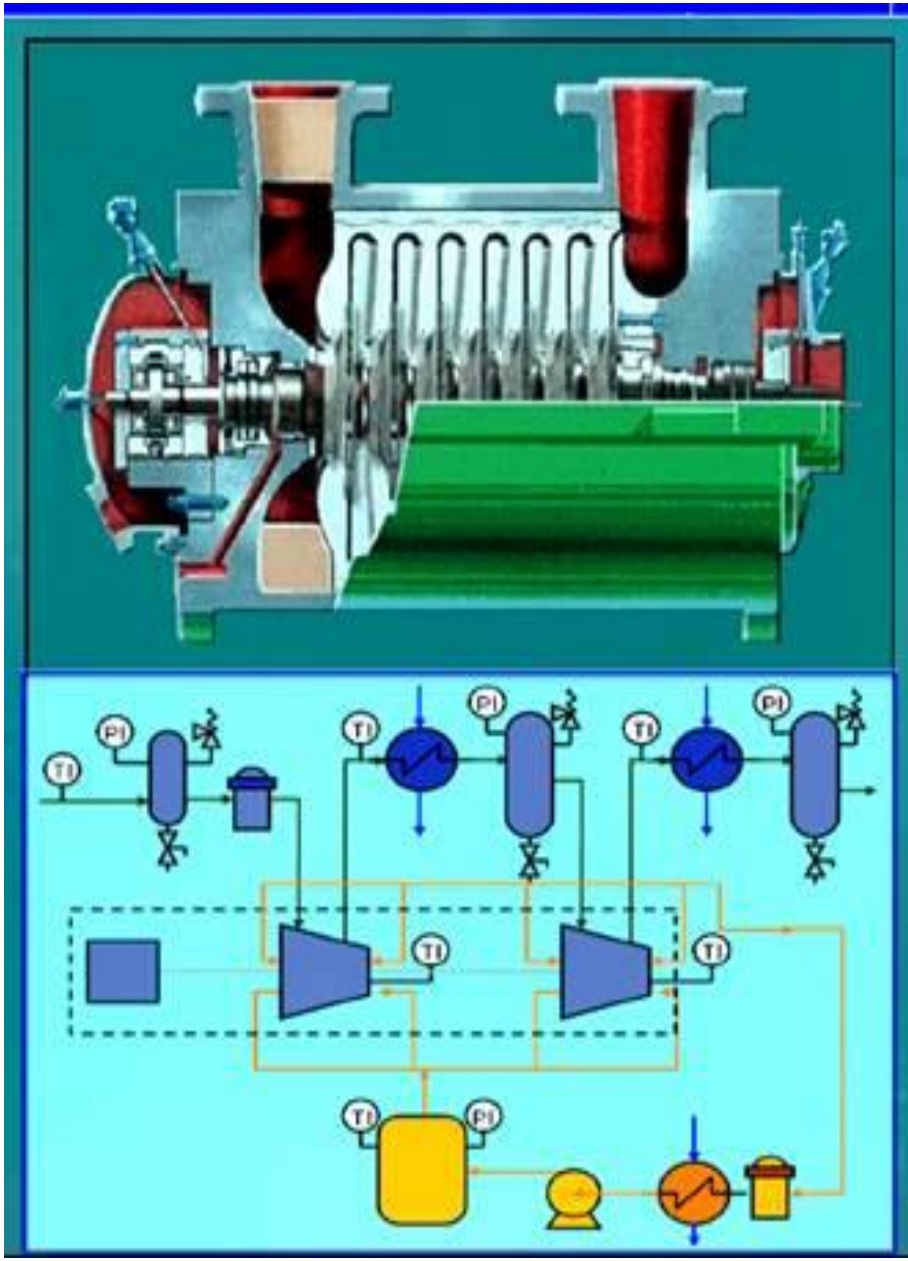
در کمپرسورهای سانتریفوژ افزایش فشار گاز، صرفاً به سرعت نوک پره‌های پروانه که با سرعت دورانی شفت و قطر چرخ متناسب است، بستگی دارد. اما چون سرعت پروانه نمی‌تواند از مقدار مشخصی بیشتر باشد، افزایش فشار گاز در عبوراز یک پروانه واحد نیز نمی‌تواند از محدوده خاصی بالاتر رود. در صورتی که فشار بالاتری مورد نظر باشد برای افزایش فشار گاز از دو یا چند پروانه استفاده می‌شود. در این صورت، گاز خروجی از پروانه اول که تا حدی فشرده شده است، به ترتیب وارد پروانه های بعدی شده و فشرده‌تر می گردد. غالب کمپرسورهای صنعتی چند مرحله‌ای هستند و تعداد پروانه های آنها گاهی به بیش از ۱۰ عدد نیز می‌رسد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

در یک کمپرسور چند مرحله‌ای گاز ابتدا به صورت محوری وارد پره اول شده پس از افزایش فشار و افزایش سرعت، از پروانه اول خارج شده وارد محفظه‌هایی با شکل خاص به نام دیفیوزرمی گردد. در این محفظه‌ها سرعت گازکاهش یافته در نتیجه فشار افزایش می‌یابد. سپس گاز به پروانه دوم هدایت می‌شود. گاز به همین صورت از همه پروانه‌ها عبور می کند و سرانجام بعد از آخرین پروانه،گاز به محفظه خروجی کمپرسور هدایت شده و از آن خارج می‌شود. افزایش فشار کلی در این کمپرسورها برابر مجموع افزایش فشارهای ایجاد شده توسط هر یک از پروانه‌هاست. برای اینکه کارکرد کمپرسور بهینه و راندمان آن حداکثر باشد، بایستی تبدیل سرعت به فشار در پوسته کمپرسور به صورت تدریجی، آرام و بدون افت محسوس در فشار کل انجام شود. بدین منظوراغلب مجموعه‌ای از تیغه‌های راهنما در مسیر عبور گاز نصب می‌شود که گاز را از خروجی یک پروانه می گیرند و به ورودی پروانه بعدی هدایت می کنند. این تیغه‌ها در خلاف جهت خروج گاز از پروانه‌ها شکل داده شده و چنان طراحی می‌شوند که با افزایش سطح مقطع، کاهش سرعت و افزایش فشار به صورت تدریجی، آرام و با حداقل افت انرژی انجام شود.

در کمپرسورهای چند مرحله‌ای برای جبران کاهش حجم گاز در اثر تراکم در هر پروانه، پروانه‌ها از نظر پهنا و قطر در جهت جریان گاز تدریجاً کوچکتر می‌شوند.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



# کمپرسورهاي سانتريفوژ

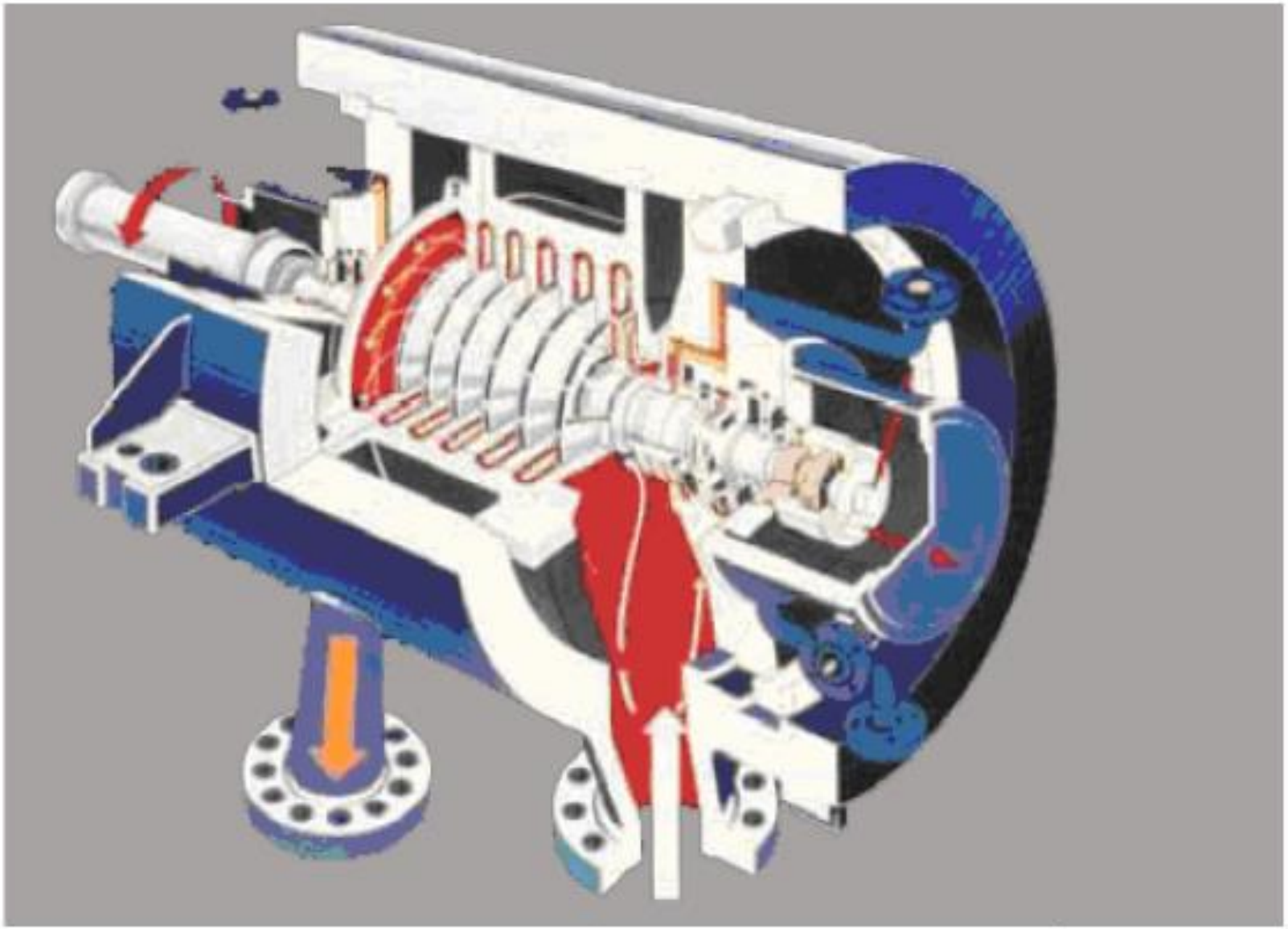
## بدنه و یا محفظه کمپرسور

همه کمپرسورها از جمله کمپرسورهای سانتریفوژ دارای محفظه ای هستند که در آن تجهیزات اصلی از جمله پروانه ها قرار می گیرند. به علاوه محفظه کمپرسورها بایستی حداقل دو نازل یکی ورودی و دیگری خروجی داشته باشند. محفظه کمپرسور بایستی مقاوم باشد تا توانایی تحمل ضربه های احتمالی را داشته باشد. همچنین در مقابل شرایط محیطی مانند خوردگی و ... مقاومت داشته باشد. این محفظه ها ممکن است ریخته گری شده یا فابریک[1] شوند. در (شکل ۷) مقطعی از یک کمپرسور سانتریفوژ نشان داده شده است، در این کمپرسور روشن است که تجهیزات داخلی درون یک محفظه مقاوم قرار دارند.

[1] Fabricated

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





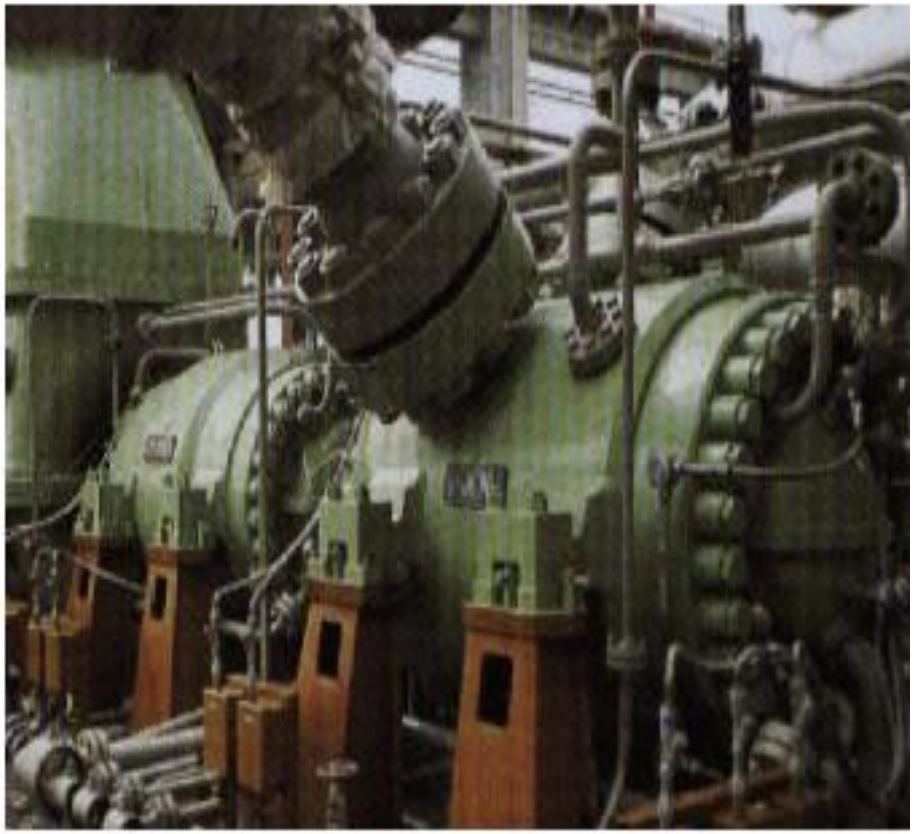
شکل ۷– مقطعی از یک کمپرسور سانتریفوژ به همراه محفظه آن که برای حفاظت از اجزای داخلی تعبیه شده است

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

محفظه‌های کمپرسورهای سانتریفوژ شامل نازل های ورودی، خروجی و مدخل هایی برای جمع آوری سیال در ورودی و خروجی می باشد. این محفظه‌ها ممکن است به دو صورت محفظه هایی که فصل مشترک افقی بین دو قسمت بالایی و پائینی آن وجود دارد (شکل ۸) و محفظه هایی که این فصل مشترک در آنها عمودی است (شکل ۹) تقسیم می‌شوند. محفظه دو پارچه افقی دارای نقطه جدایشی در راستای شفت می‌باشد که دو بخش جداگانه در این قسمت با پیچ به هم متصل شده‌اند. محل قرارگرفتن نازل‌ها در این حالت معمولاً در قسمت بالایی (شکل ۸) یا پائین بدنه می‌باشد، البته ممکن است بعضی نازل‌های میانی در دیواره بدنه نصب شوند. محفظه‌هایی از این نوع که دارای نازل در قسمت پائینی هستند از نقطه نظر نگهداری مناسبتر می‌باشند. اگر نازل این کمپرسورها در بخش پائینی قرار داشته باشد بدون اینکه سیستم خط لوله تغییر کند و دچار آشفتگی شود، می‌توان روتور را از قسمت بالایی بدنه کمپرسور جدا کرد. در این صورت فضای مورد نیاز برای نگهداری کمپرسور حداقل خواهد بود.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

شکل ۸- نمایی از کمپرسور با محفظه افقی

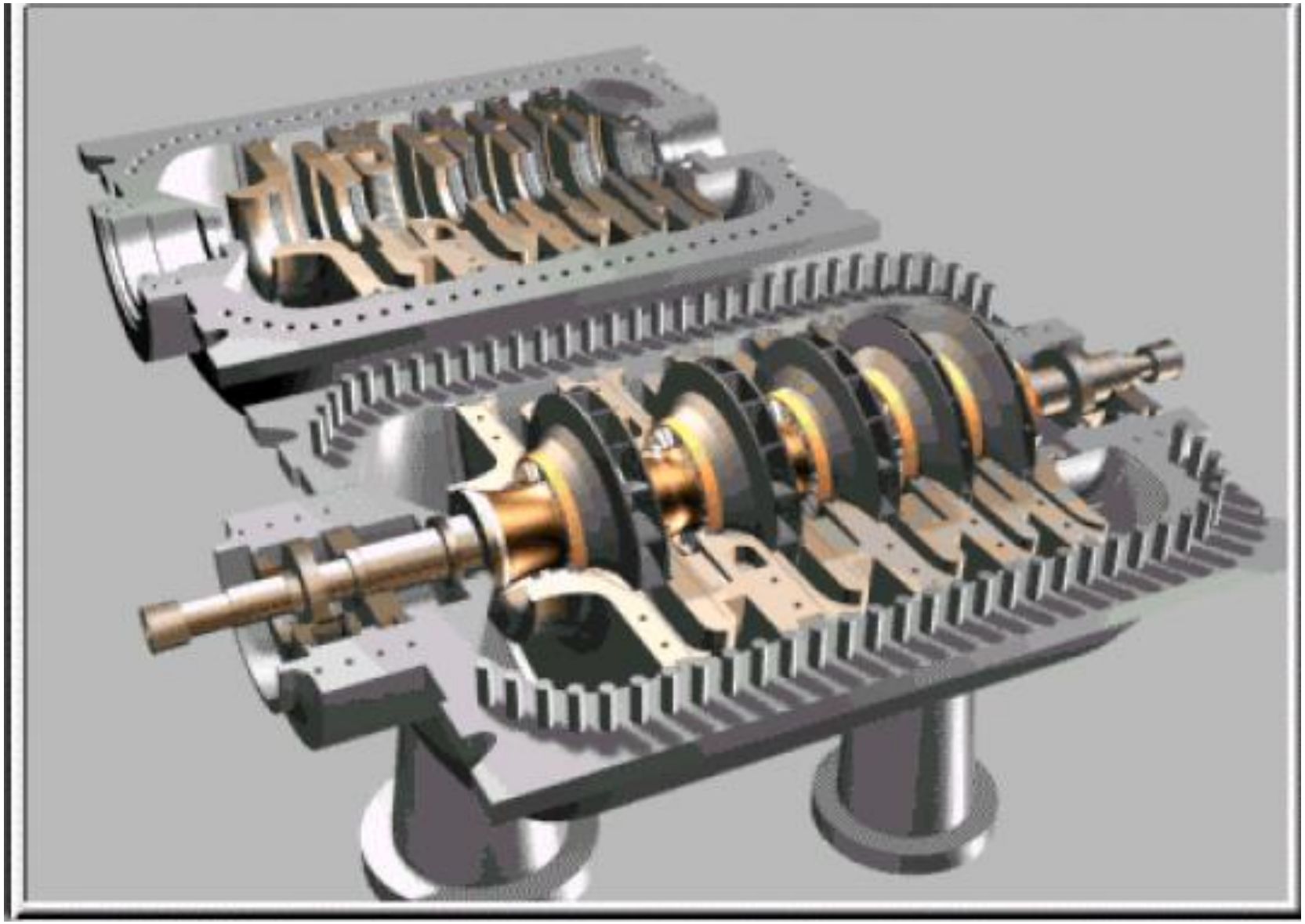


شکل ۹- نمایی از کمپرسور با محفظه عمودی

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

در فشارهای تقریباً ۵۰۰psig (۳۵۰۰kpa)، محفظه‌هایی که فصل مشترک افقی دارند قابلیت آب‌بندی مناسبی نداشته و در این‌صورت سازندگان از محفظه هایی دارای فصل مشترک عمودی یا بشکه‌ای شکل استفاده می کنند (هرقدر اندازه کمپرسور بزرگتر باشد قابلیت آب‌بندی آن در مقابل فشار گاز کمتر است). در این نوع محفظه درپوشهای دو طرف آن به بدنه پیچ می شوند و روتور در یک سیلندر کامل قرار دارد و خارج کردن روتور از بخش‌های انتهایی محفظه صورت می گیرد. درنتیجه بایستی فضای کافی برای خارج کردن و نگهداری روتور وجود داشته باشد. در عوض در این نوع محلهای نشت گاز نسبت به کمپرسورهایی که دارای دو قسمت افقی جدا از هم هستند کمتر است.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## دیافراگم

دیافراگم بخش ساکنی است که از مجموع یک رویه مربوط به دیفیوزر بالادستی، بخشی از زانویی برگشت جریان، کل کانال برگشت جریان و یک صفحه از دیفیوزر پایین‌دستی تشکیل شده است. دیافراگم ها با شفت کمپرسور نمی چرخند. هر پروانه یک دیافراگم دارد. دیافراگم ها بین پروانه‌های کمپرسور قرار می گیرند و به این‌منظور طراحی می‌شوند که جریان ورودی به چشم پروانه کاملاً آرام باشد. چشم پروانه مدخل ورودی به پروانه است. این بخش از کمپرسورهای سانتریفوژ اکثراً به صورت ریخته گری شده یا فابریک شده و یاترکیبی از این دو روش ساخته می‌شوند. دیافراگم‌ها به صورت شعاعی و درون شیارهایی در محفظه قرار می گیرند. جهت جلوگیری از جابجا شدن دیافراگم در محفظه، قسمت بالایی آن توسط پیچ محکم می‌شود. محل اتصال افقی، قطر خارجی و دیواره های انتهایی دیافراگم تراشکاری می شوند تا از نشتی جلوگیری کرده و مانع اصطکاک شوند. در داخل دیافراگم دو زبانه برای آب بندهای میان مرحله ای تعبیه می‌شوند.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

شکل ۱۳- نمایی شماتیک از دیافراگم

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



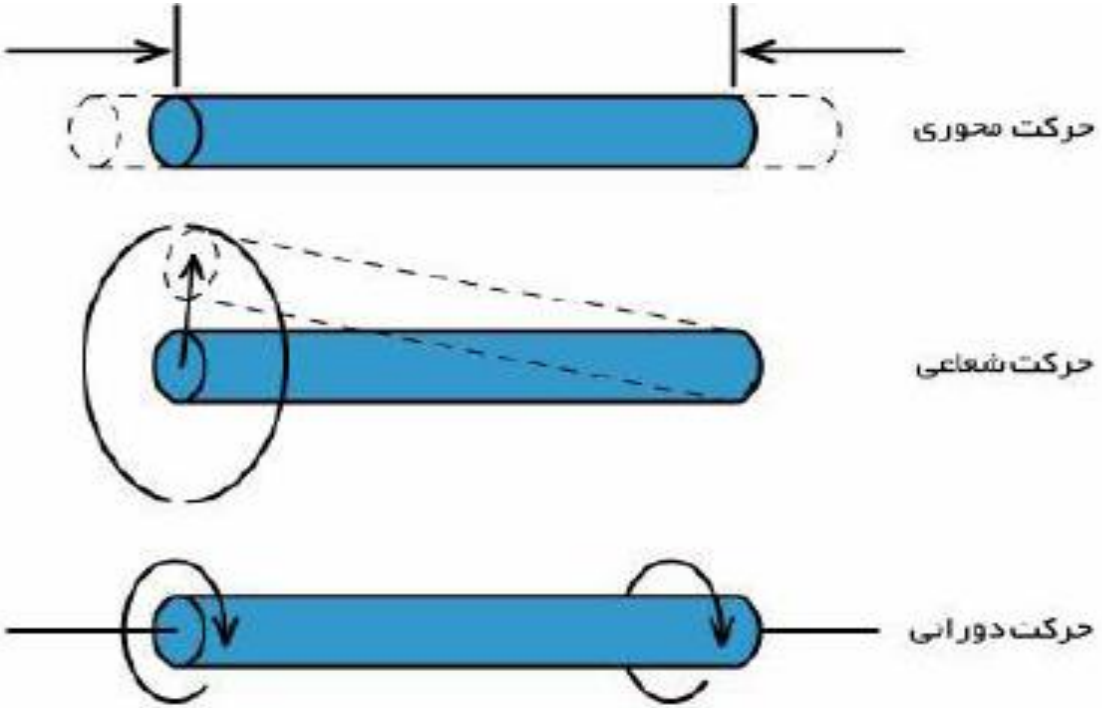
بعضی از دیافراگم‌ها دارای جدار خنک کننده می‌باشند. این نمونه دیافراگم‌ها دارای مسیرهای ورودی و خروجی برای آب هستند. البته جریان آب خنک کن می‌تواند یک جریان دائمی باشد یعنی از یک‌طرف وارد شود و از طرف دیگر بیرون بریزد ویا اینکه یک مدار همانند سیستم خنک کننده داشته باشد. زمانی که گاز از پروانه کمپرسور خارج می‌شود و از میان دیفیوزر عبور کرده و با دیواره خارجی دیافراگم تماس پیدا می کند به علت مجاورت با دیافراگم نسبتاً سرد در اثر تبادل حرارتی گاز خنک می‌شود.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## یاتاقان

یاتاقان‌ها در همه ماشین‌ها و تجهیزات چرخنده وجود دارند. هدف از استفاده از یاتاقان‌ها ایجاد تکیه‌گاه و هدایت بخش‌های متحرک درون تجهیزات می‌باشد. نشتی و آسیب رسیدن به کمپرسور می‌تواند در صورت نامیزانی حرکت شفت یا دیگر اجزای متحرک کمپرسور باشد. یک شفت نامیزان می‌تواند به سه حرکت محوری، شعاعی و چرخشی گرایش داشته باشد. (شکل ۱۸)




شکل ۱۸– حرکتهای یک محور که بایستی از آنها جلوگیری کرد

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



حرکت در طول محور را حرکت محوری گویند. همچنین شفت می‌تواند به طرف خارج از مرکز نیز حرکت کند که این حرکت را حرکت شعاعی گویند. حرکت دورانی شفت حول محور آن را حرکت دورانی می گویند.

برخی از یاتاقانها در جهت شعاعی[2] و برخی دیگر در جهت محوری[3] نیروهای وارد بر روتور را تحمل می کنند. پیچیده‌ترین یاتاقان‌ها، آنهایی هستند که برای شفت‌های چرخنده که با سرعت زیادی چرخیده و متحمل بارسنگین هستند، استفاده می‌شوند. یاتاقان‌ها به دو گروه جداگانه تقسیم می‌شوند: یاتاقان‌های مسطح[4] و یاتاقان‌های چرخشی[5].

---

[1] Bearing
[2] Radial Bearing
[3] Thrust Bearing
[4] Plain Bearing
[5] Rolling Element Bearing

# کمپرسورهای سانتریفوژ



یکی از ساده‌ترین انواع یاتاقانها، یاتاقانهای مسطح می‌باشند (شکل ۱۹). یاتاقان‌های مسطح روی فیلم روغنی که بین دو قطعه لغزنده وجود دارد، قرار می‌گیرند. این یاتاقان‌ها توانایی تحمل بارهای زیادی را داشته و متکی به وجود یک سیستم روغن کاری برای ایجاد فیلم روغن

شکل ۱۹- نمونه‌ای از یاتاقاهایTilting

می‌باشند. درنتیجه در صورتی که از این یاتاقان‌ها استفاده شود بایستی روغن سرد وتمیز در دسترس باشد. جرم یاتاقان‌های مسطح نسبتاً زیاد است مخصوصاً نوع "tilting pad" که از آنها در تجهیزات فرایندی مدرن استفاده می‌شود. پدهای[1] (Pad) موجود در این یاتاقان از چرخش روغن به همراه شفت تا حدی جلوگیری کرده و موجب تعادل بیشتری می‌شوند. عمر مفید بالای یاتاقان‌های مسطح سبب شده‌است که در موارد زیادی به کار روند.

[1] Pad

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



یاتاقان‌های Rolling Element یا یاتاقانهای غلتشی از دو عدد رینگ و مجموعه‌ای از اجزای غلتنده که در مسیر مشخصی داخل رینگ ها حرکت می کنند، تشکیل شده‌اند. شکلهای استاندارد این اجزاء شامل ساچمه، رولر استوانه‌ای، رولر سوزنی، رولر مخروطی، رولر بشکه ای متقارن و رولر بشکه‌ای نامتقارن می‌باشند. این نوع از یاتاقان‌ها حرارت خیلی کمتری نسبت به یاتاقان‌های مسطح ایجاد می کنند، بنابراین توان کمتر تلف می‌شود و به روانکاری کمتری نیاز دارند. این یاتاقان‌ها نسبت به یاتاقان‌های مسطح کوچکتر و سبکتر هستند.

شکل ۲۰– نمونه ای از یاتاقان نوع بلبرینگ

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

شکل ۲۰– نمونه ای از یاتاقان نوع بلبرینگ

در صورتی که یاتاقانی خراب شود، گرمای تولیدشده در بعضی موارد می‌تواند بخشی از شفت را که یاتاقان روی آن قرار دارد ذوب کند، این پدیده منجر به خم-شدن و سپس شکستن شفت می‌شود. بنابراین ضروری است که دما و فشار گیرد.

یاتاقان‌های فرسوده منجر به ارتعاش و حرکت شفت می‌شوند. این مسأله به آب‌بندهای لابیرنت[1] آسیب رسانده، منجر به افزایش نشتی شفت می‌شود. افزایش ارتعاشات خطر خرابی تجهیزات را افزایش می‌دهد.

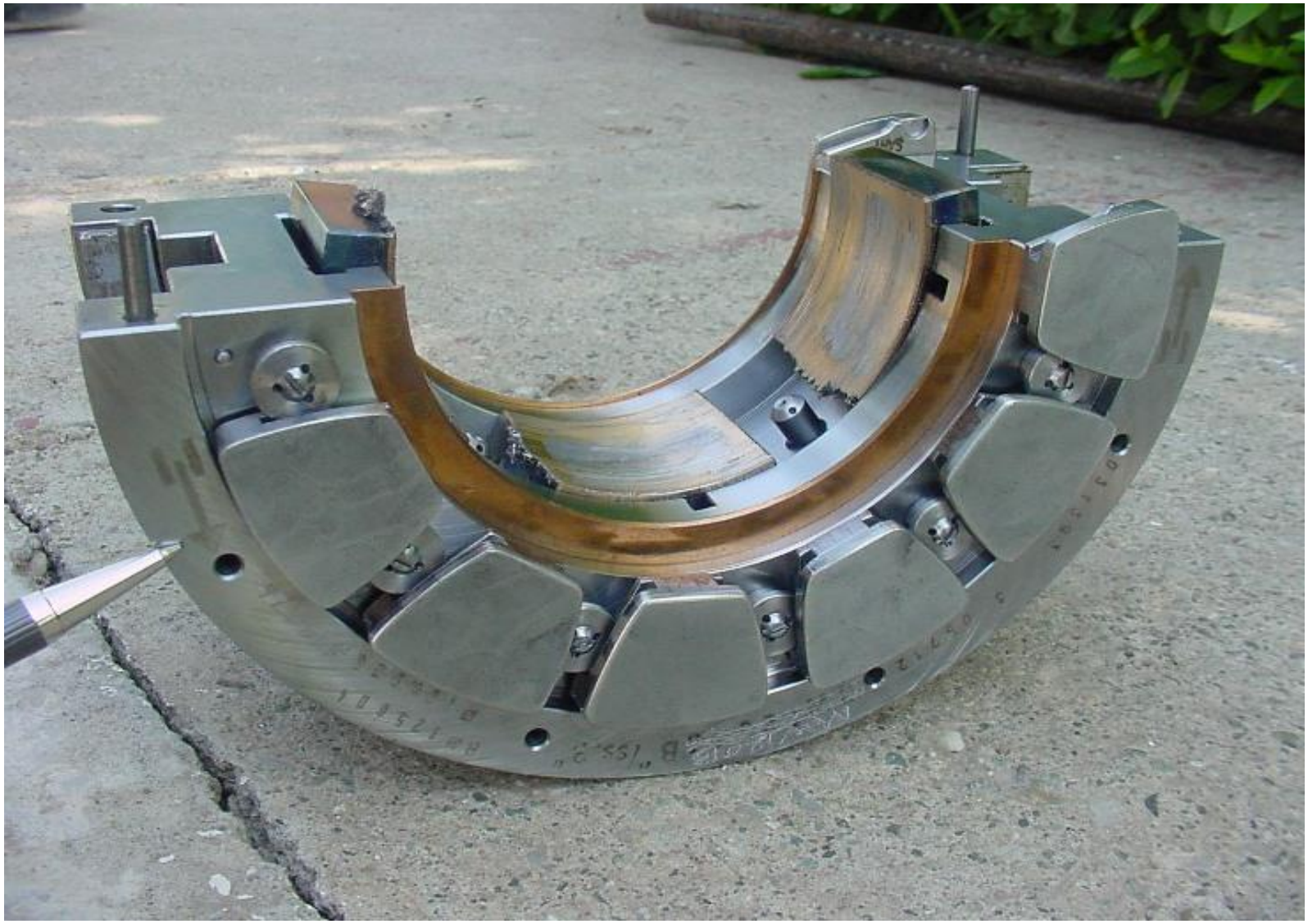
[1] Labyrinth seals

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

در کمپرسورهای سانتریفوژ نیروهایی وجود دارند که باعث حرکت طولی و حرکت شعاعی شفت می‌شوند. برای مثال نیروی وارد بر پروانه توسط گاز فشرده شده باعث حرکت افقی شفت می‌شود به علاوه در صورتی که پروانه به درستی روی شفت نصب نشود در هنگام کار کمپرسور ممکن است حرکت شعاعی داشته باشد. به همین دلیل برای جلوگیری از این حرکت های نا خواسته و همچنین به حداقل رساندن اصطکاک از یاتاقانهای شعاعی و محوری در این کمپرسورها استفاده می شود. یاتاقان‌های شعاعی معمولاً در دو سمت روتور و در بیرون محفظه جهت سهولت دسترسی و تعمیرات قرار گرفته و با روغن تحت فشار روغن کاری می‌شوند. به طور کلی دمای یاتاقانها بایستی کنترل شود تا بیش از اندازه گرم نشوند.

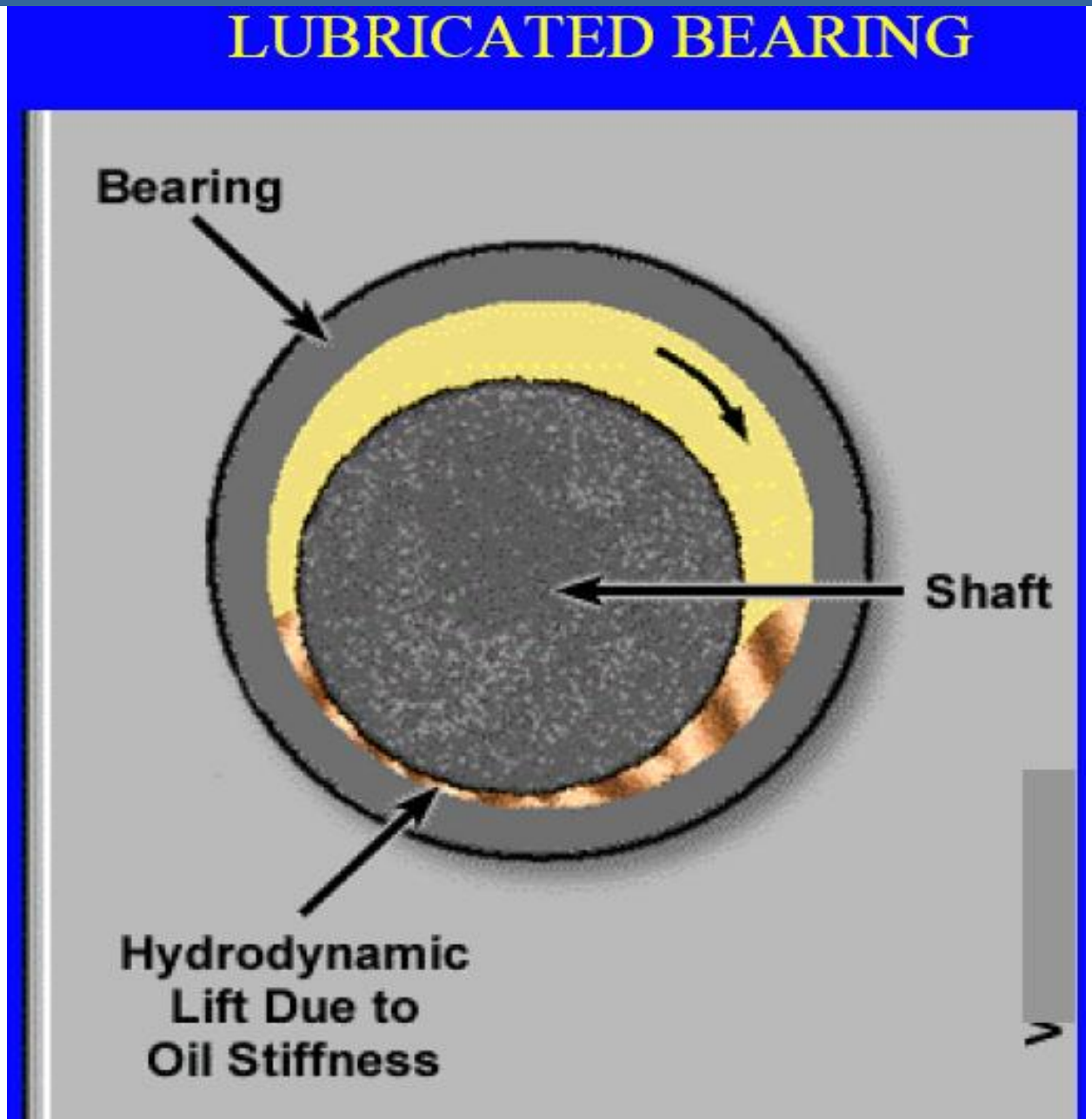
# کمپرسورهاي سانتريفوژ

توجه : نمونه از یاتاق ترکیبی ژورنال و تراست در شکل زیر آورده شده است



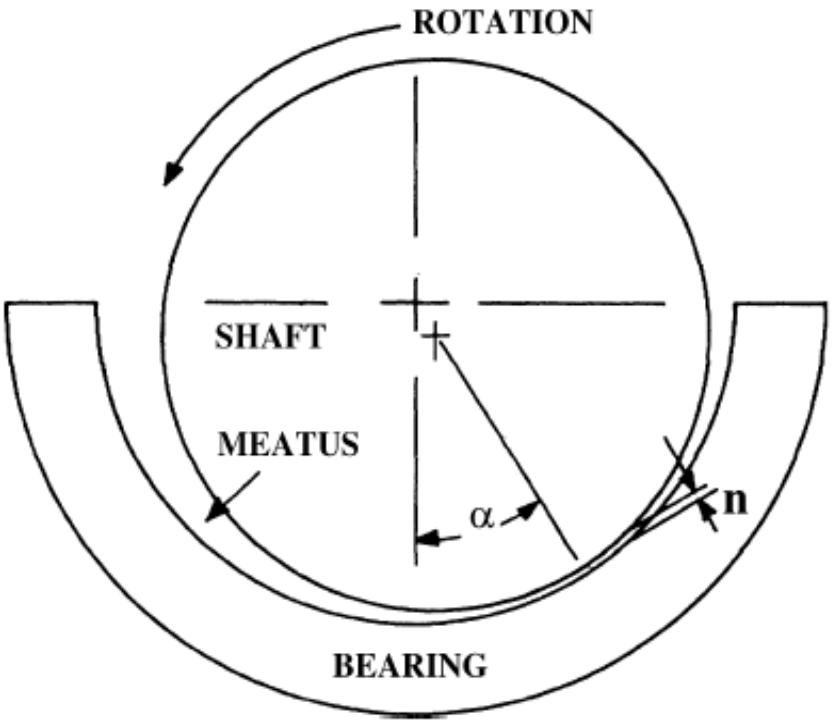
# کمپرسورهاي سانتريفوژ

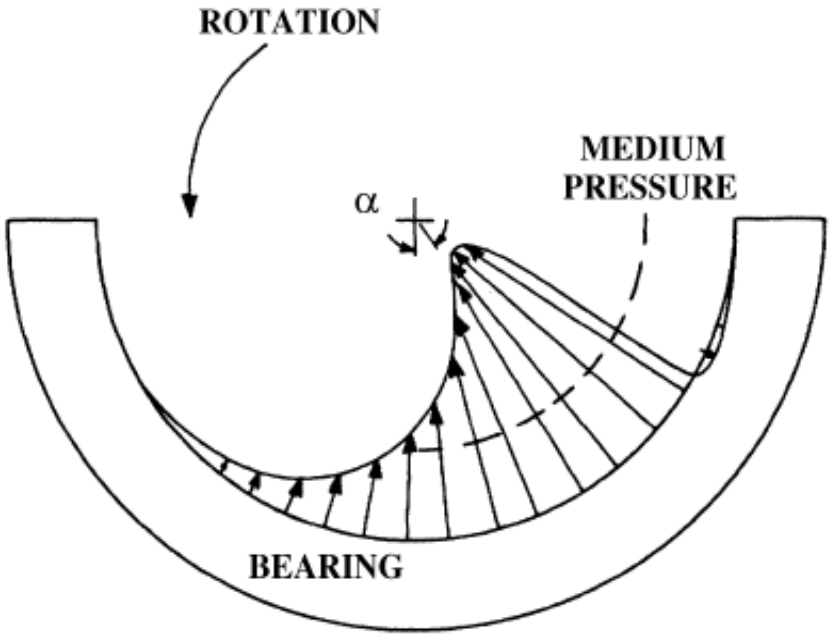




# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## HYDRODINAMIC PRESSURE PROFILE



# کمپرسورهاي سانتريفوژ



- زاويه ورود روغن در بيرينگهاي مسطح (OIL WEDGE

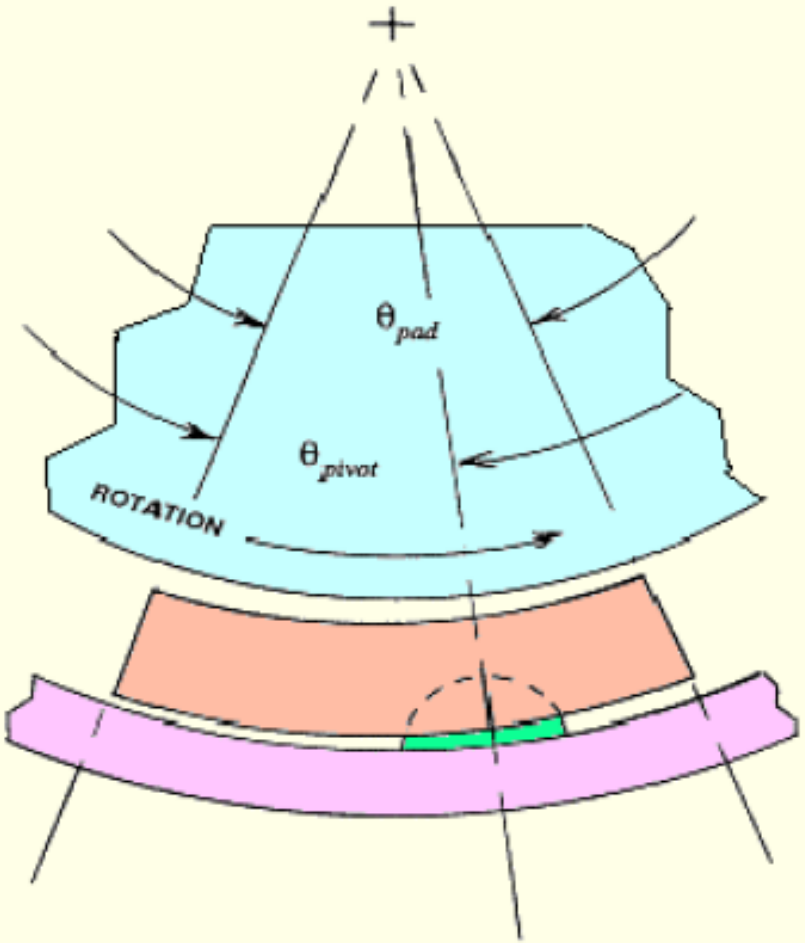
در بيرينگهاي مسطح براي اينكه روغن به راحتي بتواند مابين بيرينگ و شفت نفوذ كند بايد زاويه اي بين شفت و بيرينگ در جهت حركت شفت ايجاد گردد كه اين در اثر ايجاد offset در محل تكيه گاه پد هاي بيرينگ هاي مذكور نسبت به مركز آنها ايجاد ميگردد كه بيرينگ از نوع تراست و ژورنال باشد. در بيرينگهاي مسطح كه داراي Tilting pad نيستند براي نفوذ روغن از شيارهاي در روي بيرينگ استفاده ميگردد.

در اسلايدهاي صفحات بعدي زاويه روغن و نحوه ايجاد off set را ملاحظه مي فرماييد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## OFFSET CALCULATION




Example:

$$Offset = \frac{\theta_{pivot}}{\theta_{pad}}$$

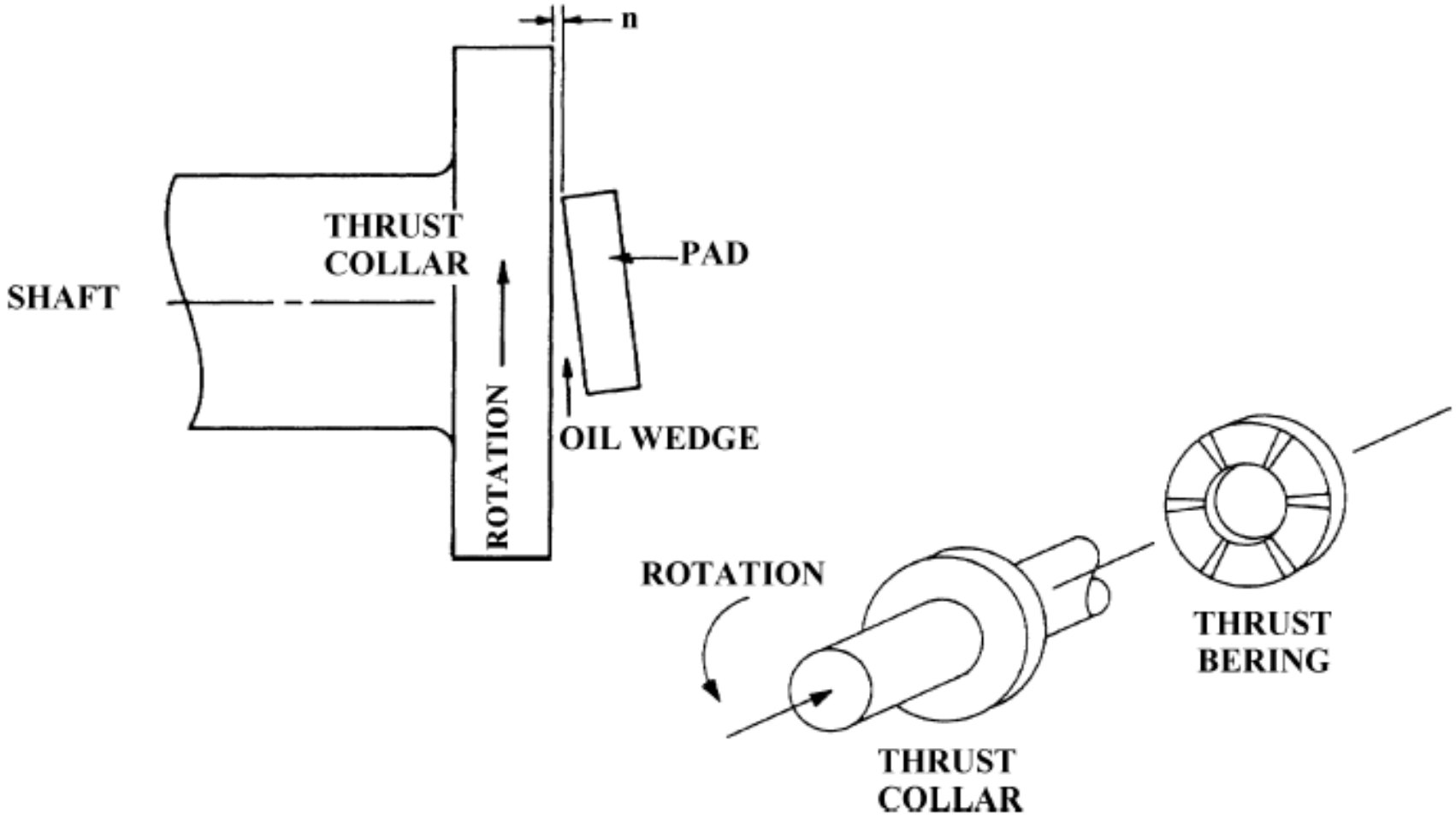
$\theta_{pad} = 60°$

$\theta_{pivot} = 33°$

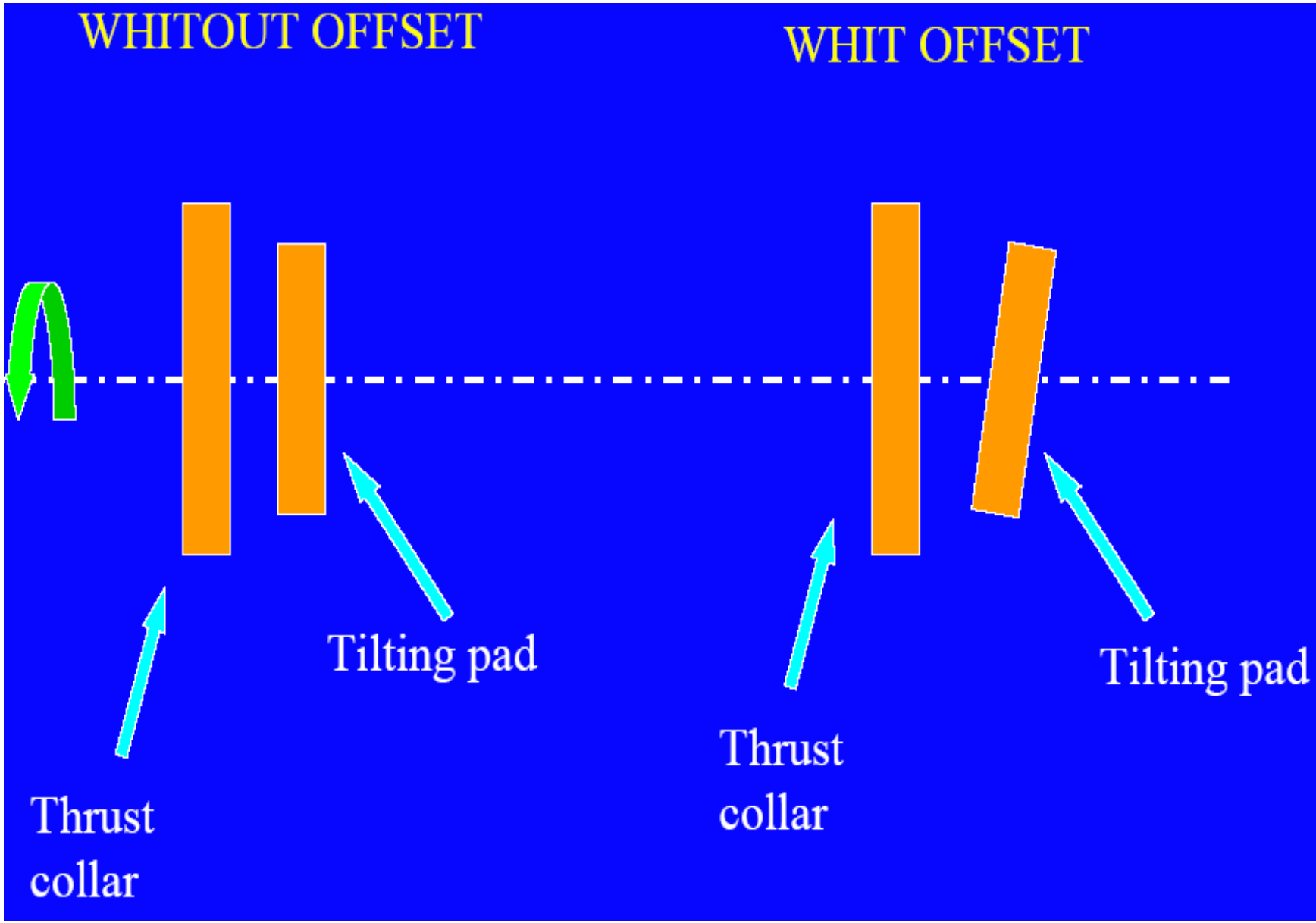
$$Offset = \frac{33}{60} = 0.55$$

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



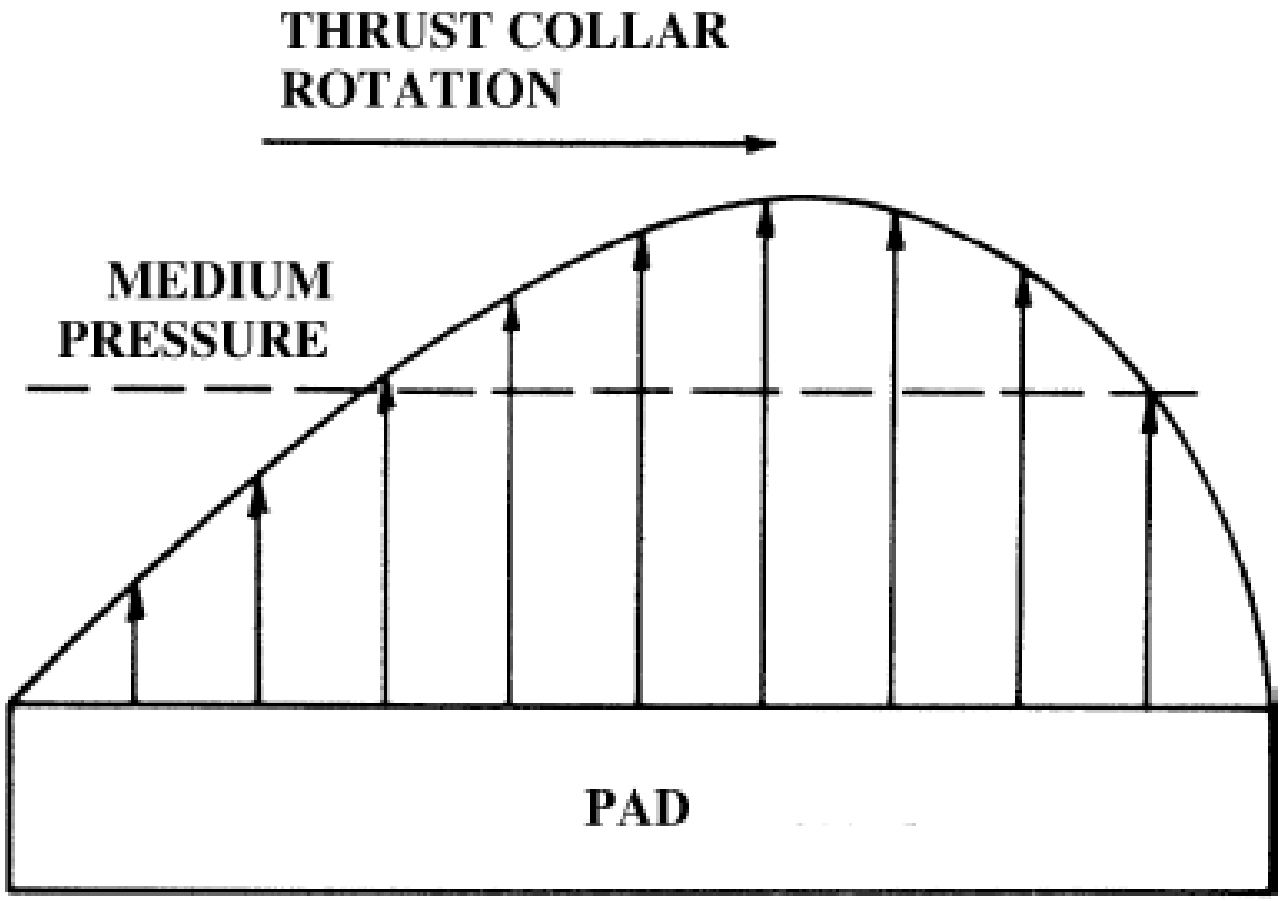


# کمپرسورهاي سانتريفوژ



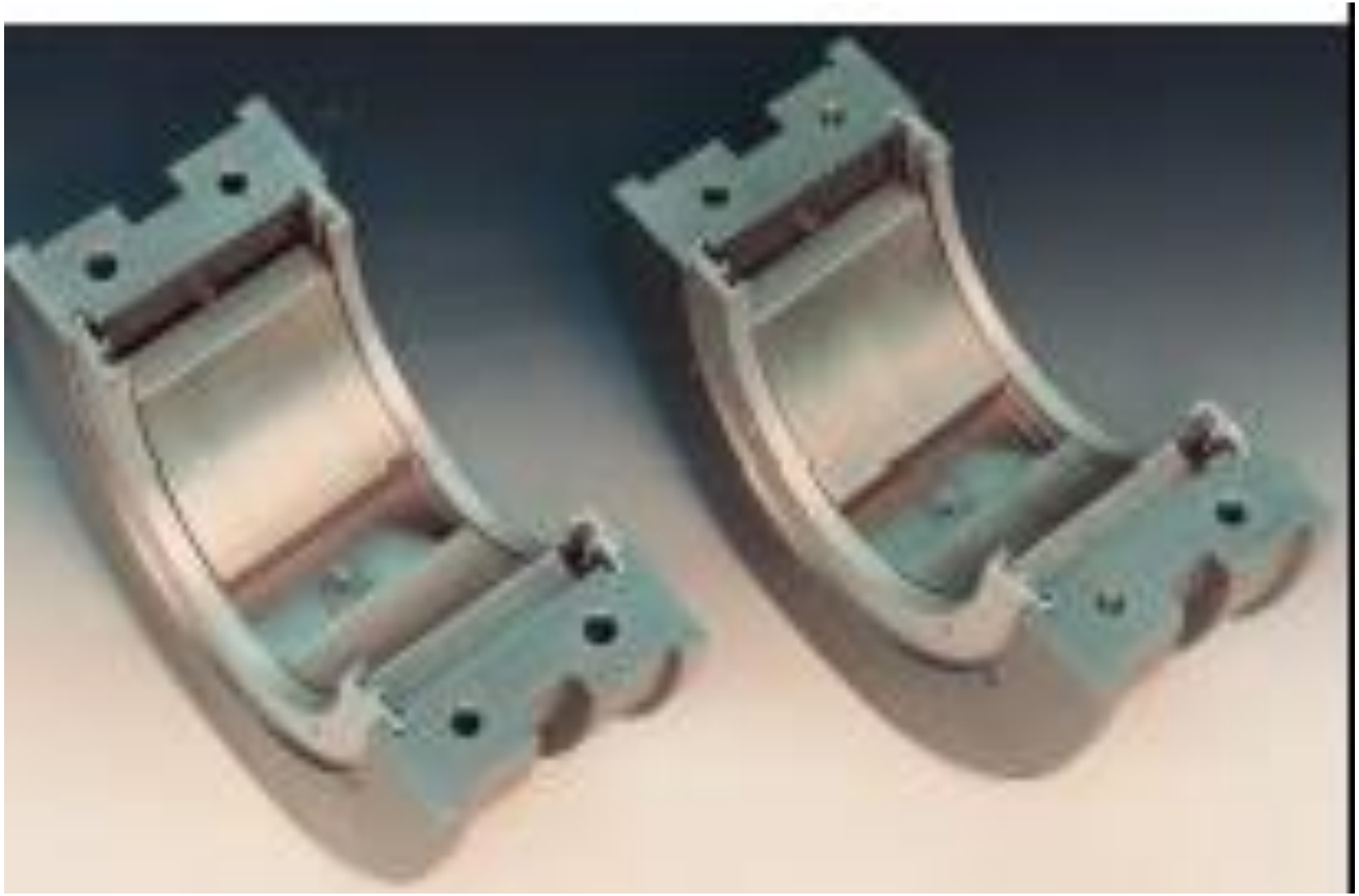
# کمپرسورهاي سانتريفوژ

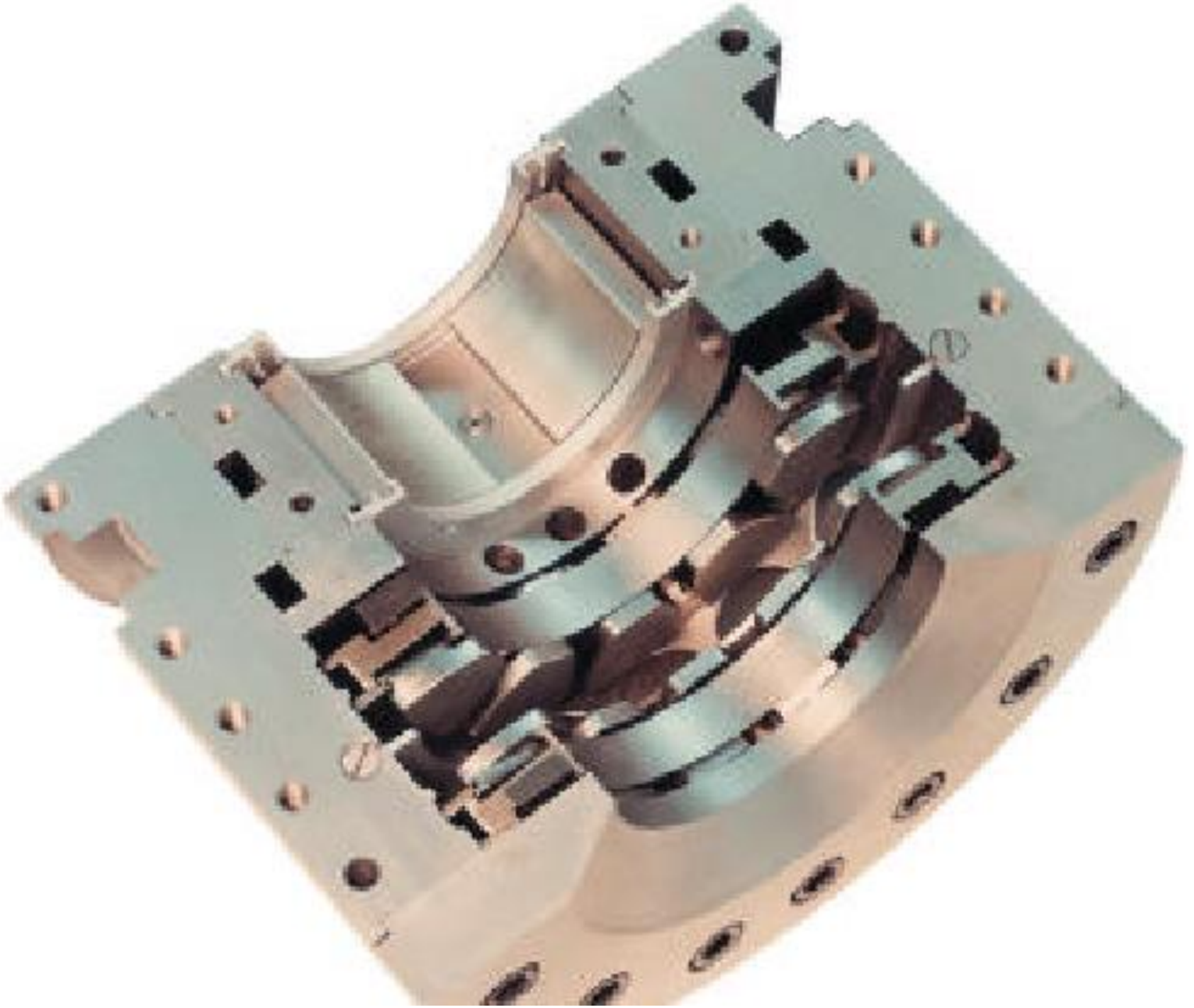





Oil film pressure in the clearance of a thrust bearing pad

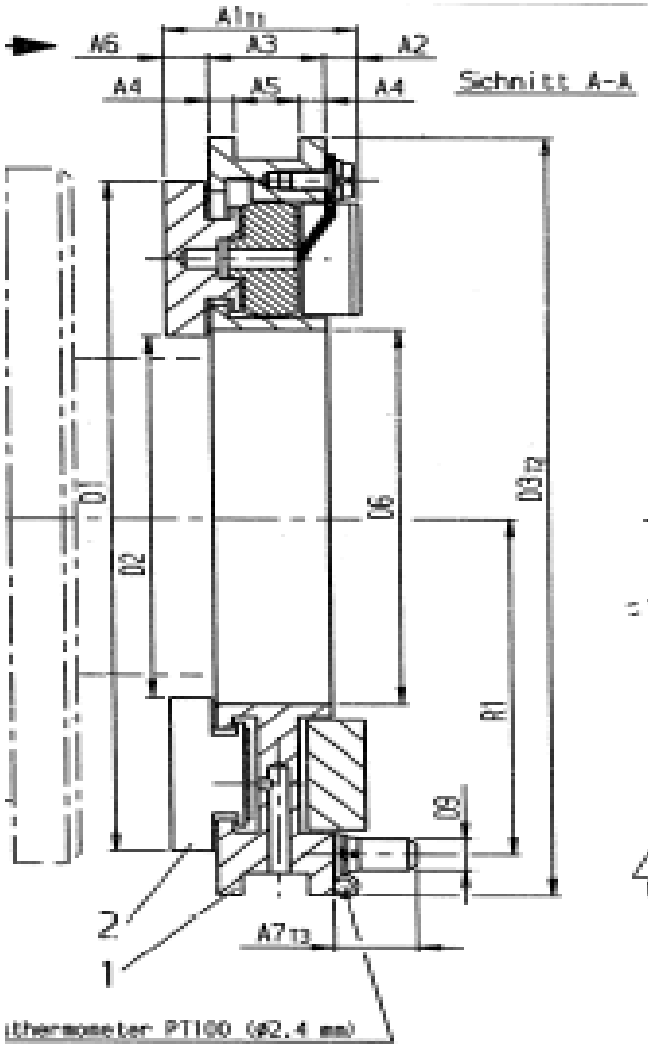
# کمپرسورهاي سانتريفوژ

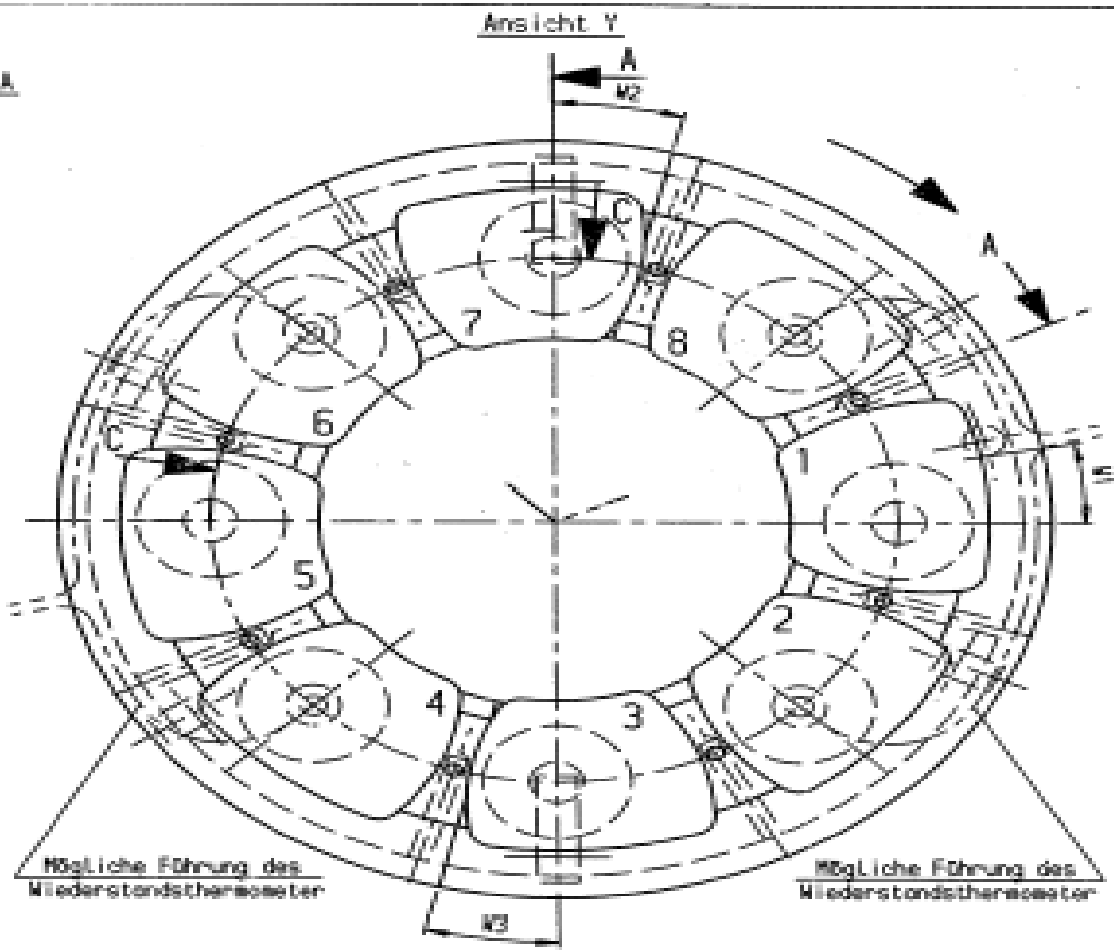


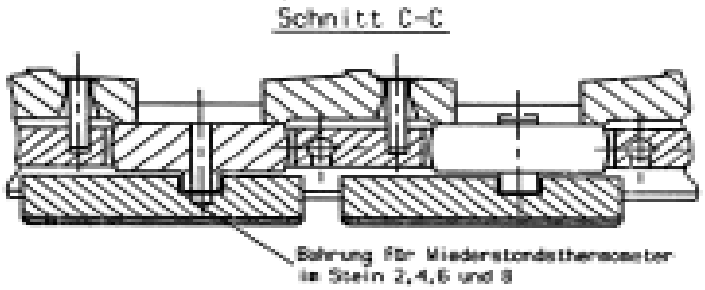


# کمپرسورهاي سانتريفوژ



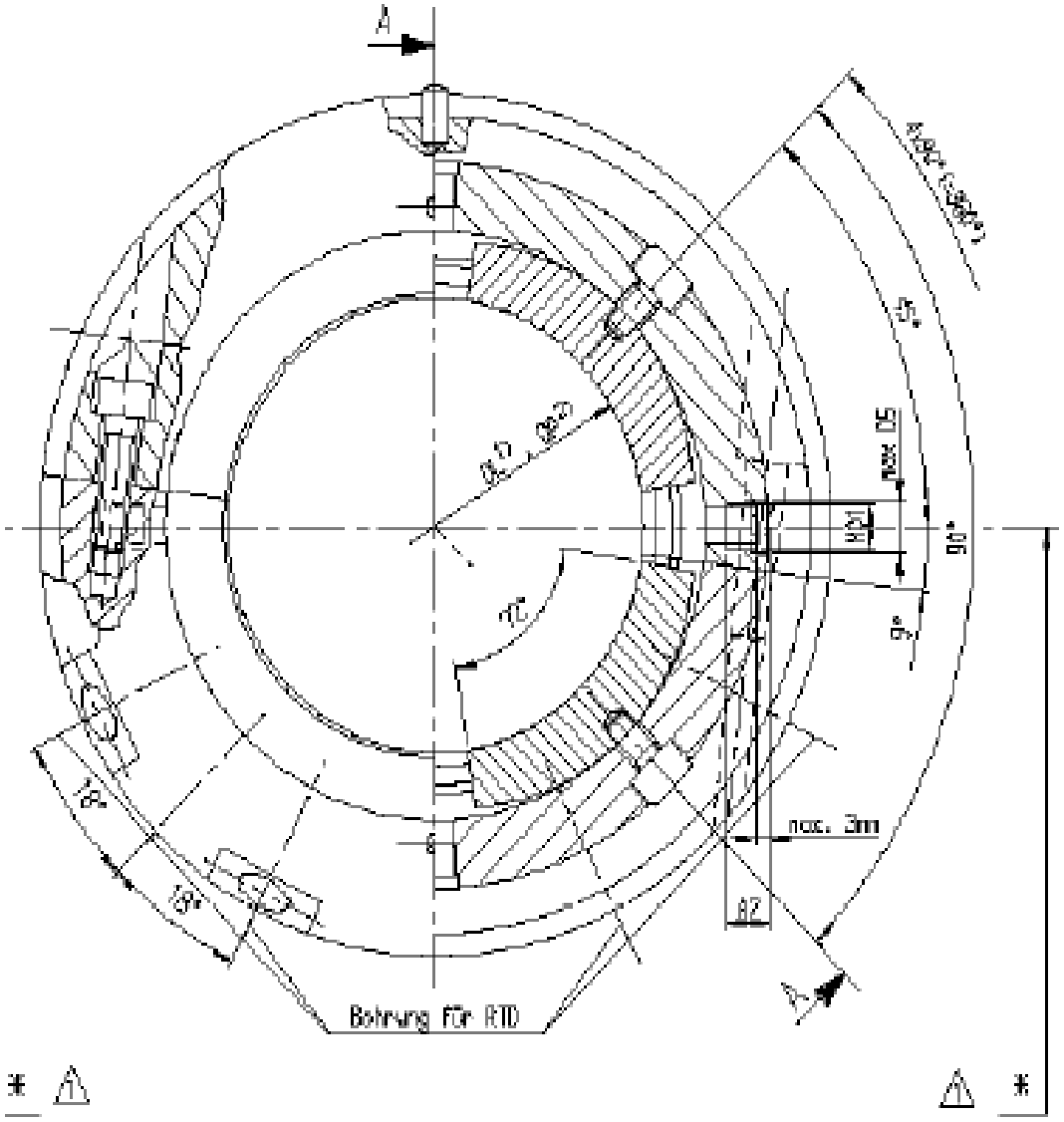


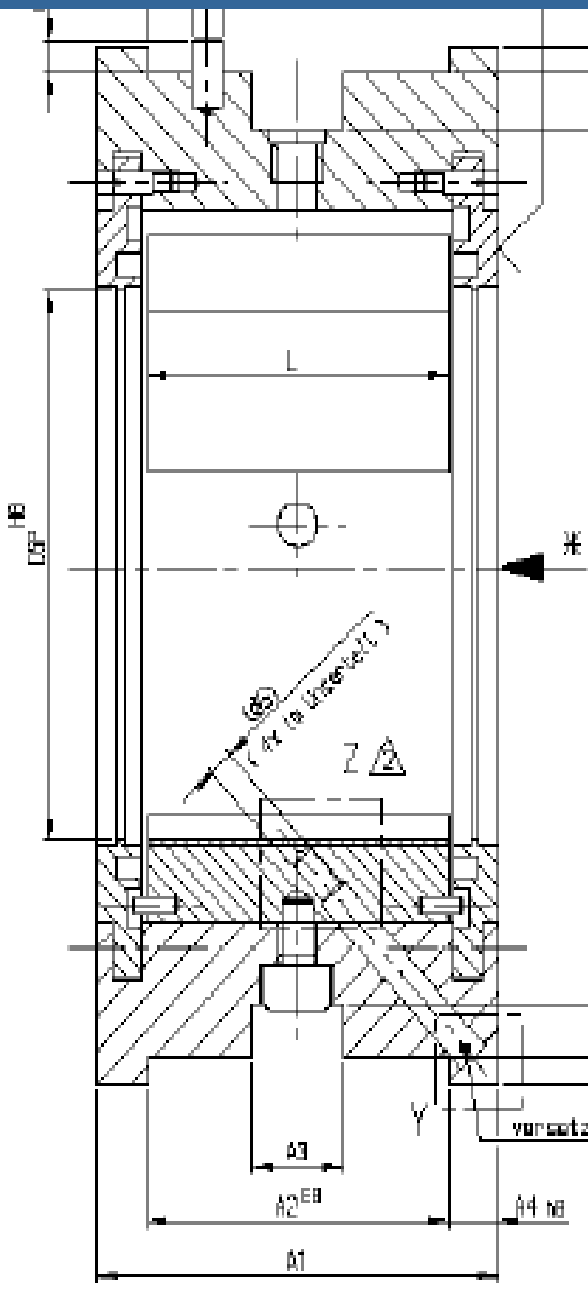



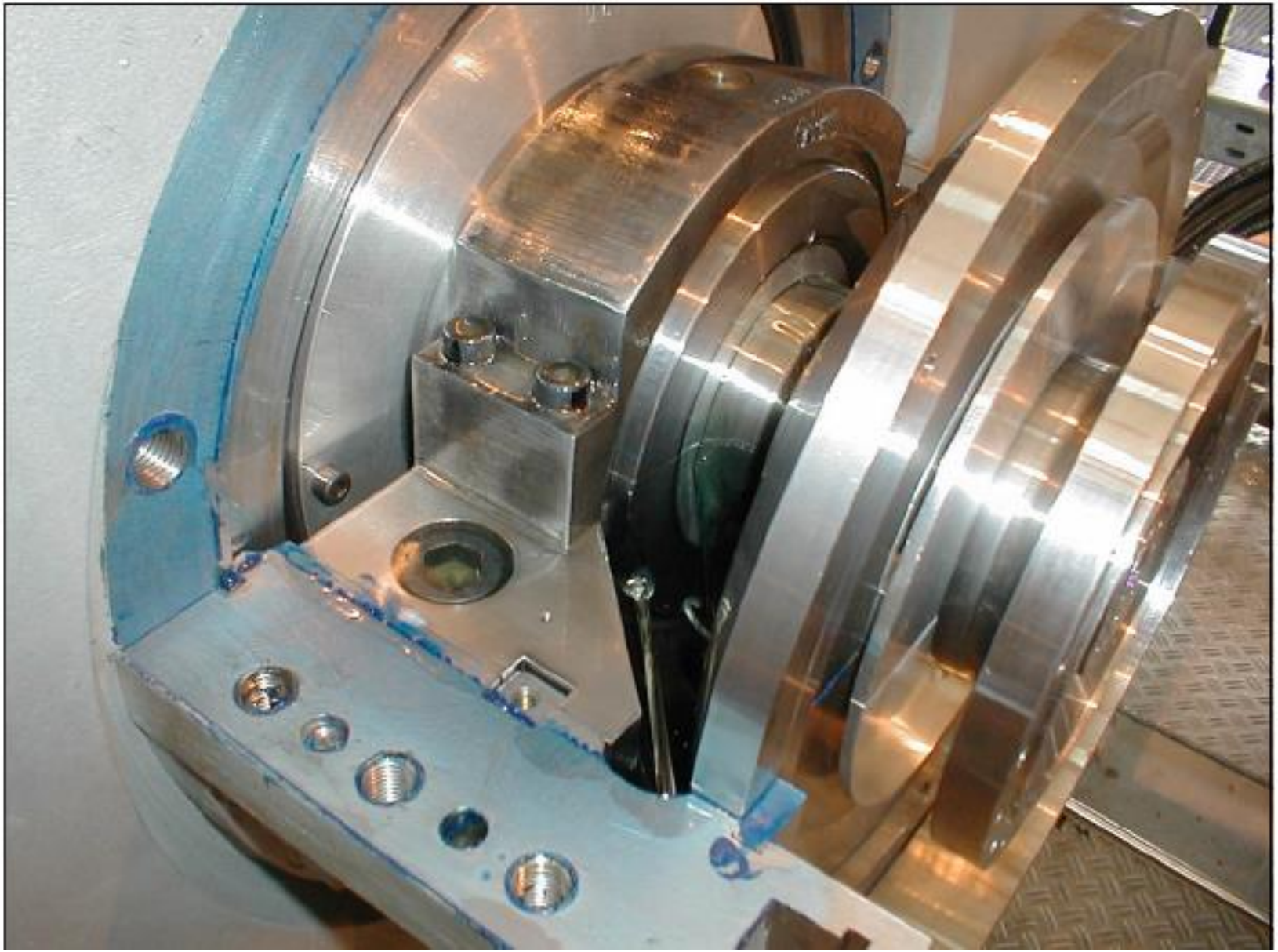
# کمپرسورهاي سانتريفوژ





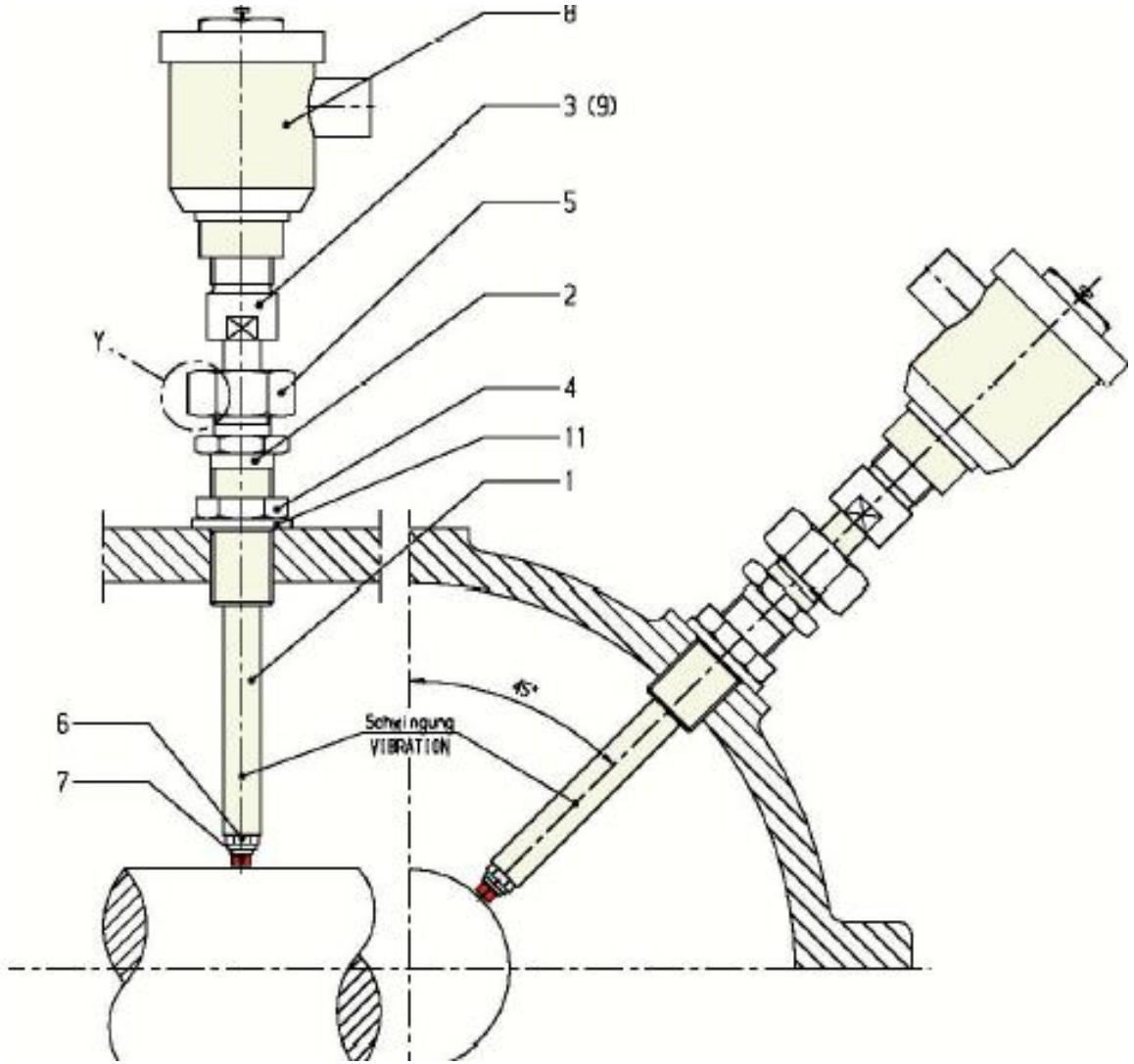



# کمپرسورهاي سانتريفوژ



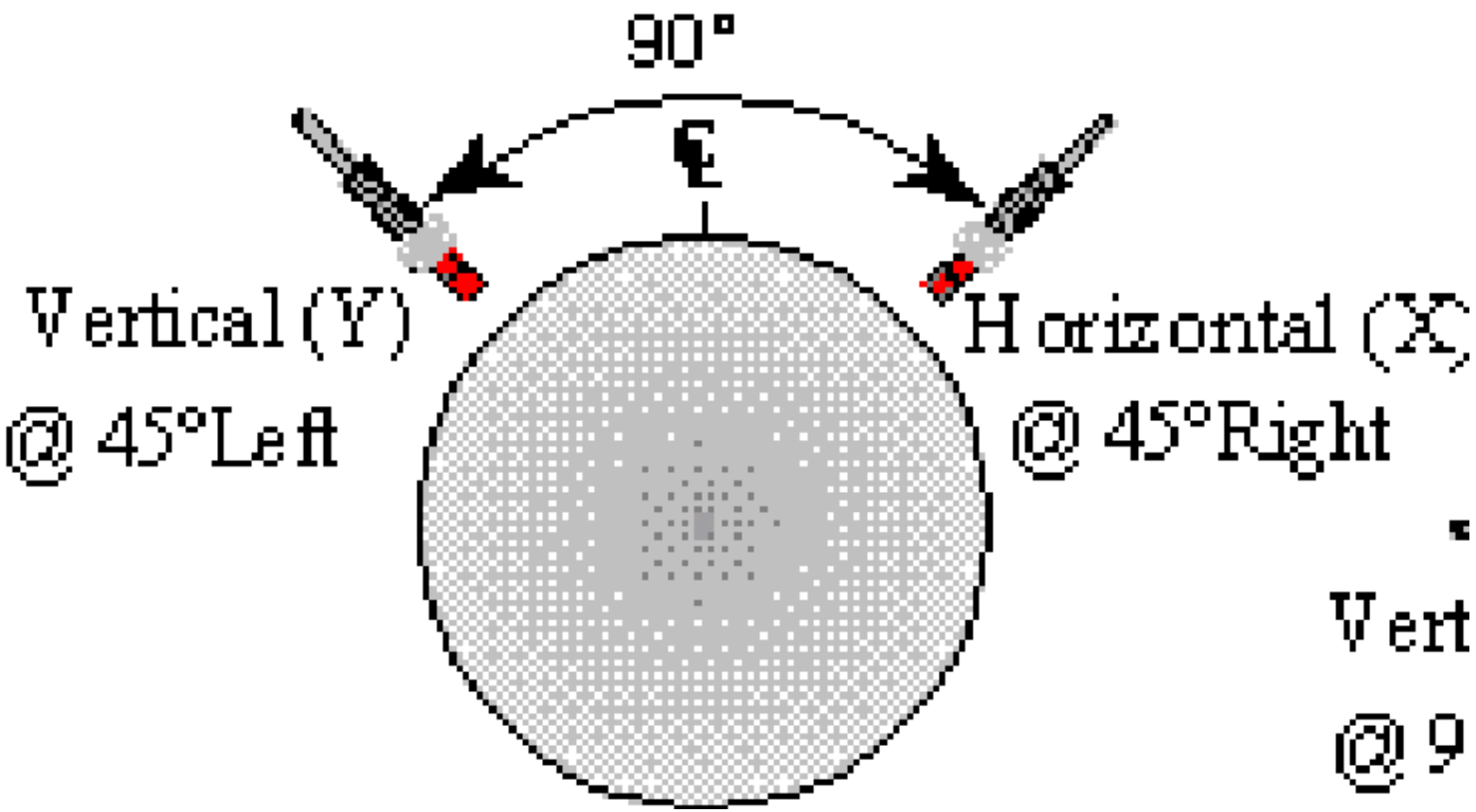
# کمپرسورهاي سانتريفوژ





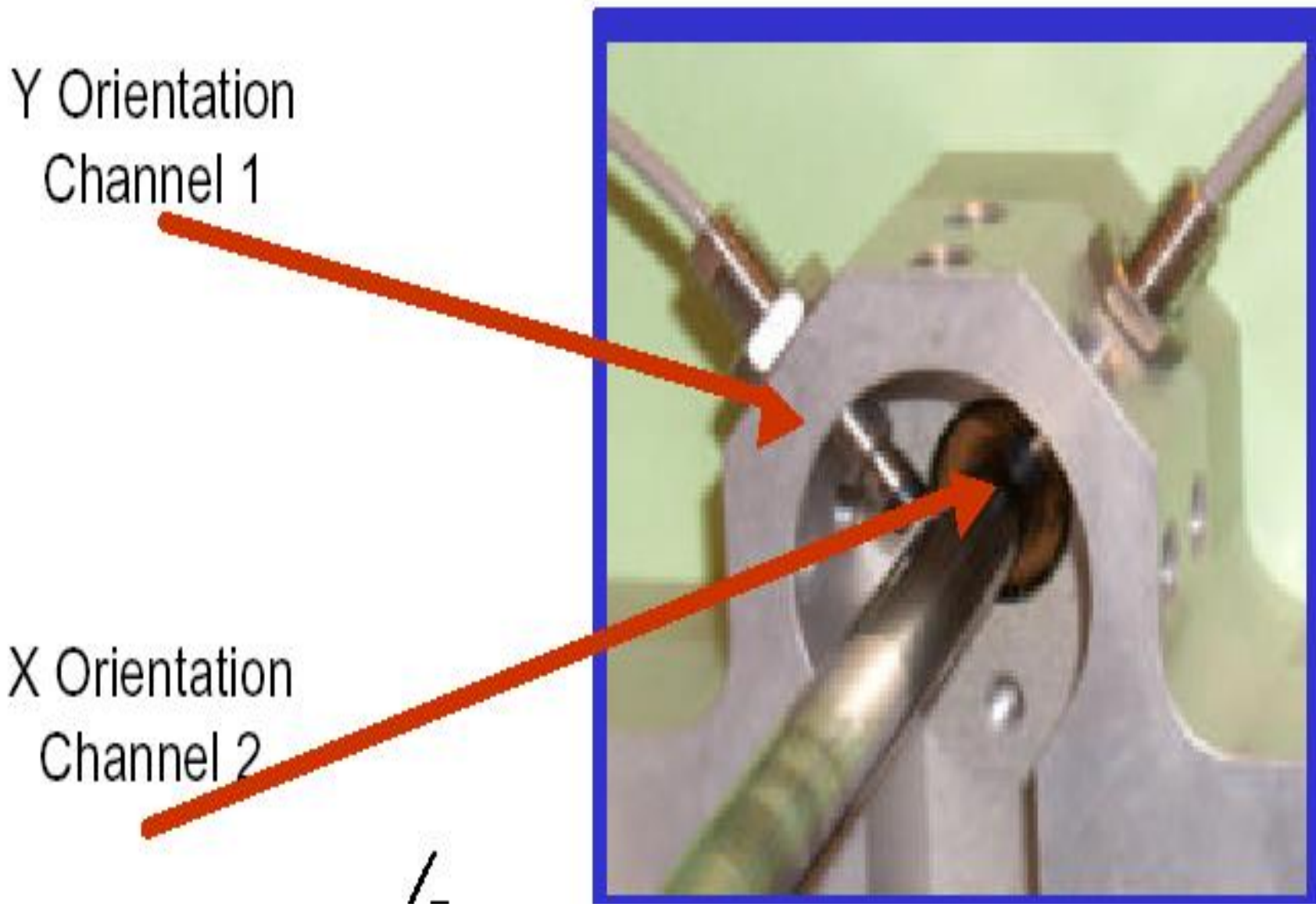
# کمپرسورهاي سانتريفوژ



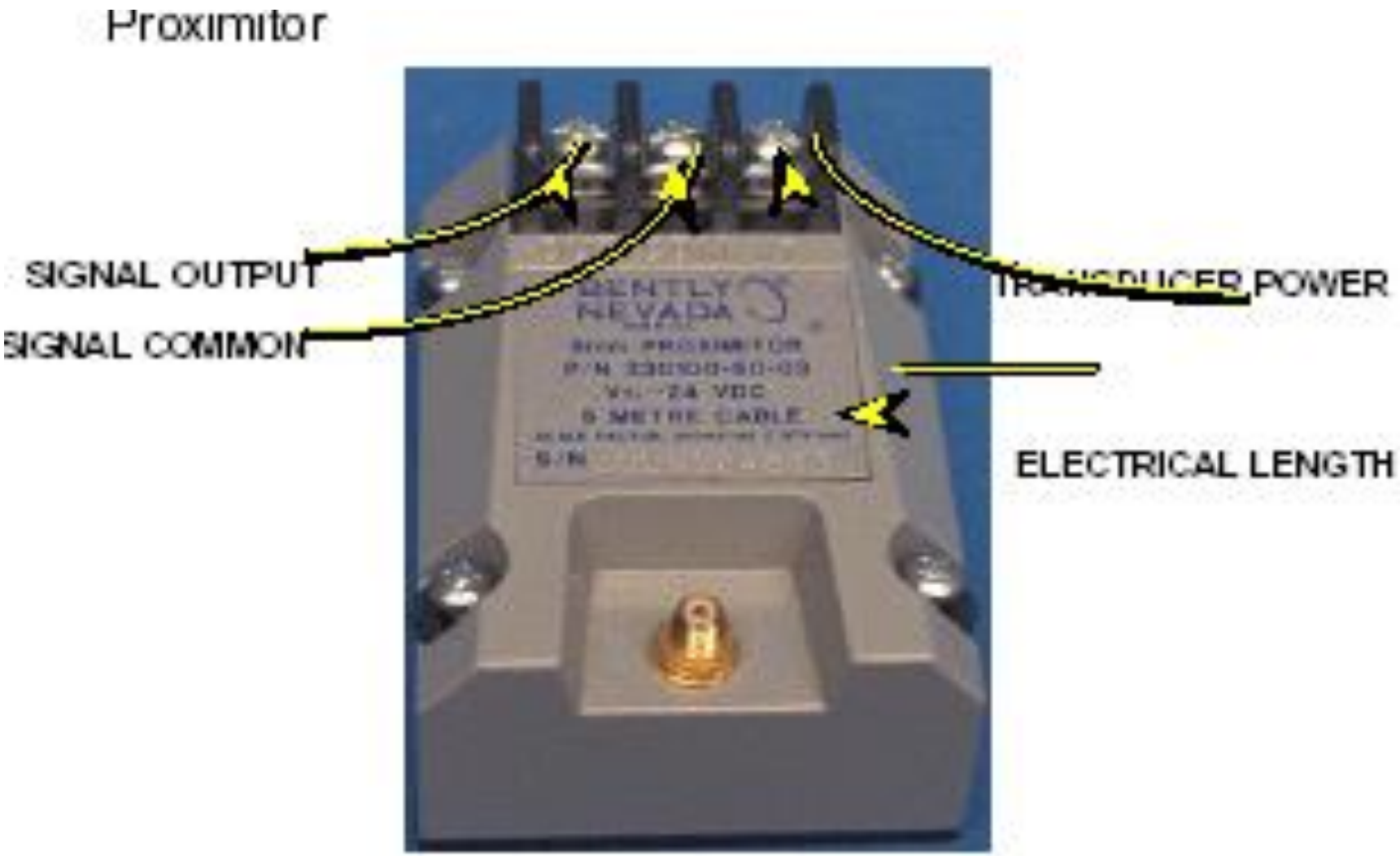


# کمپرسورهاي سانتريفوژ





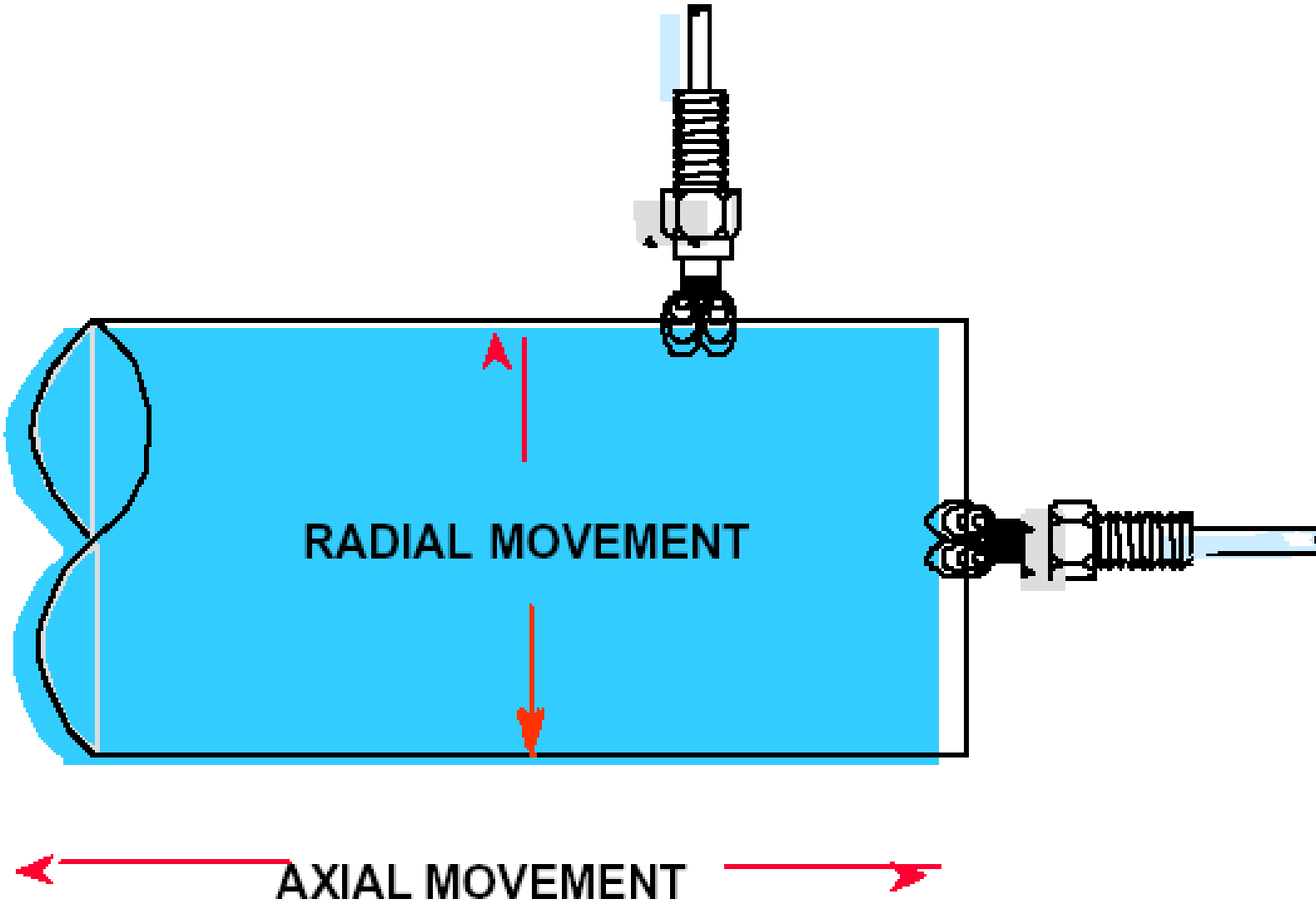
# کمپرسورهاي سانتريفوژ



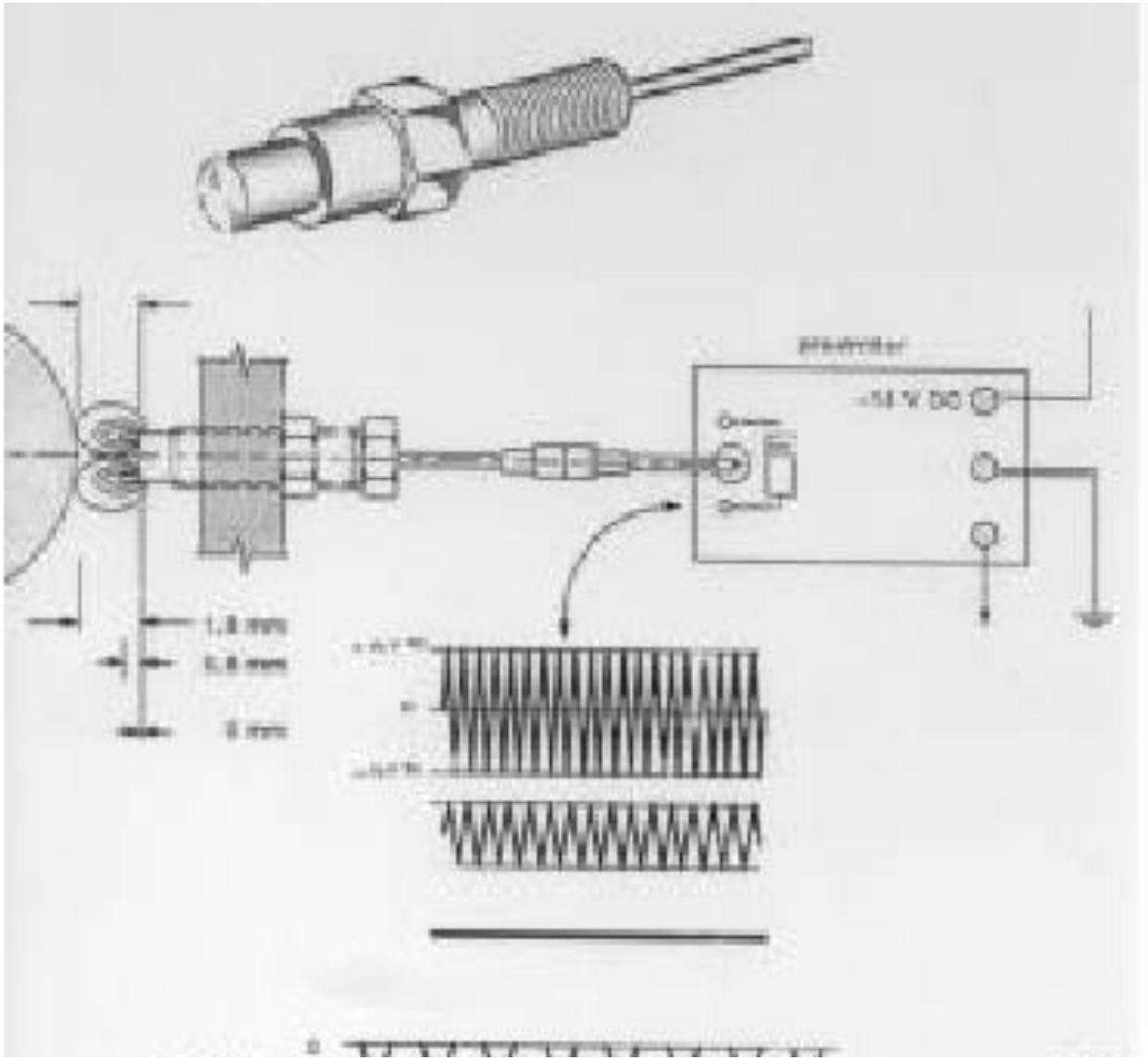
# کمپرسورهاي سانتريفوژ



Radial and axial movement

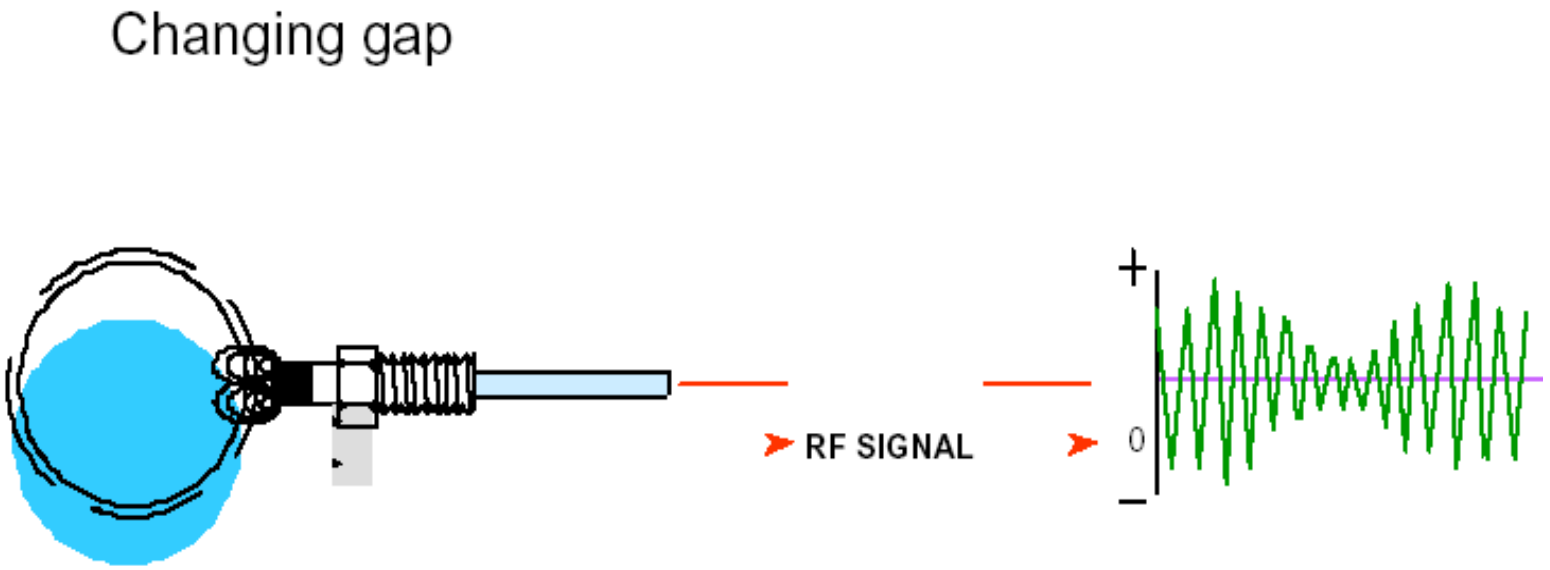


# کمپرسورهاي سانتريفوژ



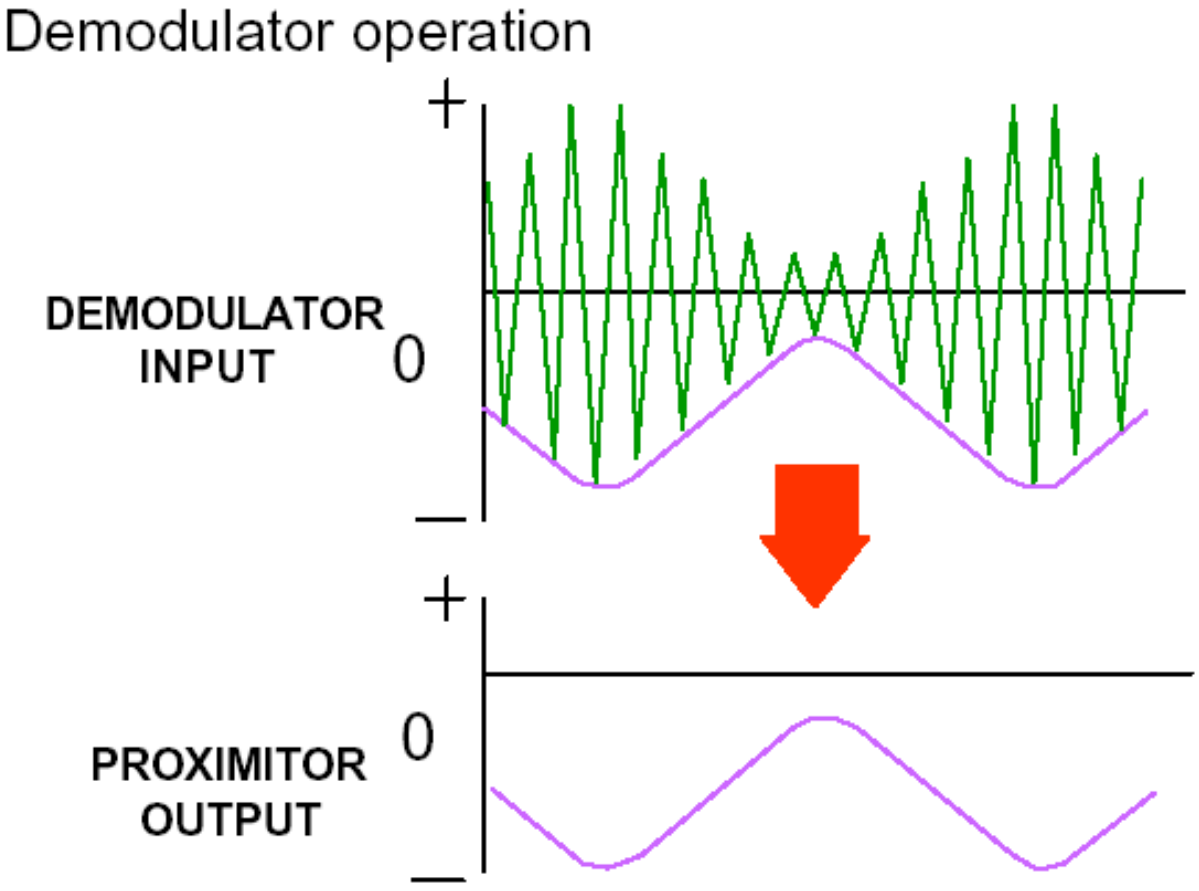
# کمپرسورهاي سانتريفوژ





# کمپرسورهاي سانتريفوژ

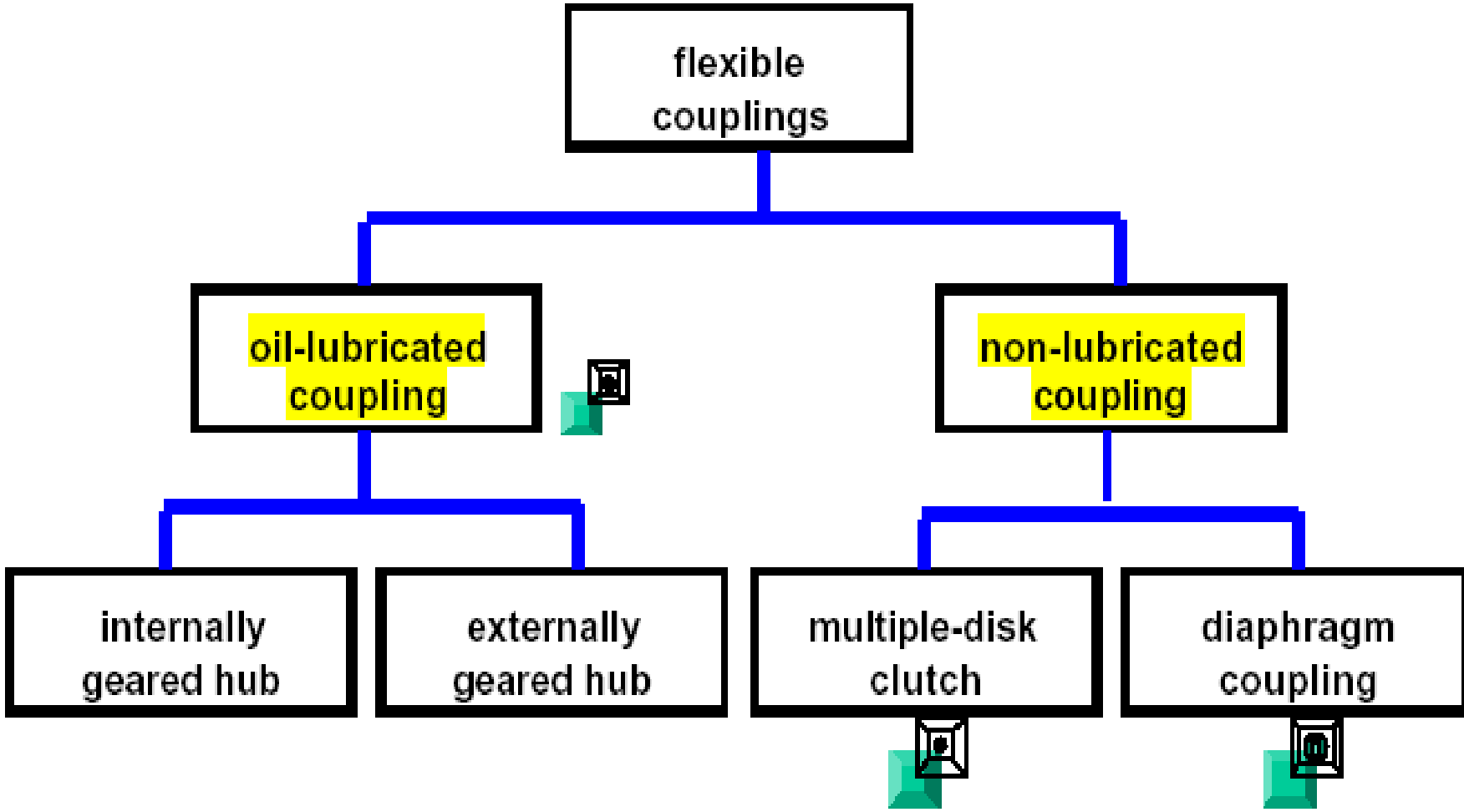




# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## Classification of flexible couplings



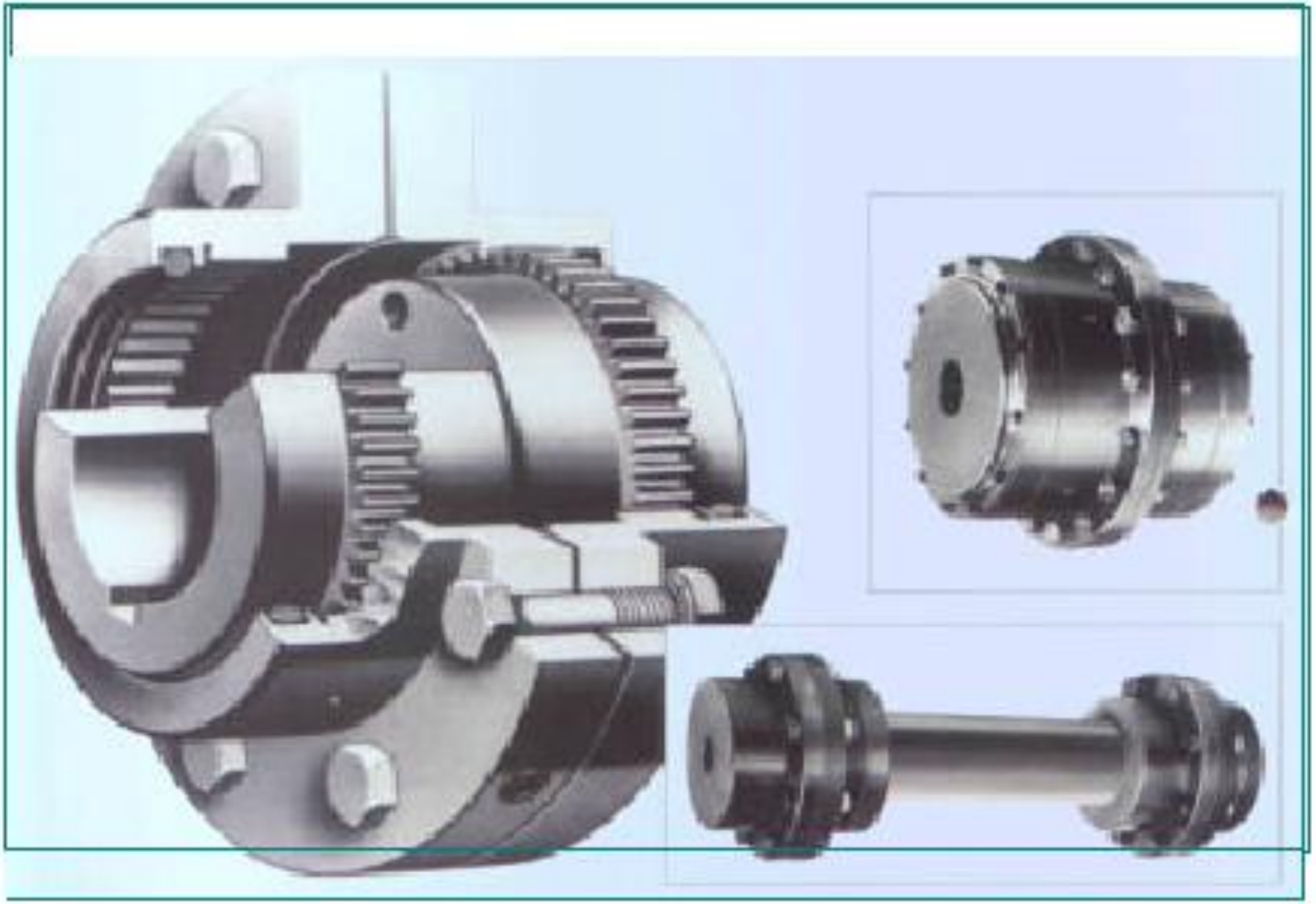
# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## Coupling

A flexible coupling is a machine component of the compressor train that transmits rotating power from one shaft to another while accommodating misalignment between the two shafts.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

Mechanical element couplings



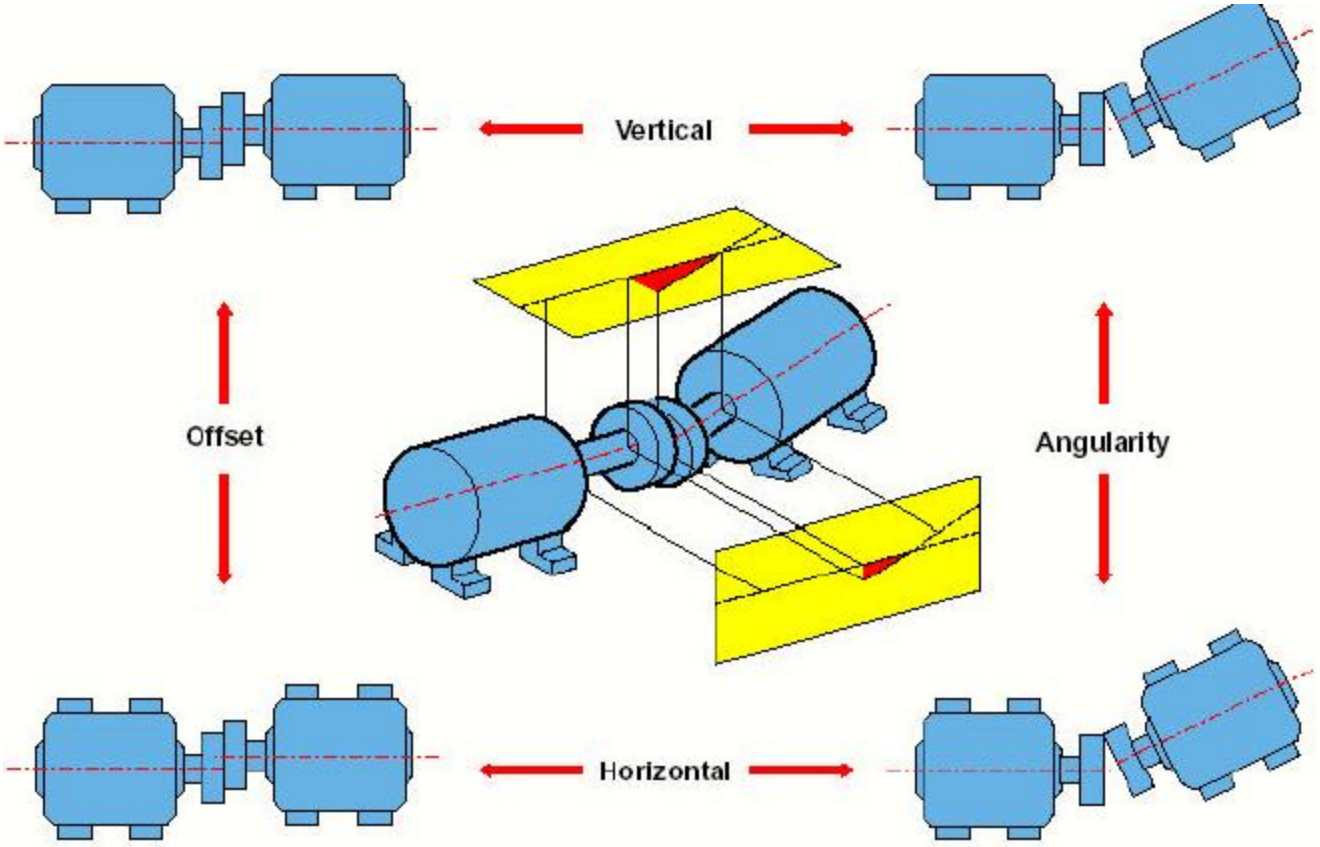
# کمپرسورهاي سانتريفوژ



High-speed diaphragm couplings

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## آب‌بند[1]

از جمله لوازم مهم در هر کمپرسوری قطعات مربوط به آب‌بندی آن است. عدم آب بندی در کمپرسورها علاوه بر احتمال آسیب دیدگی، بازدهی آنها را نیز کاهش می‌دهد. آب‌بندها قطعاتی در کمپرسورها هستند که هم برای جلوگیری از نشت روغن و هم برای جلوگیری از خروج گاز متراکم شده، بین قطعات ثابت و متحرک قرار می گیرند و میزان نشتی را به حداقل می رسانند. این عمل موجب افزایش بازدهی کمپرسور می شود. روشهای مختلفی برای آب بندی وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از:

[1] Seals

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## آب بند فیلم مایع

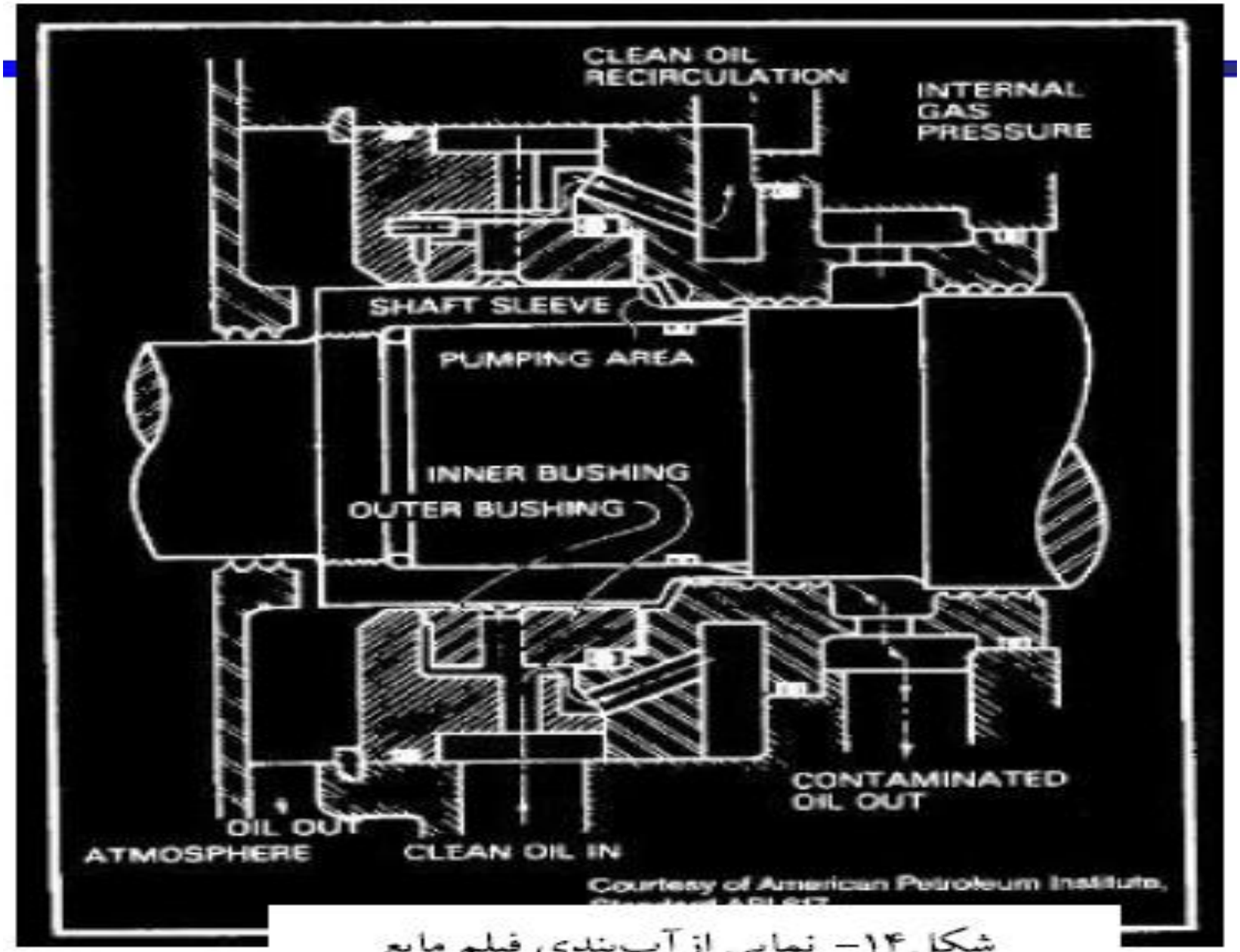
آب‌بندی فیلم مایع (شکل ۱۴) برای شرایط سخت توسعه یافته و شامل دو رینگ داخلی و خارجی است که در فاصلهٔ نزدیکی نسبت به محور قرار می گیرند. یک رینگ به همراه شفت گردان می چرخد و رینگ دیگر به بدنه وصل بوده و ثابت است. در این نوع آب بند یک مایع بین آنها پاشیده می‌شود تا عمل آب بندی انجام شود. اسلیوها از بابیت[2] یا مادهٔ نسوز مشابهی که با خواص گاز درون کمپرسور و مایع آب‌بندی سازگار باشد، پر می‌شوند.

مایع آب‌بندی، که معمولاً یک روغن روان‌ساز است، با اختلاف فشار کنترل شده‌ای نسبت به فشار گاز فرایند که حدود ۵ psi بیشتر از آن می‌باشد، وارد شده و مانع عبور مستقیم گاز به خارج محور می گردد. این مایع عمل بسیار مهم روغن کاری اسلیوها را نیز انجام داده و حرارت را از محیط آب‌بندی دفع می کند.

[2] Babbit

# کمپرسورهاي سانتريفوژ






شکل ۱۴– نمایی از آب‌بندی فیلم مایع

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

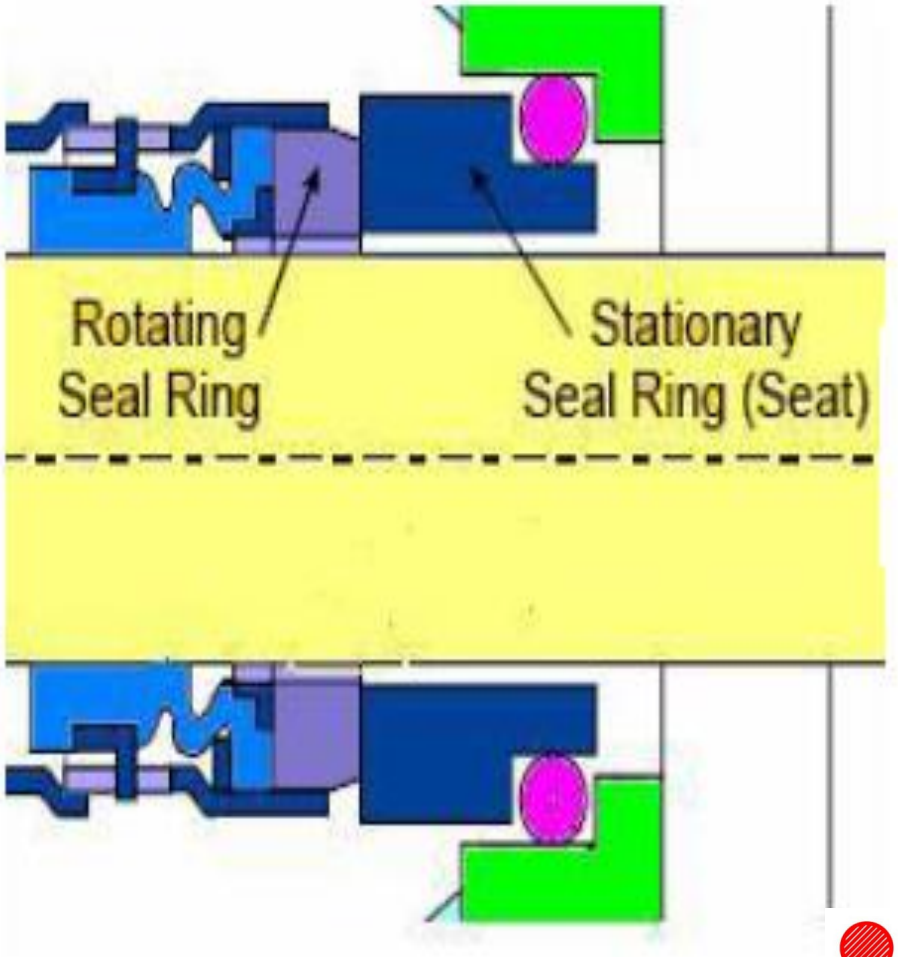


## آب بند مکانیکی

همه آب‌بندهای مکانیکی اساساً از دو رینگ ماشین کاری شده تشکیل شده‌اند. یک رینگ به همراه شفت گردان می‌چرخد و رینگ دیگر به بدنه وصل بوده و ثابت است(شکل ۱۵). گاهی بین دو رینگ ثابت و گردان متحرک یک رینگ کربن قرار می گیرد. با توجه به این که کربن نسبتاً جامد نرمی است سایش بین رینگ ها کمتر اتفاق می افتد(شکل ۱۶). فاصله بین این رینگ‌ها در حد چند میکرون می باشد که جریان کمی از یک سیال به عنوان حد واسط برای روغن کاری و خنک کاری وجود دارد. اگر سیال حد واسط برای آب بندی تحت شرایط عملیاتی مناسب وجود نداشته باشد رینگ‌ها به هم برخورد کرده، فرسودگی رینگها و در پی آن از بین رفتن آب بندی اتفاق می افتد. سیال مزبور بایستی تمیز و به قدر لازم سرد باشد. در صورتی که این سیال کثیف باشد ممکن است منجر به از بین رفتن آب بندی و در نتیجه نشتی شود. تشخیص نشتی به علت مقدار کم آن مشکل است اما وجود خطوط تخلیه میعانات، هواگیری و حسگرهای گاز به تشخیص این نشتی کمک می کنند.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



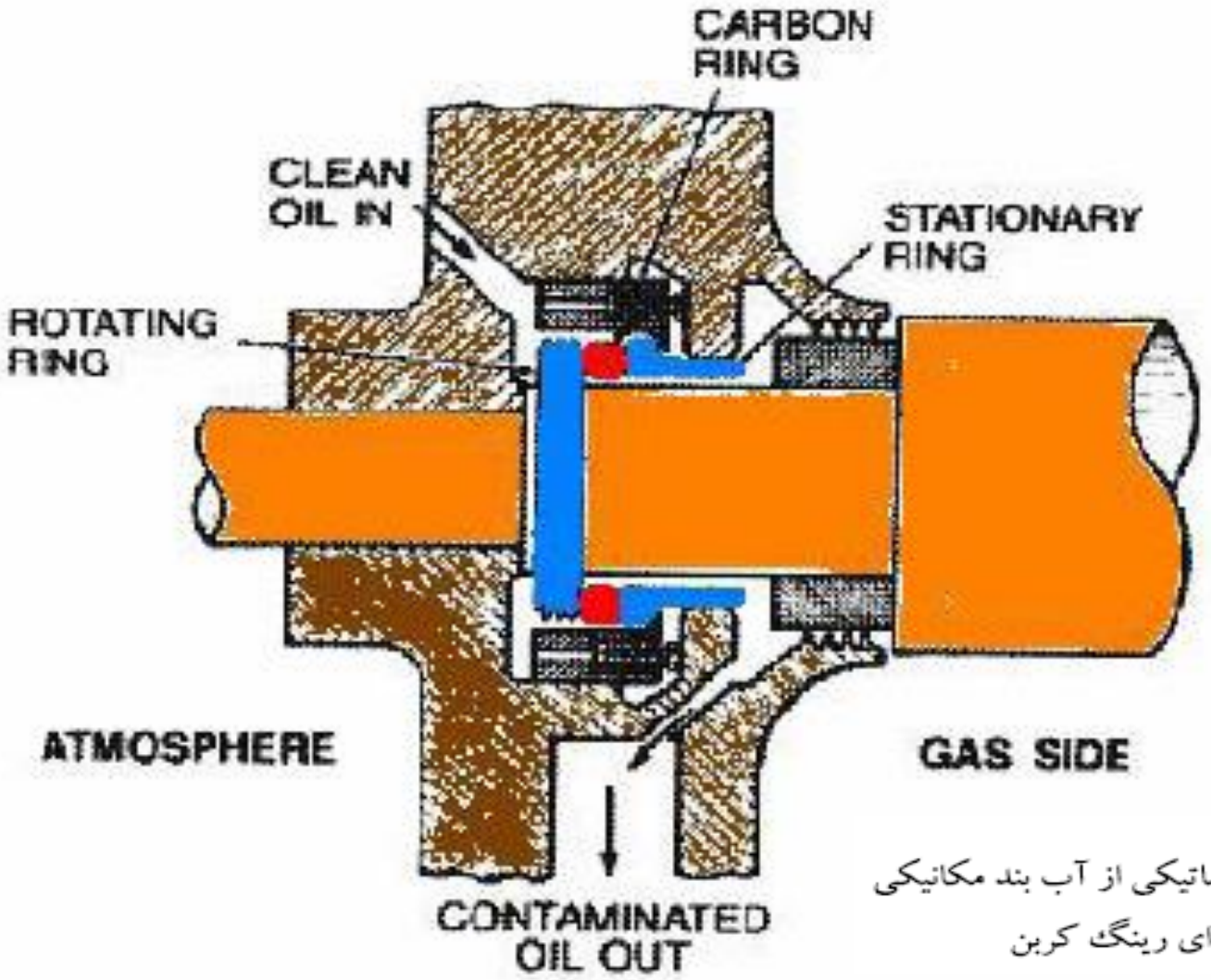



شکل ۱۵- شماتیکی از آب بند مکانیکی و اجزای آن

هر انچه يك مهندس شيمي نياز دارد
كانال تلگرام:
@ Chem_Eng_World

# کمپرسورهاي سانتريفوژ






شکل ۱۶– شماتیکی از آب بند مکانیکی
دارای رینگ کربن

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



ساده ترین نوع آب بندهای مکانیکی، آب بندهای یک مرحله ای هستند. در صورتی که به دلیل ایمنی بیشتر آب بندی مطمئن‌تری مورد نیاز باشد از آب بندهای دو مرحله ای استفاده می شود. در این نوع آب بندها دو آب بند در کنار هم و با هم عمل آب بندی را انجام می دهند.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## آببندی گاز خشک ( Dry Gas Seal)

این نوع آب‌بندی همان آب‌بندی مکانیکی است که به جای روغن در آن از یک گاز بی‌اثر، به منظور جلوگیری از نشت گاز فرایند استفاده می‌شود. این گاز بایستی خشک، تمیز و فشرده باشد. به طور معمول برای این کار از نیتروژن استفاده می‌شود، ولی در صورتی که نیتروژن به هر دلیلی قابل استفاده نباشد، به جای آن می‌توان از هیدروژن خشک و تمیز استفاده کرد. در این روش معمولاً میزان اتلاف گاز بی‌اثری که برای آب‌بندی استفاده می‌شود به جز در شرایطی که کمپرسور دچار مشکل خاصی شود بسیار کم می‌باشد. در این شرایط تا زمان توقف کمپرسور و رفع مشکل مقدار زیادی از این گاز ممکن است به محیط نشت پیدا کند.

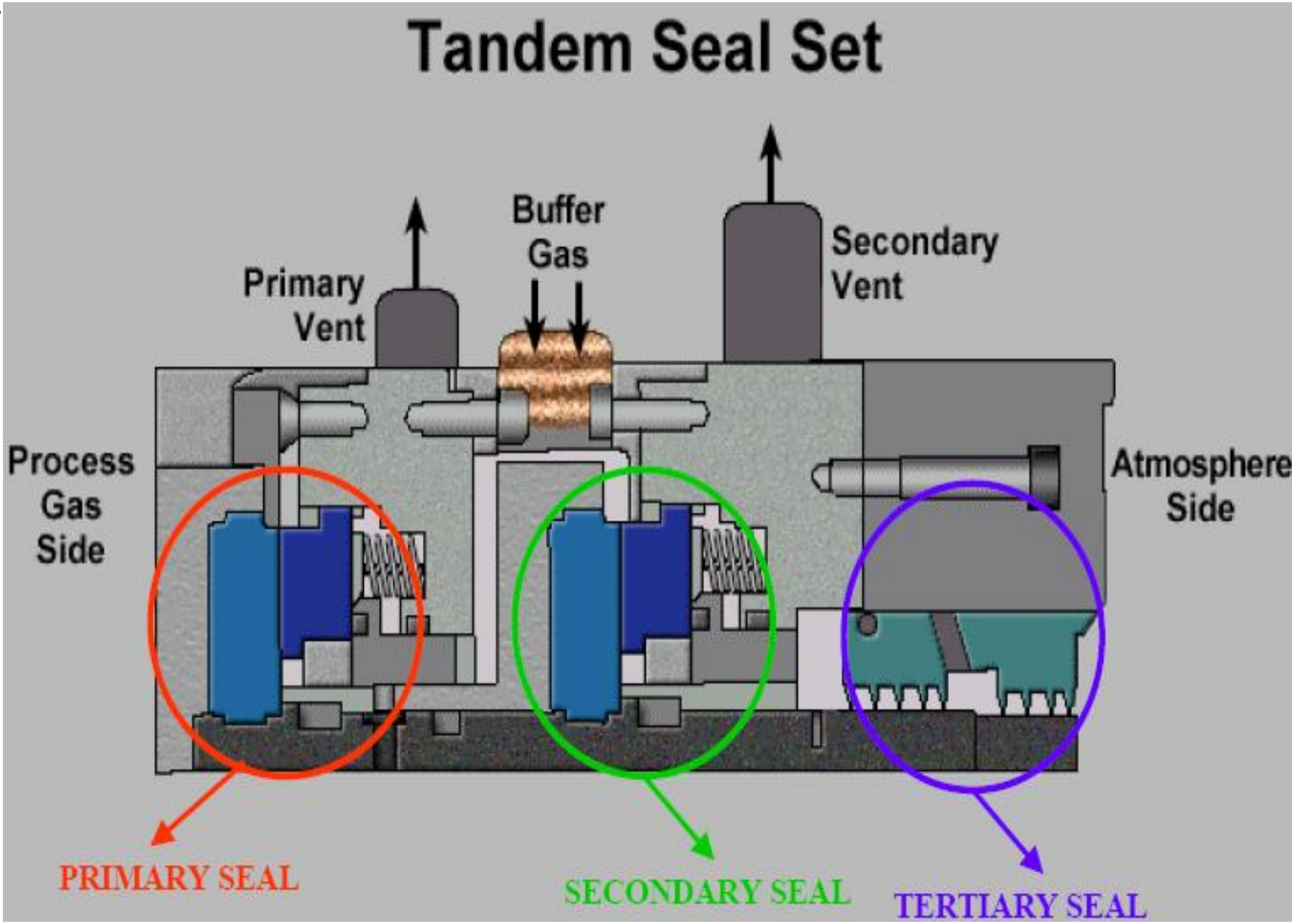
# کمپرسورهاي سانتريفوژ



اولین خطری که در این نوع آب‌بندی مورد بررسی قرار می‌گیرد، احتمال نشت گاز فرایند (مانند هیدروکربن) است. البته با وجود سیستم‌های هشداردهنده این مشکل قابل حل بوده و به محض نشت گاز می‌توان مشکل را رفع نمود. خطر مهمتری که در این باره وجود دارد، شکسته شدن اجزای آب‌بند بوده که ممکن است در اثر تغییرات حرارتی و یا در اثر ضربه رخ دهد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## آب بند لابیرنت[1]

آب بندهای لابیرنت آب بندهایی از نوع غیر تماسی برای شفتها می باشند. این آب بندها از یک اسلیو دوار درون یک اسلیو تشکیل شده‌اند. یک فاصله ناچیز در جهت شعاعی بین این دو بخش وجود دارد، در این فاصله یک سری از شیارها وجود دارند که بر اساس ایجاد افت فشار زیاد در مسیر جریان گاز از نشت آن جلوگیری می کنند. دقت آب‌بندی به فاصله دندانه‌ها و تعداد آنها بستگی دارد. چون این نوع آب بند از نوع غیر تماسی است نیازی به روغنکاری نداشته و گرمای ناچیزی تولید می کند.

[1] Labyrinth

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

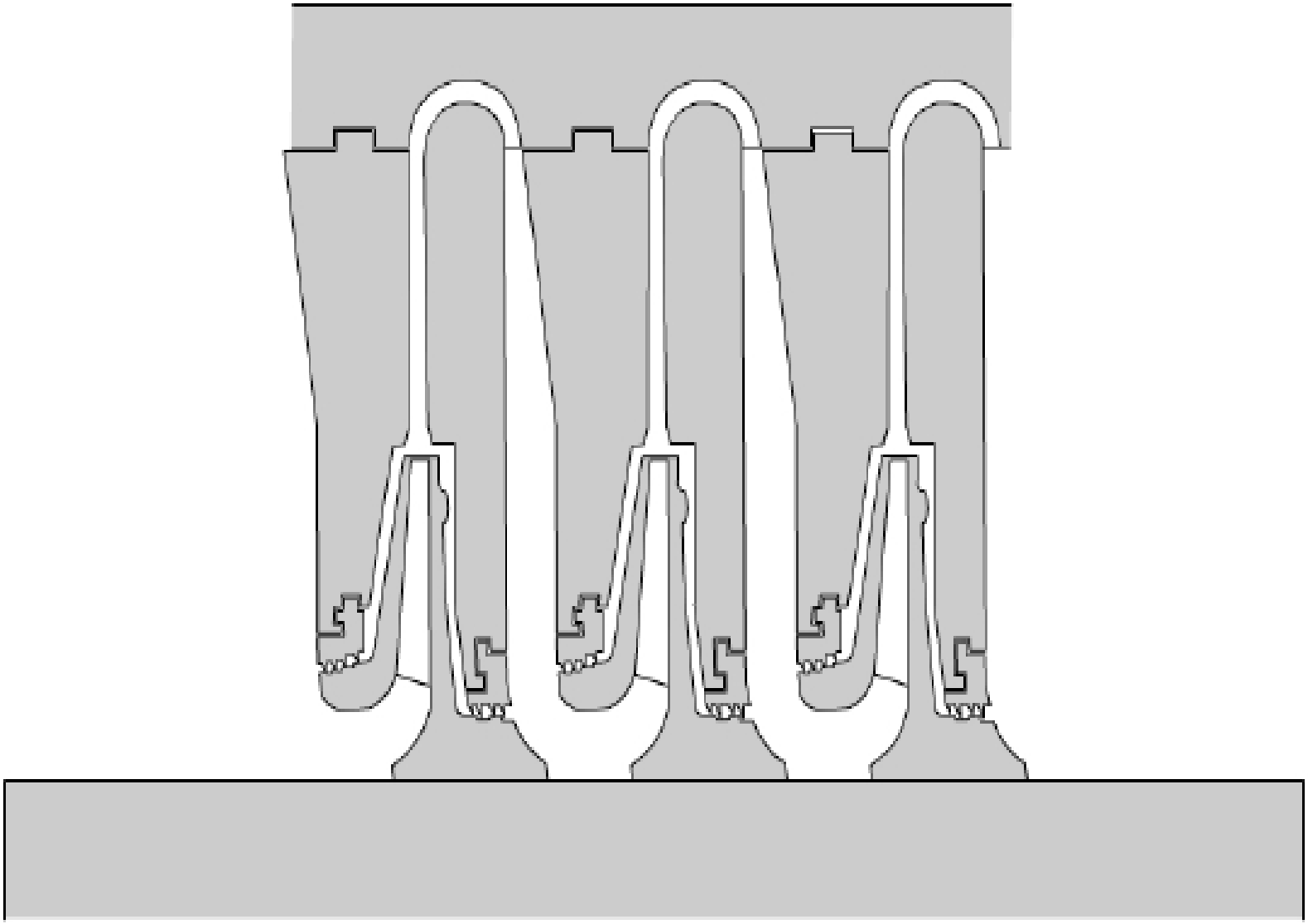


لابیرنت‌ها از آلیاژهای نرم مثل سرب، بابیت، و فلوروکربن انتخاب و ساخته می‌شوند. در انتخاب لابیرنت‌ها نهایت دقت لازم است تا جنس آنها به گونه‌ای باشد که ضمن دارابودن خواص نرم‌تر از جنس شفت جهت جلوگیری از سائیدگی آن، در مقابل خوردگی و تغییر شکل مقاوم باشند.

در کمپرسورهای سانتریفوژ شفت از درون دیافراگم‌ها عبور می کند و هیچ تماسی با هم ندارند. زمانیکه گاز از طرف ورودی به طرف خروجی حرکت می کند فشارش بالا می‌رود و این گاز می‌تواند از فاصله بین محور و دیافراگم نشت کند و وارد مرحله بعدی شود. برای جلوگیری از این عمل از آب‌بندهائی استفاده می‌شود که معمولترین آنها لبیرنت می‌باشد.

# بهره برداري از كمپرسورها





شکل ۱۷– نمایی از آب‌بندی توسط آب‌بند لابیرنت

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



توجه :

در قسمتی که شفت وارد محفظه می‌شود به هیچ وجه حتی به مقدار کم نباید گاز از داخل محفظه به بیرون نشت پیدا کند. به این منظور در این قسمت بسته به مورد از آب‌بندهای مکانیکی، گازی یا آب‌بندی با فیلم مایع استفاده می‌شود.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## دِرام تنظیم کننده[1]

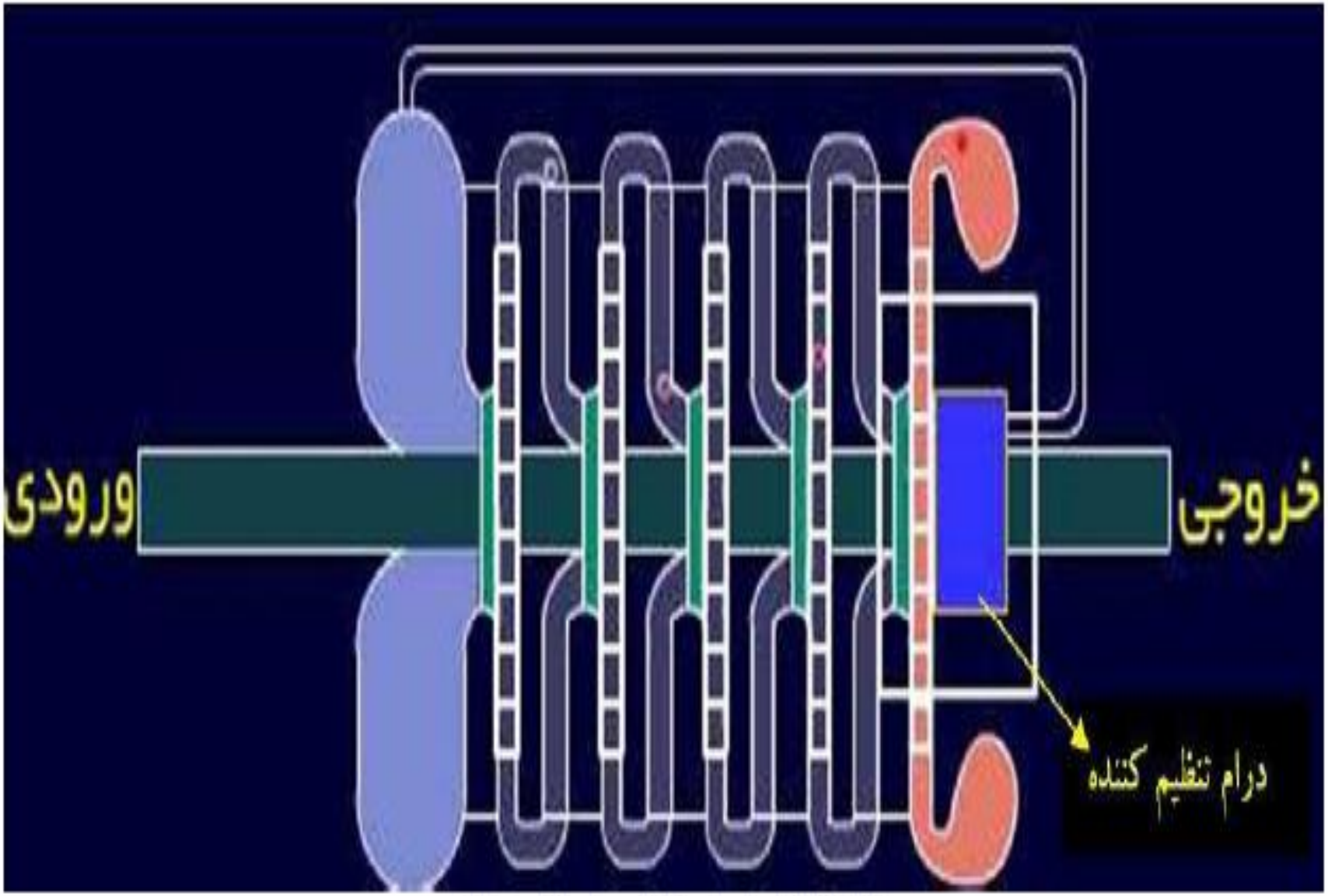
## Balancing Disk Or Drum

در کمپرسورهای سانتریفوژ چون فشار گاز در قسمت خروجی پروانه همواره بیشتر از فشار سمت مکش آن می باشد، موجب می شود که در روتور یک نیروی محوری به طرف ورودی کمپرسور ایجاد شود. در کمپرسورهای کوچک کم فشار برای جلوگیری از حرکت محوری شفت در اثر این نیرو فقط از Thrust Bearing استفاده می کنند، ولی در جاهائی که کمپرسورهای با فشار زیاد وجود دارند از Balancing Drum که بعد از آخرین پروانه روی شفت نصب می شود برای متعادل کردن شفت استفاده می کنند.

[1] Balancing Drum

# ū16f'5£ 5 *9f1£ fK13






شکل ۲۶- نمای شماتیک درام تنظیم کننده

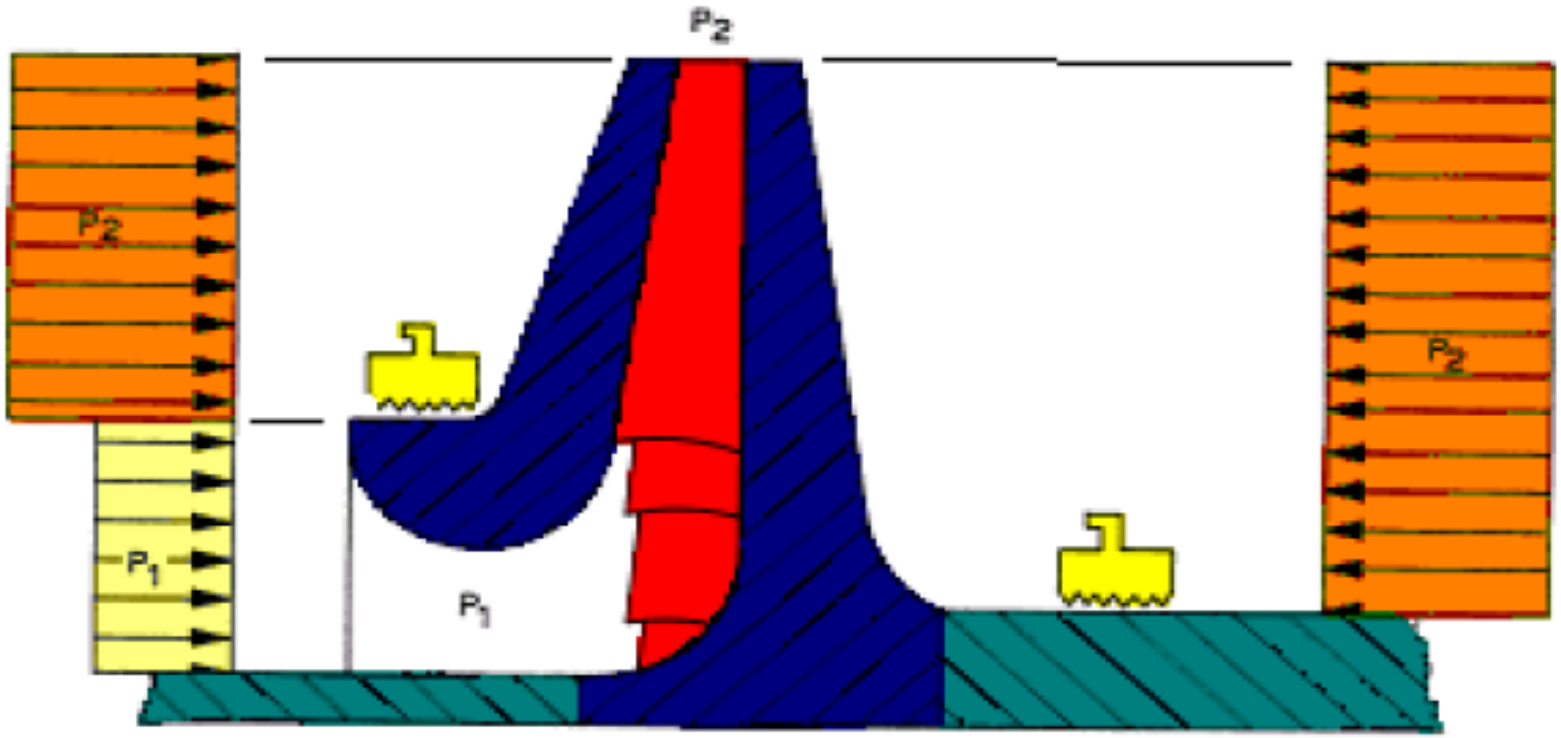
# کمپرسورهاي سانتريفوژ



در حالی که سمت داخلی این درام در معرض فشار خروجی آخرین پروانه قرار دارد فشار وارد بر سمت بیرونی آن از طریق لوله ای با فشار ورودی اولین پروانه مساوی می شود. این لوله بایستی همیشه باز باشد؛ چون در غیر این صورت فشار بیش از حد به Thrust Bearing وارد خواهد شد و احتمال آسیب دیدگی آن وجود دارد. چنانچه این درام به طور صحیح انتخاب شده باشد، اختلاف فشار طرفین آن دقیقاً برابر نیروی محوری به وجود آمده در روتور خواهد بود. میزان تأمین فشار جبرانی برای حفظ تعادل روتور توسط درام تنظیم کننده تابعی از سطح آن می‌باشد. به‌طور معمول ۷۵ درصد ضربه روتور توسط این درام برطرف می‌شود.

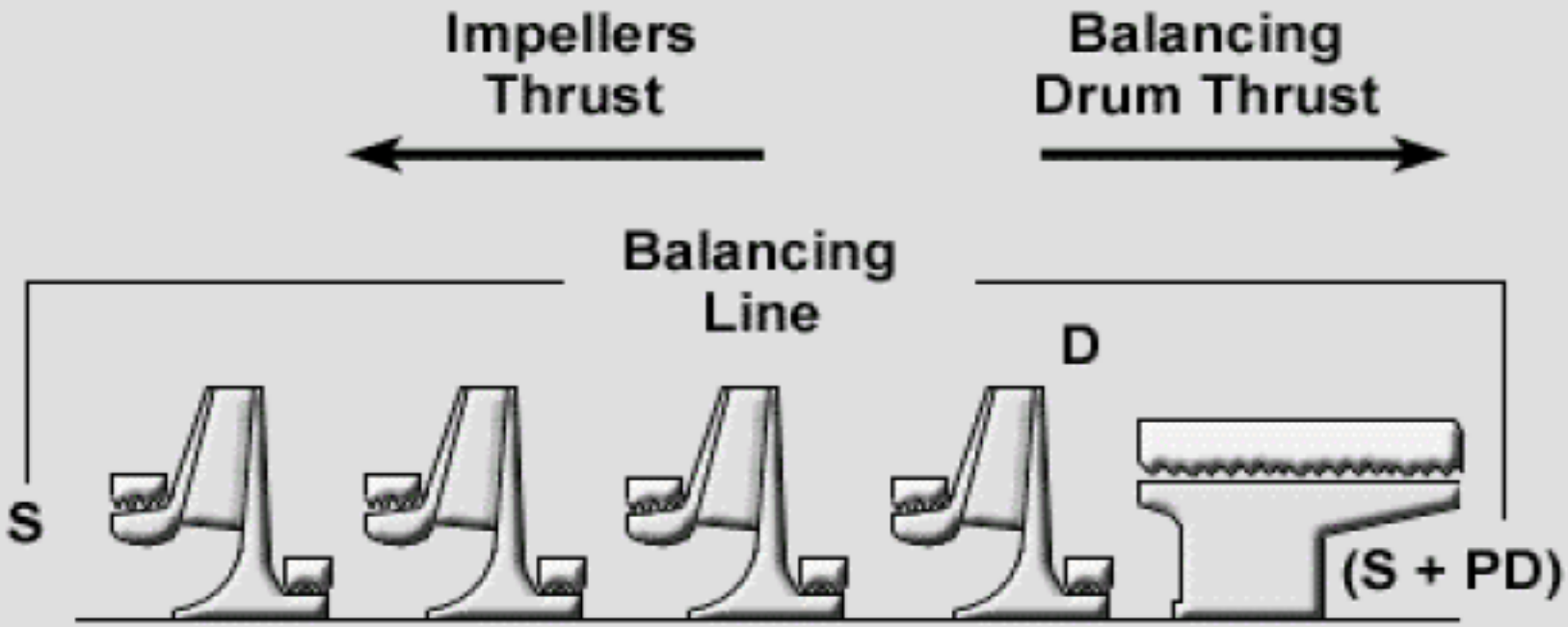
# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## AXIAL LOAD



# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## Axial Load - Balance Drum



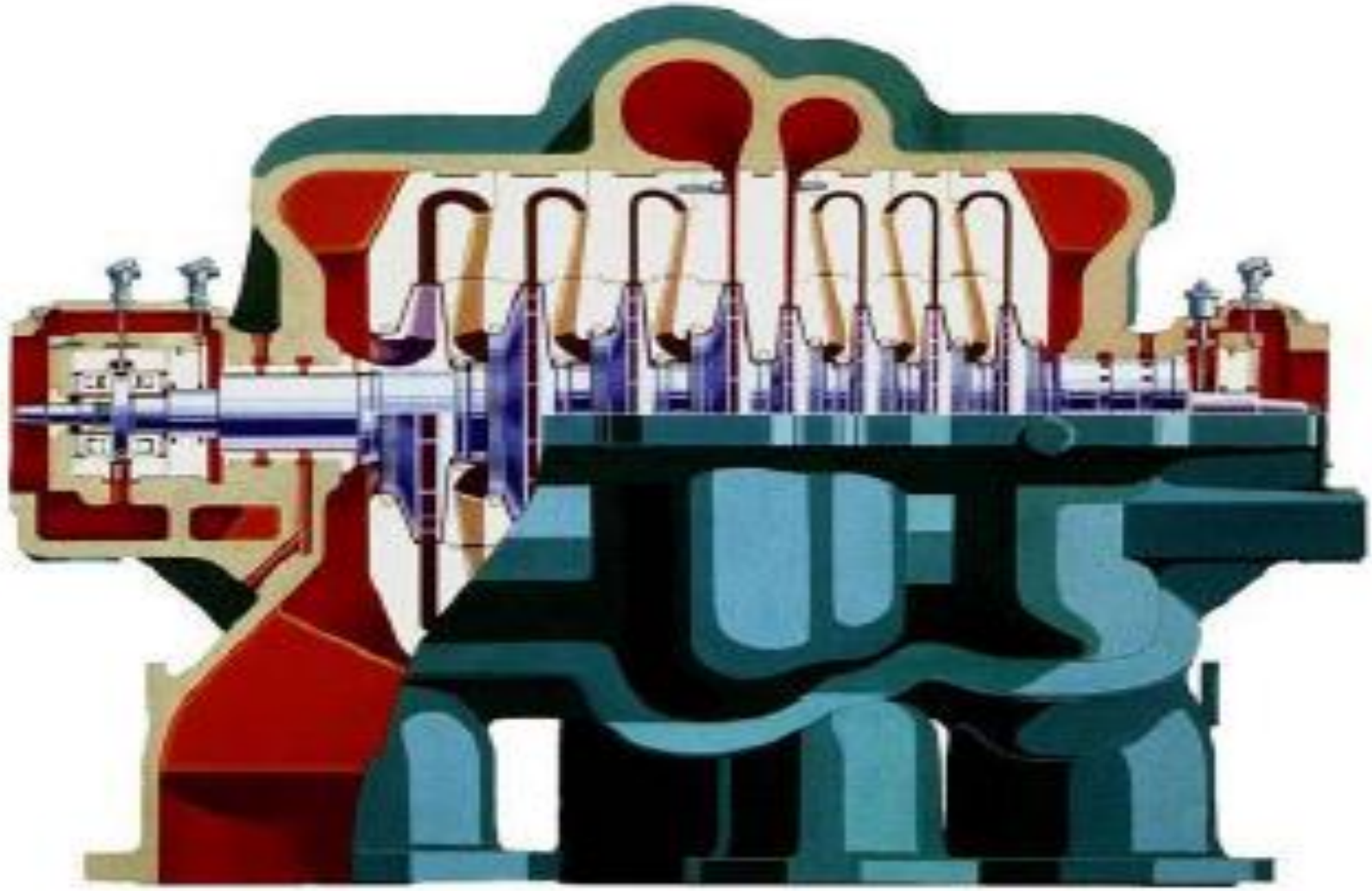

S = Suction Pressure
D = Discharge Pressure
PD = Pressure Drop on Balancing Line

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

در فشارهای بالا، کم کردن یا جلوگیری از ضربه‌های وارد بر روتور بسیار مشکل است. سازنده می‌تواند ضربه‌های روتور را به وسیلهٔ آرایش خاصی برای نازل‌ها که در شکل ۲۷ می بینید از بین ببرد. در این حالت گاز فرایندی از نازل ورودی در یک کمپرسور وارد شده، پس از عبور از مراحل مختلف و فشرده‌شدن، از نازلی در وسط بدنه کمپرسور خارج می‌شود، سپس این گاز دوباره از انتهای دیگر کمپرسور وارد شده و پس از دوباره فشرده‌شدن از نازلی در مرکز بدنه خارج می‌شود. در این حالت ضربه‌های وارد بر روتور از سمت چپ و راست روتور مساوی و در خلاف جهت همدیگر خواهند بود.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





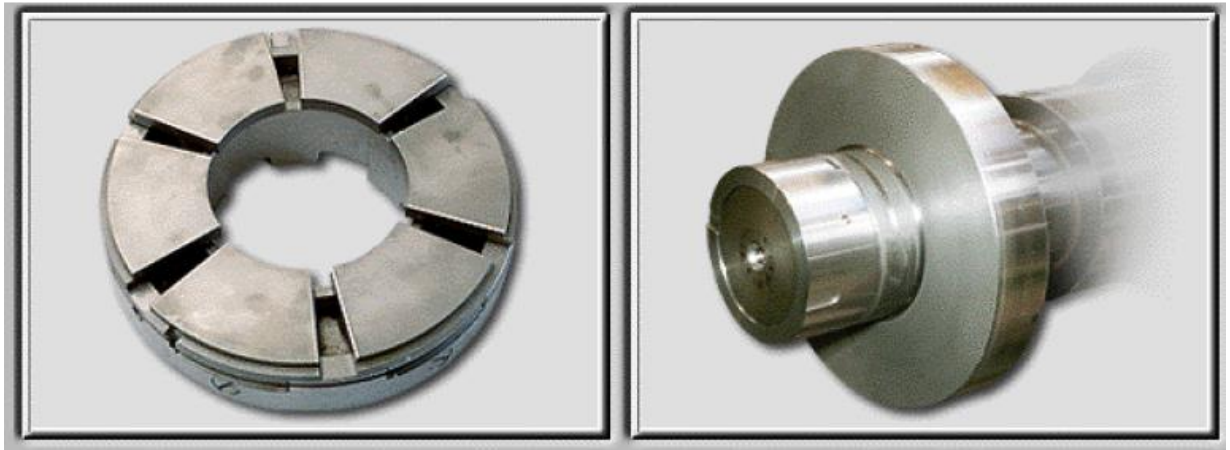
شکل ۲۷– دو نازل خروجی در قسمت وسط کمپرسور

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## ديسک ضربه گير[1]

همانطوريکه عرض گرديد قسمت زيادی از نيروی محوری توسط بالانس ديسک محار ميگردد و تعادی روتور برقرار ميگردد ، برای ايجاد تعادل کامل در روی روتور کمپرسور تراست ديسک و يا ديسک ضربه گير ويا تراست کولار تعبيه ميشود که در بين مجموعه تراست بيرينگها و در راستای آنها قرار ميگيرد.




[1] Thrust Disk

# كمپرسورهاي سانتريفوژ

ū167f'5*£ f1£fк13 6371*57$11f" 5$1

ū167f'5*£ ¥*vx *9f1£fк1т ¥*75$f11 3}1" ~*§£*°1Æ

تحول افزايش فشار در كمپرسورهاي سانتريفيوژ تحول پلي تروپيك مي باشد.

كه در آن $P\nu^n = \text{Constant}$ مي باشد

$$Pw = \frac{Q_m . H_p}{\eta_p}$$

Qm : Mass flow Kg/s دبی جرمی

Hp : Polytropic Head Kj/Kg هد پلی تروپیک

$\eta_p$ : Polytropic Efficiency بازده پلي تروپك كمپرسور

Pw : Power Kw توان مورد نياز كمپرسور

$$Q_m = \frac{\rho . Q_v}{60}$$

Qv : Volume flow $m^3/min$ دبی حجمی

ρ : Gas density $Kg/m^3$ جرم ویژه

منطقه 8 عملیات انتقال گاز

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



$$\rho = \frac{P}{Z.R_o.T}$$

$$R_o = \frac{R}{Mw}$$

P : Pressure KPaA — فشار گاز

Z : Compressibility factor — ضریب تراکم

Ro : Specific Constant Kj/Kg.°K — ثابت ویژ ه گاز

T : Temperature °K — دمای گاز

R : Universal Gas Constant=8.31451 Kj/kmol.°K or J/mol.°K — ثابت عمومی گازها

Mw : Molecular Weight Kg/Kmol or g/mol — جرم مولکولی

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



$$H_p = \frac{R \times T_s \times Z}{M_w} \times \left( \frac{n}{n-1} \right) \times \left[ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Ts : Compressor inlet temperature, °K دماي گاز ورودي به کمپرسور

Td : Compressor discharge temperature, °K دماي گاز خروجي از کمپرسور

Ps : Compressor inlet pressure, kPaA فشار گاز ورودي به کمپرسور

Pd : Compressor discharge pressure , KPaA فشار گاز خروجي از کمپرسور

n : Polytropic compression exponent توان پلي تروپيك

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

$$n = \frac{\left(\frac{\gamma}{\gamma - 1}\right) \times \eta_{poly}}{\left[\left(\frac{\gamma}{\gamma - 1}\right) \times \eta_{poly} - 1\right]} = \frac{\gamma . \eta_{poly}}{\gamma \cdot (\eta_{poly} - 1) + 1}$$

$\gamma$ : Ratio of specific heats=Cp/Cv ضريب گرماي ويژه گاز و يا توان آيزونتروپيك
( Isentropic exponent )

Cp : specific heat at pressure constant KJ/Kg.°K ظرفيت گرماي ويژه در فشار ثابت

Cv : specific heat at volume constant KJ/Kg °.K ظرفيت گرماي ويژه در حجم ثابت

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} \qquad \Rightarrow Cp = \frac{\gamma . R_0}{\gamma - 1} \qquad , Cv = \frac{R_0}{\gamma - 1}$$

$$Cp - Cv = R_0$$

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

**توجه : معمولا بازده پلي تروپيك كمپرسورها دردست بوده و معلوم مي باشد و در ضمن مي توان با استفاده از پارامترهاي ورودي و خروجي كمپرسورنيز آن را محاسبه كرد.**

$$\frac{T_d}{T_s} = \left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow \quad \frac{n-1}{n} = \frac{\log \frac{T_d}{T_s}}{\log \frac{P_d}{p_s}}$$

از طرفي داريم

$$\eta_{poly} = \frac{\frac{\gamma-1}{\gamma}}{\frac{n-1}{n}} \qquad \Rightarrow \eta_{poly} = \frac{\frac{\gamma-1}{\gamma}}{\log \frac{T_d}{T_s} / \log \frac{P_d}{p_s}} = \frac{\log \frac{P_d}{p_s}}{\log \frac{T_d}{T_s}} \times \frac{\gamma-1}{\gamma}$$

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



توجه: با قرار دادن فرمول ها در همديگر فرمولهاي زير نيز بدست مي آيد.

$$Pw = \frac{M_w \times P_s \times Q_v \times H_p}{Z \times R \times T_s \times \eta_{poly}}$$

$$Pw = \frac{Q_v . P_s}{\eta_{poly}} \times \left( \frac{n}{n-1} \right) \times \left[ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$Q_v = \frac{Pw \times Z \times R \times T_s \times \eta_{poly}}{M_w \times P_s \times H_p}$$

تذكر, با توجه به اينكه Qvمعمولا از ورودي اندازه گري ميگردد لذا فشار Ps در فرمول ظاهر شده است.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

- فرمول دانسيته گاز

$$P \cdot V = n \cdot Z \cdot R \cdot T$$

$$P \cdot V = \frac{M}{M_w} \cdot Z \cdot R \cdot T$$

$$P \cdot \frac{V}{M} = \frac{Z \cdot R \cdot T}{M_w}$$

$$p \cdot \nu = \frac{Z \cdot R \cdot T}{M_w} \Rightarrow p \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{Z \cdot R \cdot T}{M_w} \Rightarrow \underline{\underline{\rho = \frac{M_w \times P}{Z \times R \times T}}}$$

$$\underline{p \cdot \nu = Z \cdot R_\circ \cdot T}$$

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

- تبديل فلوي حجمي و يا حجم گاز از شرايط واقعي ( معمولا در ورودي کمپرسور ) به شرايط استاندارد

$$Q_n = k.Q_v \times \frac{p_s}{p_{std}} \times \frac{T_{std}}{T_s} \times \frac{Z_{std}}{Z}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tstd | : | Standard temperature = 15 °C = 288.15 °K | دماي استاندارد |
| Pstd | : | Standard pressure, 1.01325 BarA = 101.325 KPaA | فشار استاندارد |
| Z std | : | Standard Compressibility factor | ضريب تراکم گاز در شرايط استاندارد |
| Qn | : | Standard volume flow MSm$^3$/day | فلوی حجمی استاندارد |
| K | : | | ضريب تبديل واحد |

**توجه : ضريب تراکم گاز در شرايط استاندارد با توجه به نوع گاز و ترکيبات آن متفاوت مي باشد. براي گاز طبيعي حدود Zstd = 0.997 مي باشد**

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

**با استفاده از فرمول های ذکر شده بالا میتوان مقدار حجم گاز عبوري از کمپرسور را بر حسب قدرت مصرفي کمپرسور و هد پلي ترپيك آن بدست آورد که به صورت زير مي باشد:**

$$Q_n = \frac{Pw \times Z_{std} \times R \times T_{std} \times \eta_{poly}}{M_w \times P_{std} \times H_p} \times 3600 \times 24 \times 10^{-6} \qquad MSm^3 / day$$

$$\Rightarrow Q_n = k' \frac{Z_{std} \times Pw \times \eta_{poly}}{M_w \times H_p}$$

براي هر گاز داريم ( k'=2.043 ) $MSm^3/day$

و براي يك گاز معلوم با Mw , Zstd مشخص خواهيم داشت :

$$Q_n = k'' \frac{Pw \times \eta_{poly}}{H_p}$$

**با توجه به اينکه نسبت به نوع گاز و ترکيبات آنها مقادير Mw ، Z ، γ متفاوت است لذا نياز به آناليز گاز عبوري از کمپرسور خواهد بود.**

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## مشخصات نمونه اي از گازي طبيعي که مورد آناليز قرار گرفت ملاحظه مي فرماييد

### AGA8 - 1994 Density

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Date** | : 05-Jan-2000 | **Time** | : 21:33:31 |
| **Prepared By** | : Zare | **Site** | : TABRIZ STATION |
| **Client** | : NIGC | **Tag Number** | : GAS ANALYSIS |
| **Data Reference** | : gas.fcd | | |
| **Description** | : | | |

**Input Data**

**Base Conditions**

| | | |
|---|---|---|
| Temperature | 15 | °C |
| Pressure | 1.01325 | bara |

| Component | Mole % | Mole % Normalised |
|---|---|---|
| Methane | 87.445000 | 87.445000 |
| Ethane | 4.663800 | 4.663800 |
| Propane | 1.590100 | 1.590100 |
| n-Butane | 0.420300 | 0.420300 |
| i-Butane | 0.291300 | 0.291300 |
| n-Pentane | 0.057500 | 0.057500 |
| i-Pentane | 0.080800 | 0.080800 |
| n-Hexane | 0.104400 | 0.104400 |
| Nitrogen | 4.688900 | 4.688900 |
| Carbon Dioxide | 0.657900 | 0.657900 |
| Composition | 100.000000 | 100.000000 |

**Calculated Results**

| | | |
|---|---|---|
| Composition Molecular Weight | 18.338815 | |
| Density | 0.777427 | kg/m³ |
| Compressibility Factor Z | 0.997638 | |

منطقه 8 عملیات انتقال گاز

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

**تغييرات ضريب تراکم و چگالي گاز فوق را بر حسب تغييرات فشار در دماي ثابت ملاحظه فرماييد.**

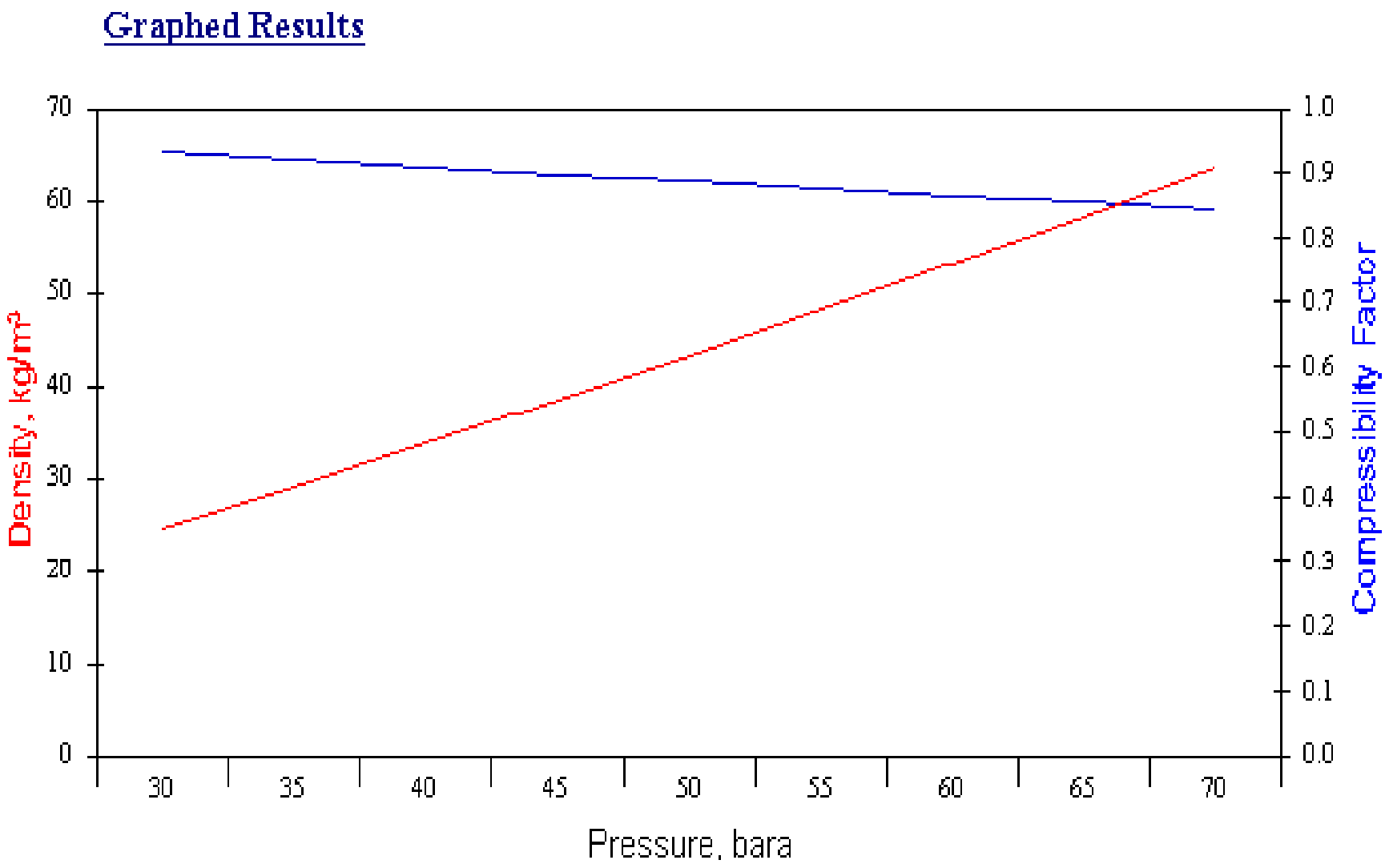
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperature | 15 | °C | | | | | |
| Pressure | 30 | to | 70 | step | 5 | bara | |

**Line Conditions**

| Temperature | Pressure | Density | Compressibility Factor |
|---|---|---|---|
| °C | bara | kg/m³ | Z |
| 15 | 30 | 24.681273 | 0.930400 |
| 15 | 35 | 29.152410 | 0.918987 |
| 15 | 40 | 33.732114 | 0.907679 |
| 15 | 45 | 38.421861 | 0.896500 |
| 15 | 50 | 43.222480 | 0.885475 |
| 15 | 55 | 48.134009 | 0.874635 |
| 15 | 60 | 53.155542 | 0.864010 |
| 15 | 65 | 58.285058 | 0.853635 |
| 15 | 70 | 63.519266 | 0.843546 |

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





# کمپرسورهاي سانتريفوژ

تغييرات ضريب تراکم و چگالي گاز فوق را بر حسب تغييرات دما در فشار ثابت ملاحظه فرماييد.

**Line Conditions**

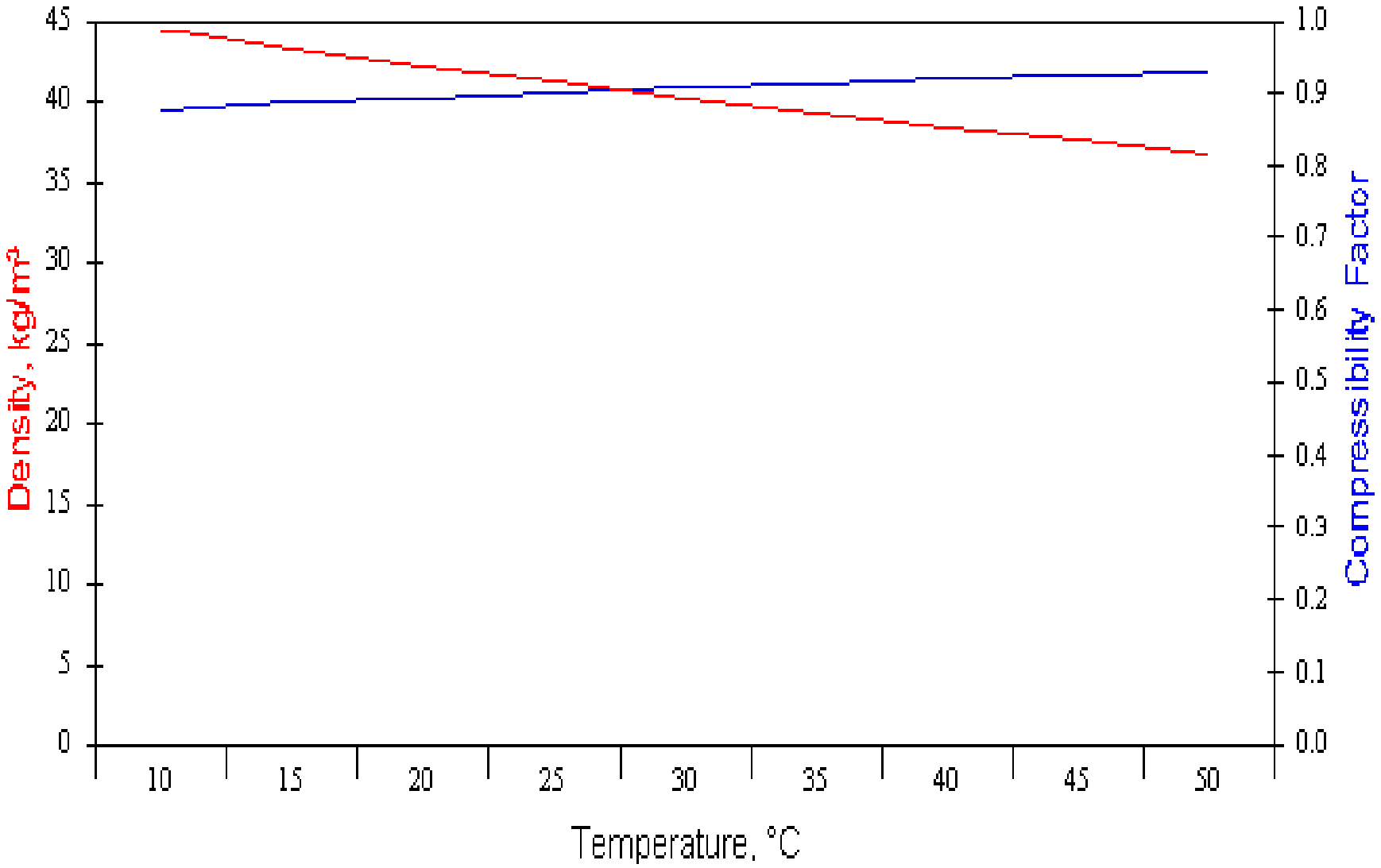
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperature | 10 | | to | 50 | step | 5 °C |
| Pressure | 50 | bara | | | | |

**Line Conditions**

| Temperature | Pressure | Density | Compressibility Factor |
|---|---|---|---|
| °C | bara | kg/m³ | Z |
| 10 | 50 | 44.393841 | 0.877335 |
| 15 | 50 | 43.222480 | 0.885475 |
| 20 | 50 | 42.127961 | 0.892985 |
| 25 | 50 | 41.101778 | 0.899931 |
| 30 | 50 | 40.136740 | 0.906369 |
| 35 | 50 | 39.226716 | 0.912348 |
| 40 | 50 | 38.366435 | 0.917911 |
| 45 | 50 | 37.551337 | 0.923097 |
| 50 | 50 | 36.777447 | 0.927938 |

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





# کمپرسورهاي سانتريفوژ

f1£fк13 ¥} 5f1§7 5 185~*§£*°1-

$$Q_m = C_1.\alpha.\varepsilon.k.d^2.\sqrt{\rho.\Delta p}$$

Ref: AGA3

| | | | |
|---|---|---|---|
| Qm | : | Mass flow rate | فلوي جرمی |
| C1 | : | Coefficient unit convert | ضريب تبديل واحد |
| $\alpha$ | : | Flow coefficient | ضريب تبديل فلو |
| $\varepsilon$ | : | Expandability Factor | ضريب انبساط |
| $\kappa$ | : | Velocity of Approach factor | ضريب سرعت |
| d | : | Throat diameter | قطر گلوگاه |
| $\rho$ | : | Density of Gas | جرم ويژه سيال( قابل تراكم ) |
| $\Delta p$ | : | Differential Pressure | اختلاف فشار در طرفين گلوگاه |

منطقه 8 عملیات انتقال گاز

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

با توجه به اينكه داريم

$$\rho = \frac{M_w.\mathrm{P}}{Z.R.T}$$

در نتيجه خواهيم داشت

$$Q_m = C_2.\alpha.\varepsilon.k.d^2.\sqrt{\frac{M_w.\mathrm{P}.\Delta p}{Z.R.T}}$$

كه اگر تبديل به فلوي حجمي واقعي شود خواهيم داشت :

$$Q_v = C_3.\alpha.\varepsilon.k.d^2.\sqrt{\frac{Z.T.\Delta p}{\mathrm{P}.M_w}}$$

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



که اگر تبديل به فلوي حجمي استاندارد شود خواهيم داشت :

$$Q_n = C_4.\alpha.\varepsilon.k.d^2.\sqrt{\frac{P.\Delta p}{Z.T.M_w}}$$

يا

$$Q_n = C_5.\alpha.\varepsilon.k.d^2.\sqrt{\frac{P.\Delta p}{Z.T.r}}$$

r : Relative density دانسيتيه گاز نسبت به هواي خشك

$$r = \frac{M_w}{M_{air}} \times \frac{Z_{air}}{Z_{std}}$$

**Mair** =28.9626 Kg/Kmol جرم مولكولي هواي خشك

Zair =0.99958 @ 15 °C & 1.01325 Bar

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



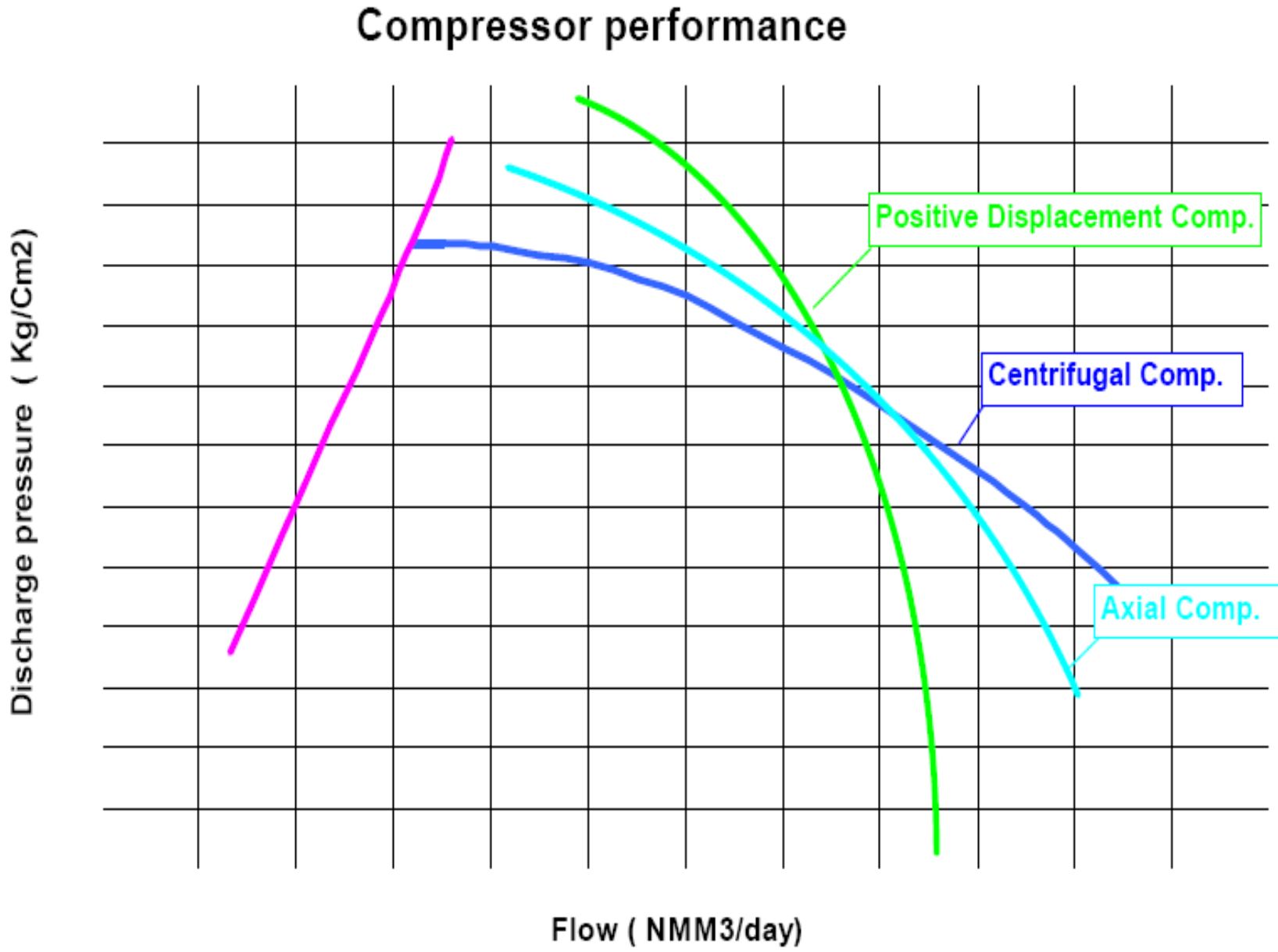
## ƒ1£ƒк13 81$#1 x *9ƒ}$115

## ( Compressor Performance Curve )

هرکمپرسور منحني مشخصه منحصر به فردي دارد که اين منحني بايستي توسط سازنده ارائه گردد. که در شکل پيوستی نمودار مربوطه را برای کمپرسور های رفت وبرگشتي , سانتريفوژ ومحوری مشاهده ميکنيد.

محور افقی اين نمودارها شاخصی از فلوی سيال عبوری از کمپرسور بوده و محور عمودی آن شاخصی از هد ايجادی کمپرسور می باشد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



# کمپرسورهاي سانتريفوژ

با توجه به نمودارها نتيجه گرفته می شود که :

- کمپرسوررفت وبرگشتي در Q ثابت ميتواند **HEAD** هاي مختلف را ايجادکند

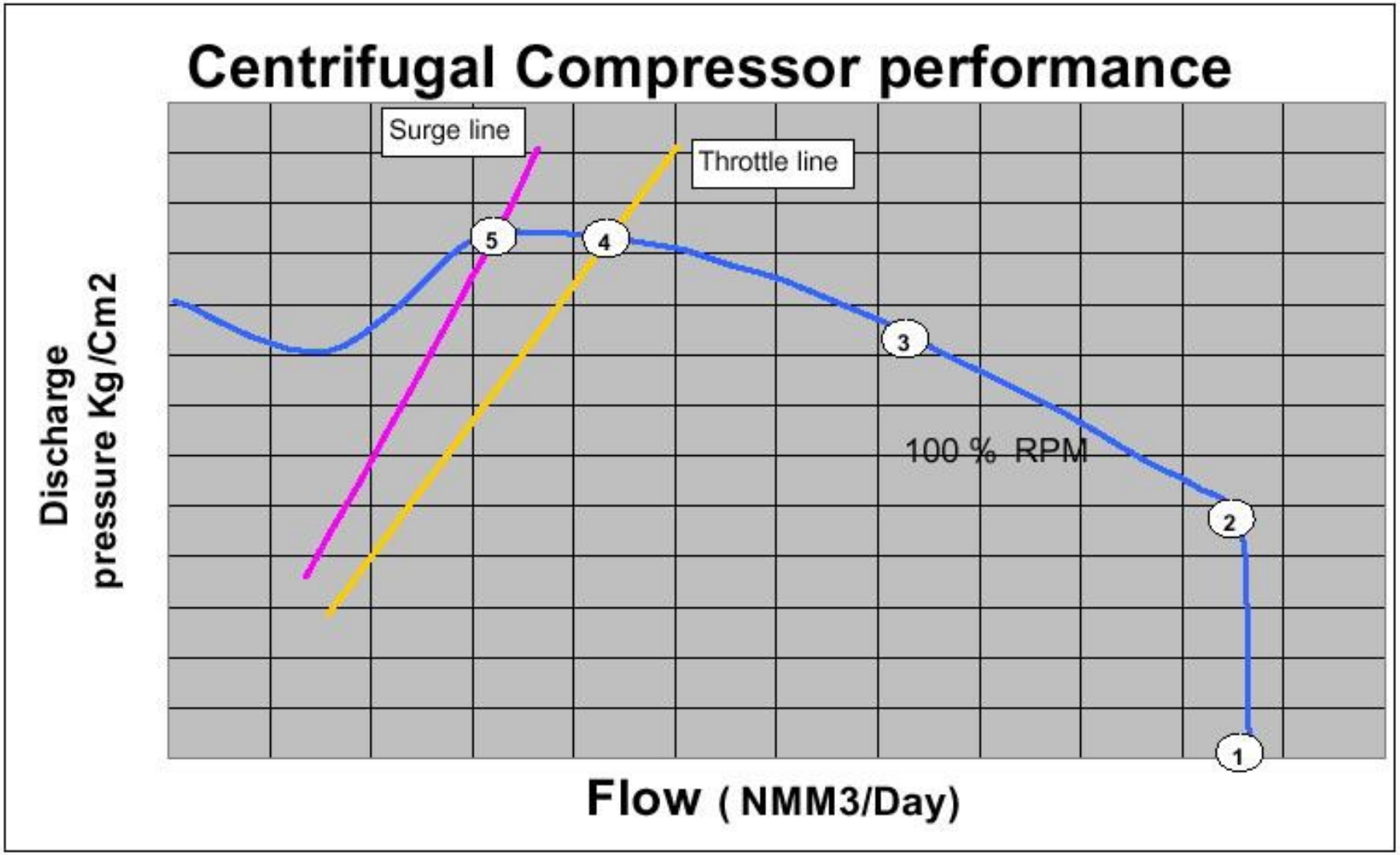
- کمپرسورسانتريفوژ در**HEAD** هاي ثابت ،دبي هاي مختلف را ايجاد ميکند.

- کمپرسورمحوری در **HEAD** هاي مختلف ،دبي هاي مختلف را ايجاد ميکند.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## کمپرسور Centrifugal



# کمپرسورهاي سانتريفوژ

اگر خروجی یک کمپرسور را به یک مخزن وصل کنیم نقطه کار آن از 1 شروع و باافزایش فشار در مخزن در نهایت به نقطه 5 می رسد.

- نقطه 1 تا 2 منطقه Stone Wall است که در دبی ( Q ) ثابت Headمختلفی دارد .
- نقطه 2 تا 4 منطقه کاری کمپرسور میباشد.
- تقطه 4 تا 5 را منطقه Throttle گویند که در Head ثابت Qکاهش می یابد.
- نقطه 5 به بعد را منطقه سرج گویند.

# كمپرسورهاي سانتريفوژ



## Stone Wall ?$?k:

اگر مقدار فلوي عبوري از كمپرسور در حدي باشد كه با كاهش ضريب افزايش فشار( RC )مقدار فلوي عبوري افزايش نيافته وبصورت ثابت باقي بماند در آن صورت سرعت سيال عبوري از كمپرسور نزديك سرعت صوت ويا بيشتر آن بوده كه diffuser كمپرسور امكان تبديل سرعت گازبه فشار را نداشته (به علت بزرگتر از يك بودن عدد ماخ ) ودر نتيجه به نظر مياید كه فلوي عبوري از كمپرسور به يك ديوار سنگي برخورد كرده ويا چوك شده است كه آنرا Stone Wall يا Chocking ميگویند در منطقه stone wall كمپرسور نمي تواند فلويي را ايجاد نمايد، بلكه فلوي عبوري از كمپرسور با توجه به مصرف در طرف خروجي ايجاد ميشود درهمچنين مواقعي گفته ميشود كمپرسور درمقابل عبور سيال ترمز ايجاد كرده است. نقطه Stone wall شدت جريان حداكثر پايدار وhead حداقل پايدار كمپرسور مي باشد لذا بعد از اين نقطه كمپرسور درحالت نا پايدار كار ميكند اثرات اين پديده درگازهاي سنگين بيشتر محسوس است بخصوص درجه حرات هاي كمتر وتوان پلي تروپيك پايين تر اين پديده باعث گرم شدن كمپرسور وخرابي Impeller و Sealing شده وهمچنين خوردگي در Impeller را به دنبال خواهد داشت.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## :¥*vƒ1£ƒк1т ƒ$ SURGE 7$7$к

کمپرسور درهر سرعتي ، ماکزيمم فشاري را که ميتواند ايجاد کند مشخص ميباشد، اگر مقاومت سيستم افزايش يافته ويا مقدار فلوي عبوري کاهش يابد ،کمپرسور نميتواند افزايش فشاري را داشته باشد، ( بين نقطه 4 تا 5 ) در نهايت با کاهش فلو ،فشار ايجادي کاهش مي يابد (بعد از نقطه 5) دراين حالت فشار درخروجي کمپرسور بيشتر از فشار ايجادي کمپرسور بوده وجهت سيال عوض ميشود (ازخروجي به ورودي ) و تکرار اين عمل باعث برخورد توده هاي کم فشار وپر فشار درکمپرسور شده و نوسانات فلو ، سرعت ، فشار خروجي و... را ايجاد مي کند که به اين پديده SURGE ميگويند، که همراه با سروصداي زياد و وايبرشن بالا مي باشد.

# بهره برداري از كمپرسورها

## ū167f'5*£ f1£fк13 f$ SURGE 51}17

1- كاهش جريان يا دبي ورودي به كمپرسور به هر علت(عدم مصرف درخروجی كمپرسورويا بسته شدن شيرهای بين راهی)

2- كاهش فشار گازورودي به كمپرسور به هر علت

3- كاهش سريع دور به هر علت (ESDتوسط اپرتور، مشكل در PT و يا FCV ويا كاهش دور دركمپرسور محوري توربين)

4- تغييرات در جرم مولكولي سيال

5- افزايش فشار در هدرخروجي كمپرسور دراثر عوامل خارجي

6- بالا بودن فشار درهدر خروجي درزمان ON-LINE كردن بعدا ز START

- ابتدا با توجه به خط سرج دور مناسب را انتخاب كرده ودور PT را تا آن دور بالا برده وبعد ON-LINE ميكنيم.

7- باز ننمودن آنتي سرج ولو ويا بسته ماندن ولودستي ASV در زمان استارت يا NSD و زمان OFF LINE

8- بستن V1 ويا V2درحين كار

9-ا ستارت نمودن واحد ديگري وقتي كه DEV واحد درحال كار درحد مطلوب نيست كه ممكن است واحد استارت شونده ويا هر دو دچار SURGE شوند .

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## f1£fк13f$ SURGE x *9ff5

1- خرابي BEARING ها مخصوصا تراست بيرينگها

2- خرابي شفت وIMPELLER کمپرسور

3- صدمه ديدن لابيرينت سيل کمپرسور

4- صدمه ديدن COUPLINGکمپرسور و POWER TURBINE

نحوه کنترل سرج در کمپرسور

1- کنترل اتوماتيک

2- کنترل دستی

# كمپرسورهاي سانتريفوژ

: Surge

براي كنترل اتوماتيك surge سيگنالي از فشار خروجي و ورودي و فلوي عبوري دريافت شده و وارد controller surge ميگردد، كه SCبا محاسباتي كه روي پارامتر مذكور داشته واطلاعاتی که قبلا برای آن تعریف شده ، نقطه كار كمپرسور را مشخص نموده وفاصله surge را تعيين ميكند ، اگر اين فاصله از set point ( ... , 0.5 , 0.3, 0.2) كمتر باشد ، فرماني براي باز نمودن درصدي ASV صادر گرديده و با RECYCLE نمودن مقدار FLOWرا افزايش داده و از SURGE جلوگيري ميكندكه به اين روش كنترل اتوماتيك ميگويند كه درصورت ادامه يافتن باعث افزايش دماي گاز ميگردد لذا بهره برداربايستی عوامل SURGE را شناسايي نموده واجازه ندهد تا كمپرسور به خط SURGE نزديك گردد،تا سيستم كنترلي عمل نمايد زيرا امكان دارد سيستم كنترلي دچار مشكل شود ونتواند SURGEرا كنترل كند ، بنابراين اپراتور بايد نقطه كار كمپرسور را درشرايط پايدار نگهداري نمايد (بين نقاط 4 تا 2 حالت پايدار ) اگر به مرور زمان دبي كاهش يابد ، دور را كاهش داده وبرعكس آن دور را افزايش دهد.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



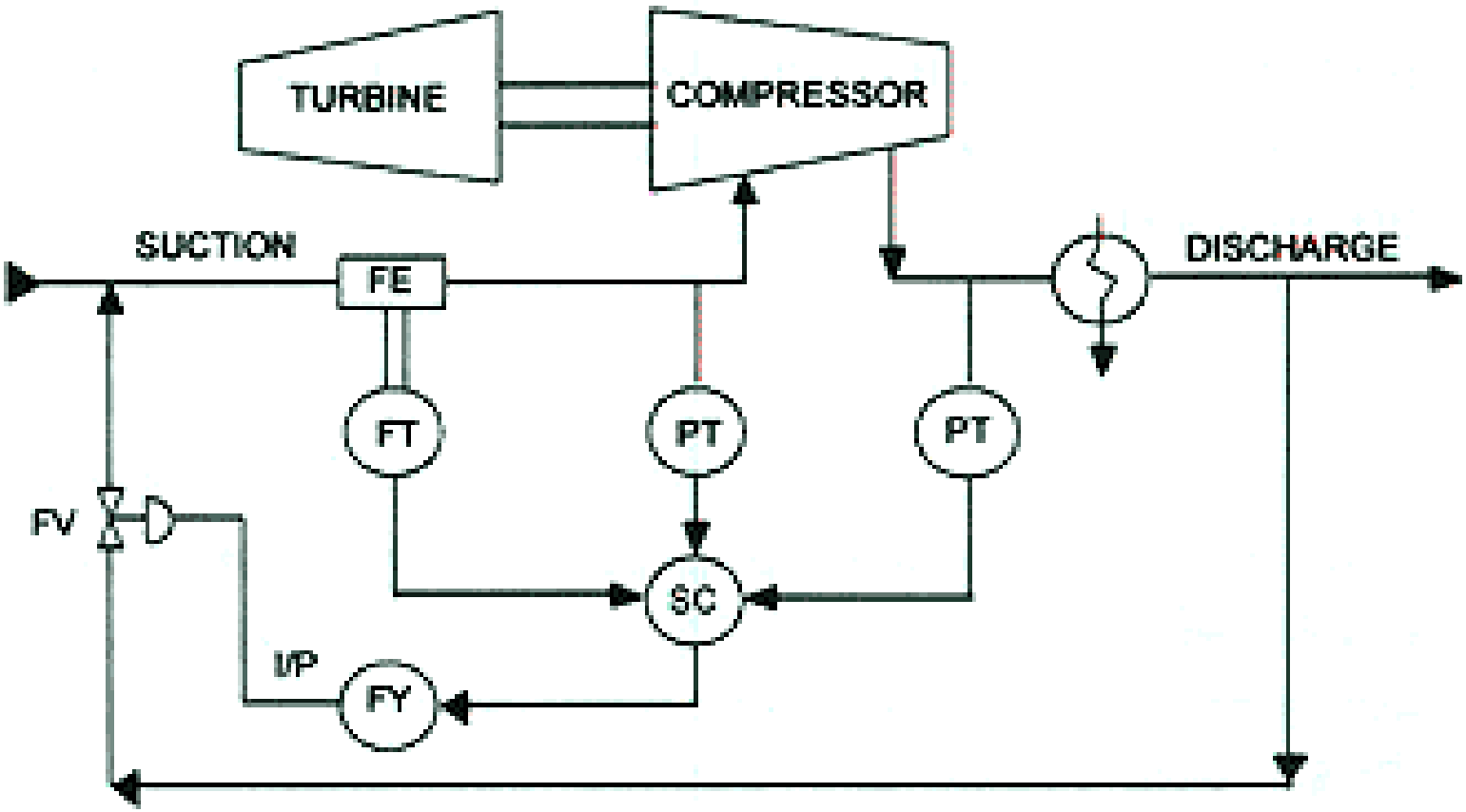



Figure 1. Required Input Signals

# كمپرسورهاي سانتريفوژ

ƒ1£ƒк13 5 *9 81 $#1 65°51

1- Rc Vs dp

2- Rc Vs Qs مقدار فلوي عبوري در شرايط ورودی

3- Rc Vs Qn مقدار فلوي عبوري در شرايط استاندارد

4- Pd Vs Q Q ={ Qs , Qn , Qm }

5- Ps Vs Q

6- Hp Vs Q

7-Td Vs Q

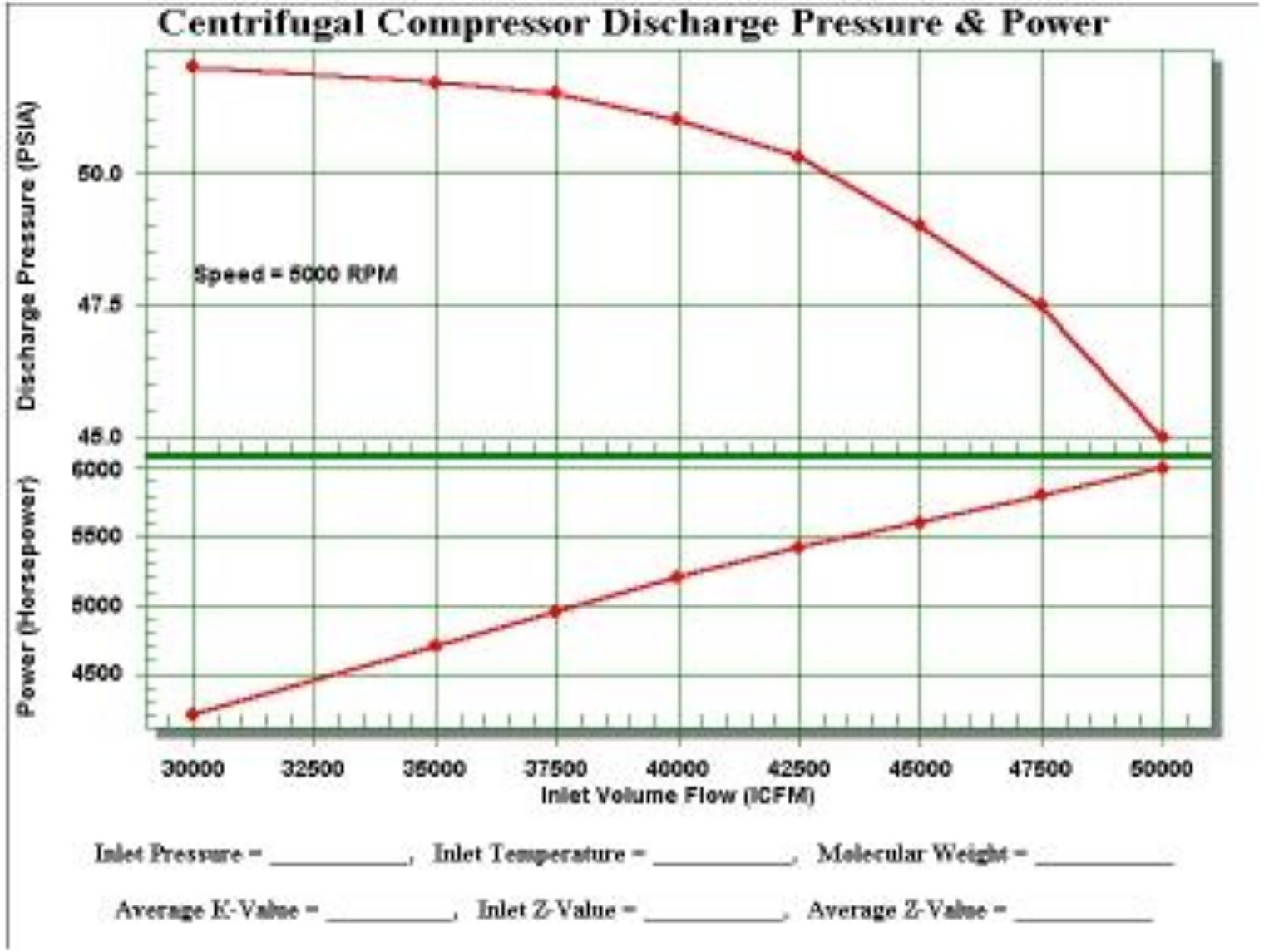
8- PWR Vs Q

9-Rc Vs dp/ps

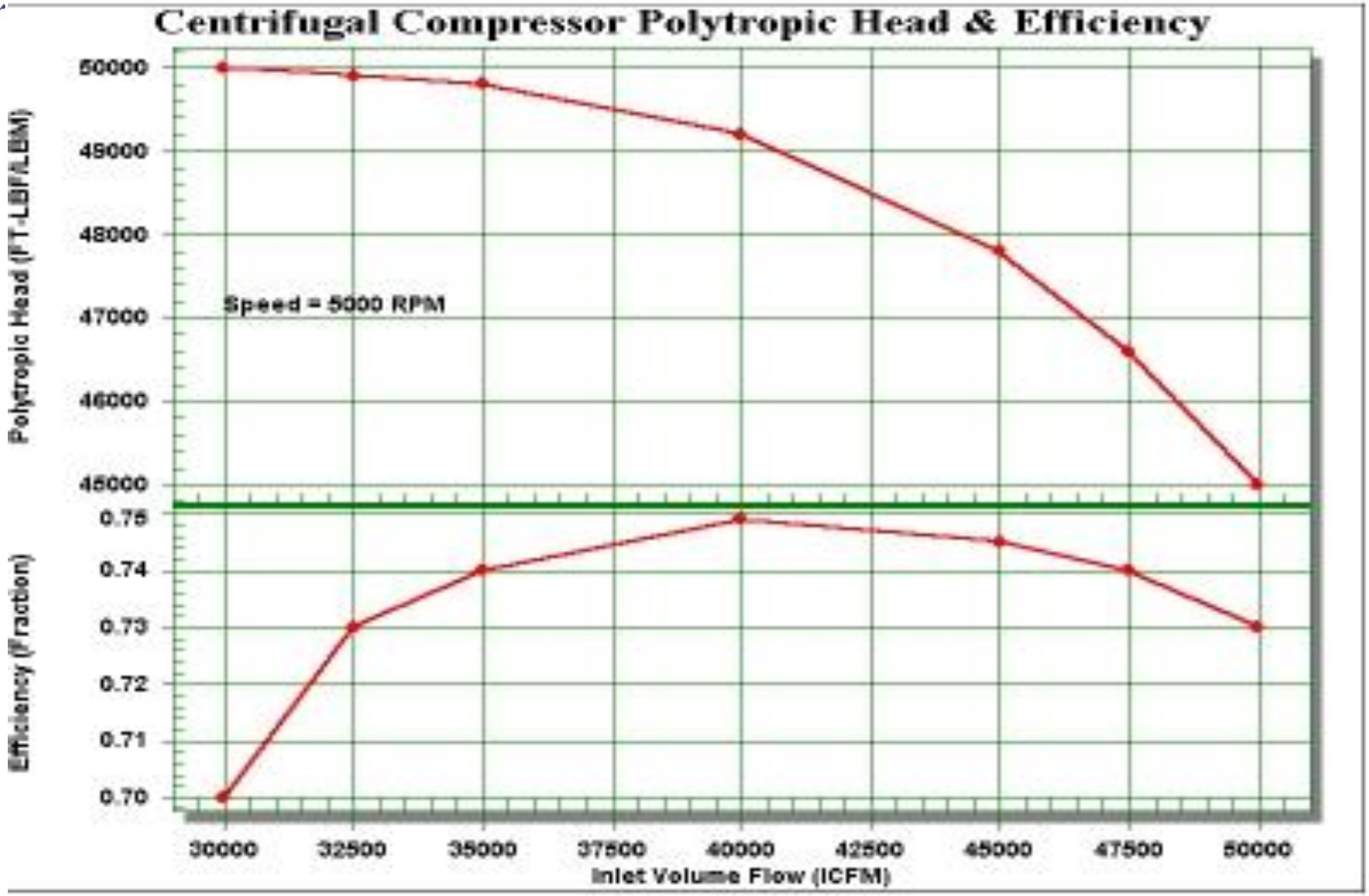
$$Qn= (Ps+1)/Patm \times[288.15/(Ts+273.15)] \times (Zn/Zs)\times Qs$$

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





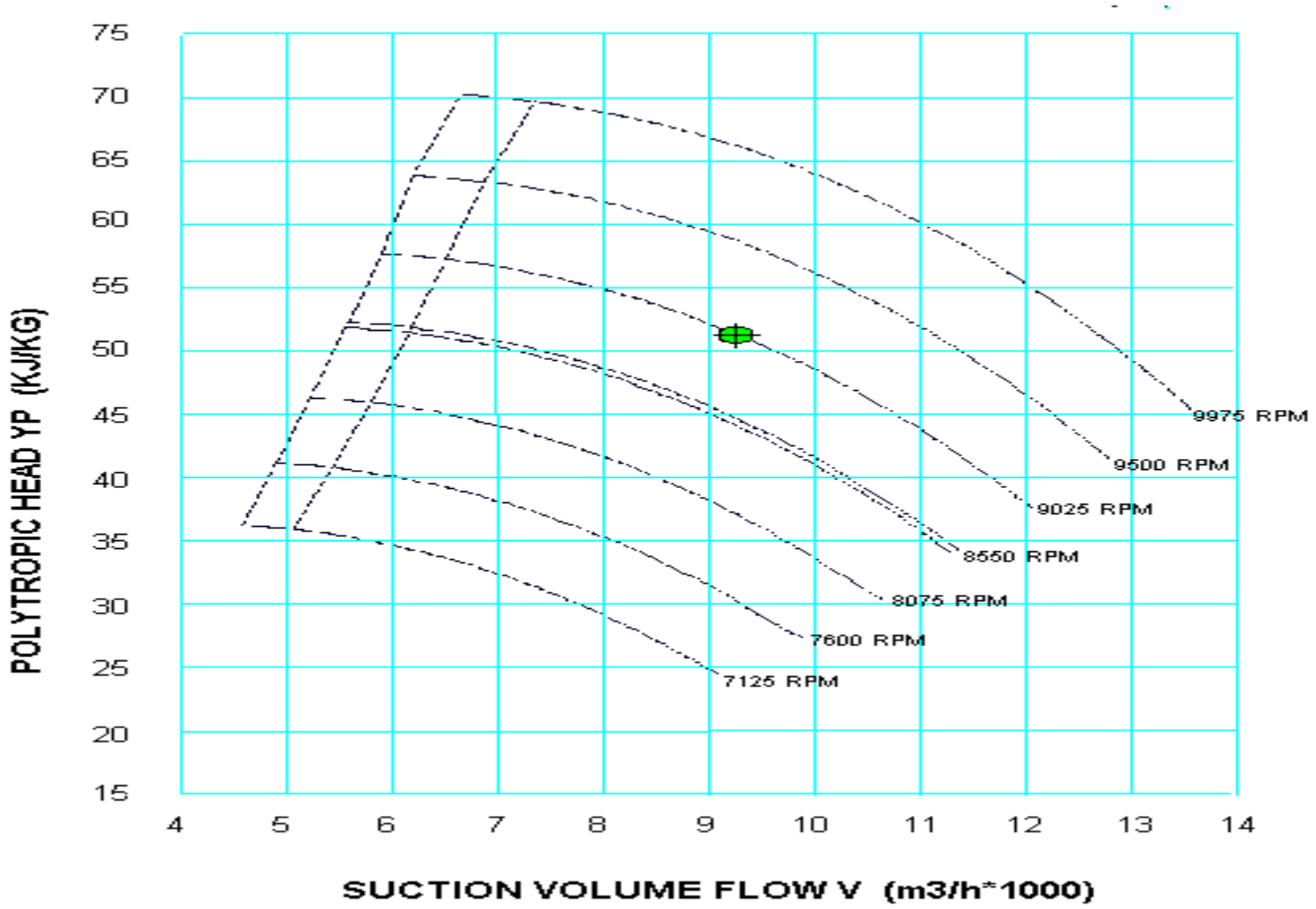
# کمپرسورهاي سانتريفوژ




F1-Discharge Pressure (Psig) : 0,5,10,15

# کمپرسورهاي سانتريفوژ





# كمپرسورهاي سانتريفوژ

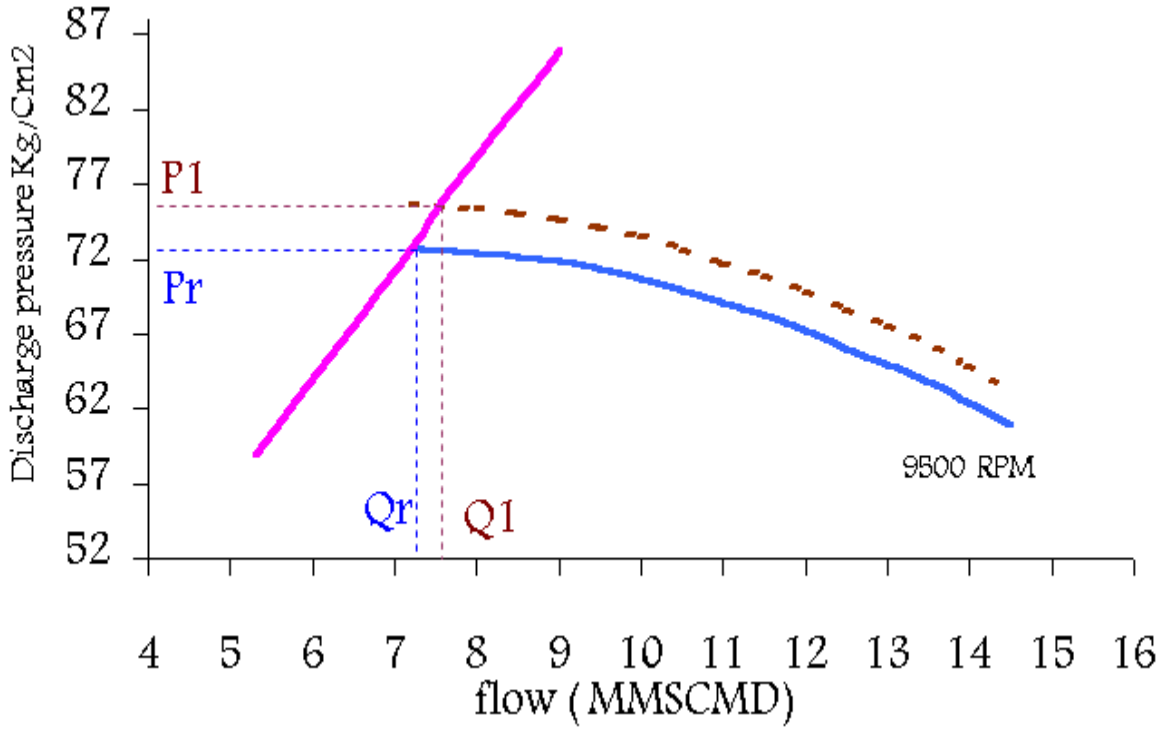
f1£fк13 $f3817 f}$115f§6'*7817 77}f# f7@"-



## 1) تغيير در شرايط فشار ورودي

بـا افـزايش فشـار ورودي ، قـدرت فشـار خـروجي ايجـادي كمپرسـور و همينطـور حـداقل فلـوي كمپرسورجهت دوري از Surgeافزايش مي‌يابد وهمينطورمقدار loadكمپرسورهم بيشتر ميشود.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pr | 50 | P1 | 52 |
| Tr | 293 | T1 | 293 |
| Zr | 0.91 | Z1 | 0.91 |
| MWr | 18 | MW1 | 18 |
| Kr | 1.273 | K1 | 1.273 |

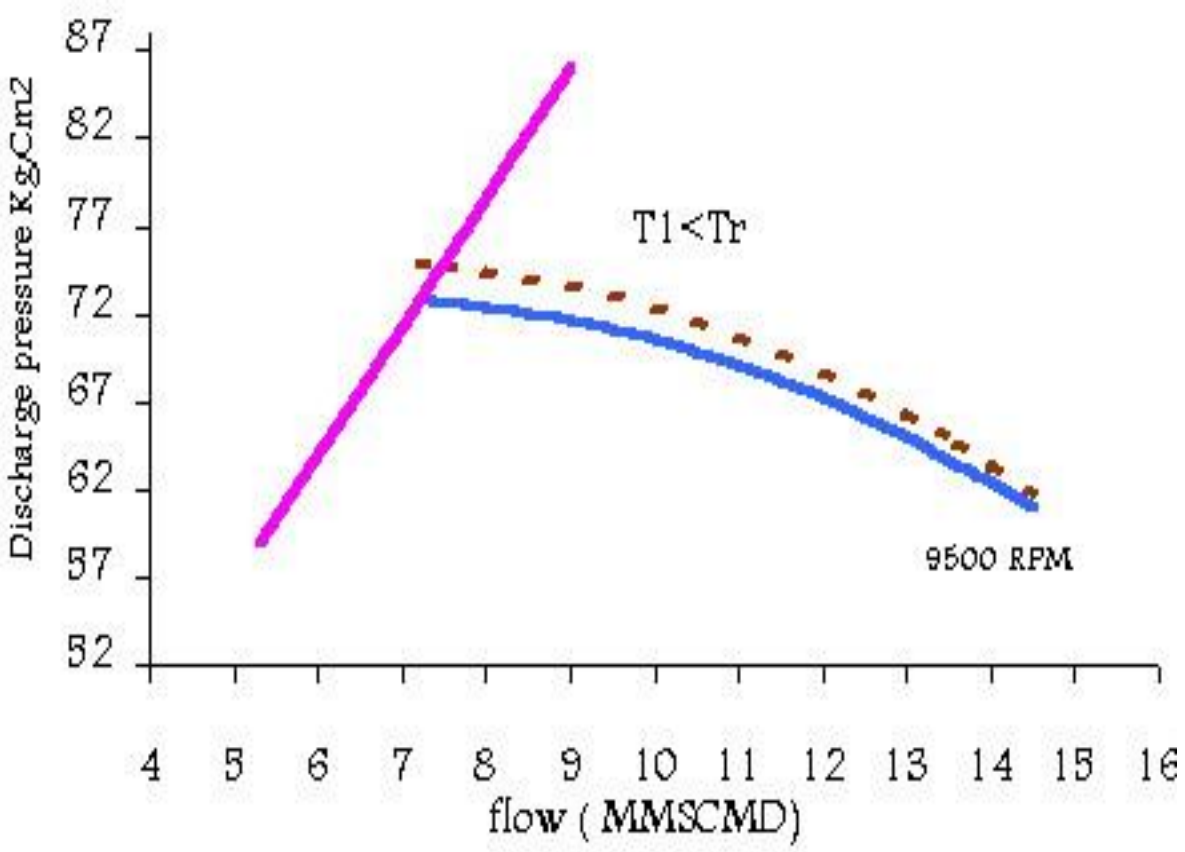


# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## 2) تغيير در دماي ورودي

**با كاهش دماى ورودي ، قدرت فشار خروجي ايجادي كمپرسور و همينطور حداقل فلوي كمپرسور جهت دوري از Surgeافزايش مي‌يابد.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pr | 50 | P1 | 50 |
| Tr | 299 | T1 | 278 |
| Zr | 0.9 | Z1 | 0.9 |
| MWr | 18 | MW1 | 18 |
| Kr | 1.3 | K1 | 1.3 |



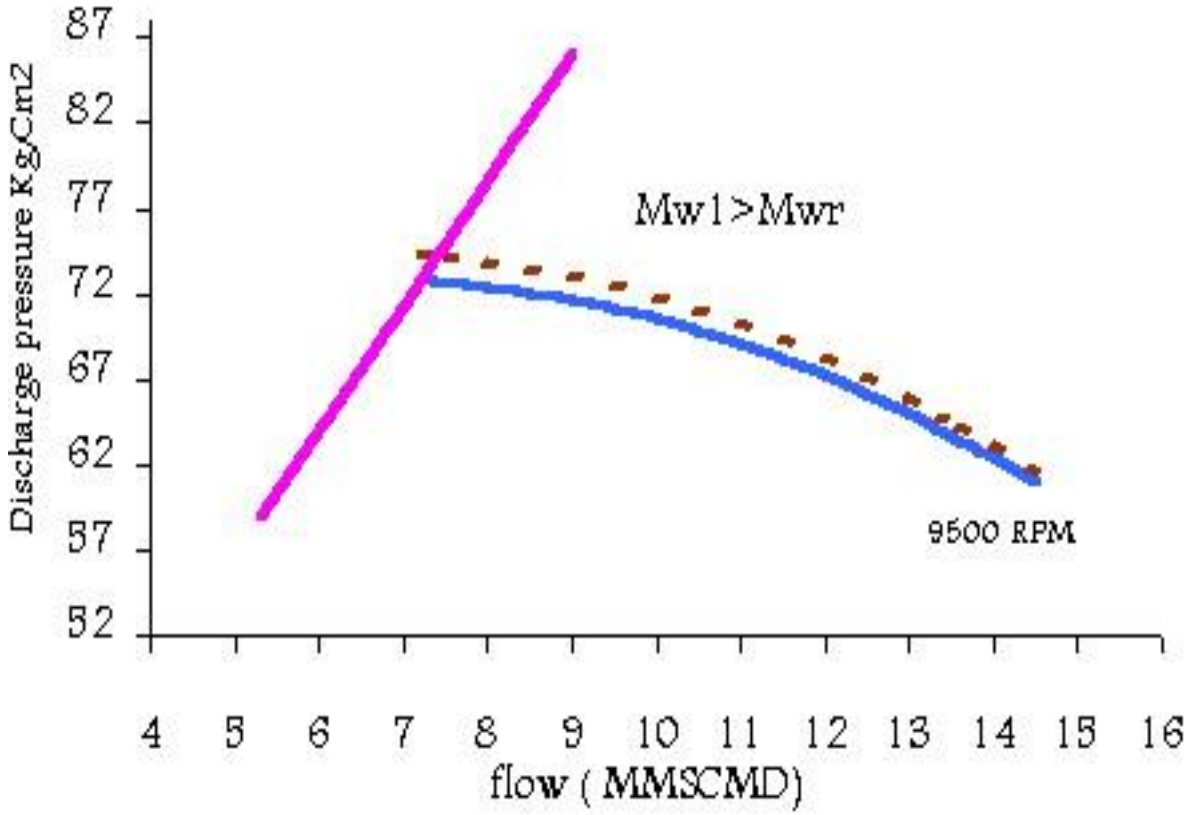
# كمپرسورهاي سانتريفوژ



## 3 ) تغيير درجه جرم مولكولي

با كاهش جرم مولكولي ، قدرت فشار خروجي ايجادي كمپرسور و همينطور حداقل فلوي كمپرسور جهت دوري از Surgeافزايش مي‌يابد.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pr | 50 | P1 | 50 |
| Tr | 299 | T1 | 278 |
| Zr | 0.9 | Z1 | 0.9 |
| MWr | 18 | MW1 | 19 |
| Kr | 1.3 | K1 | 1.3 |

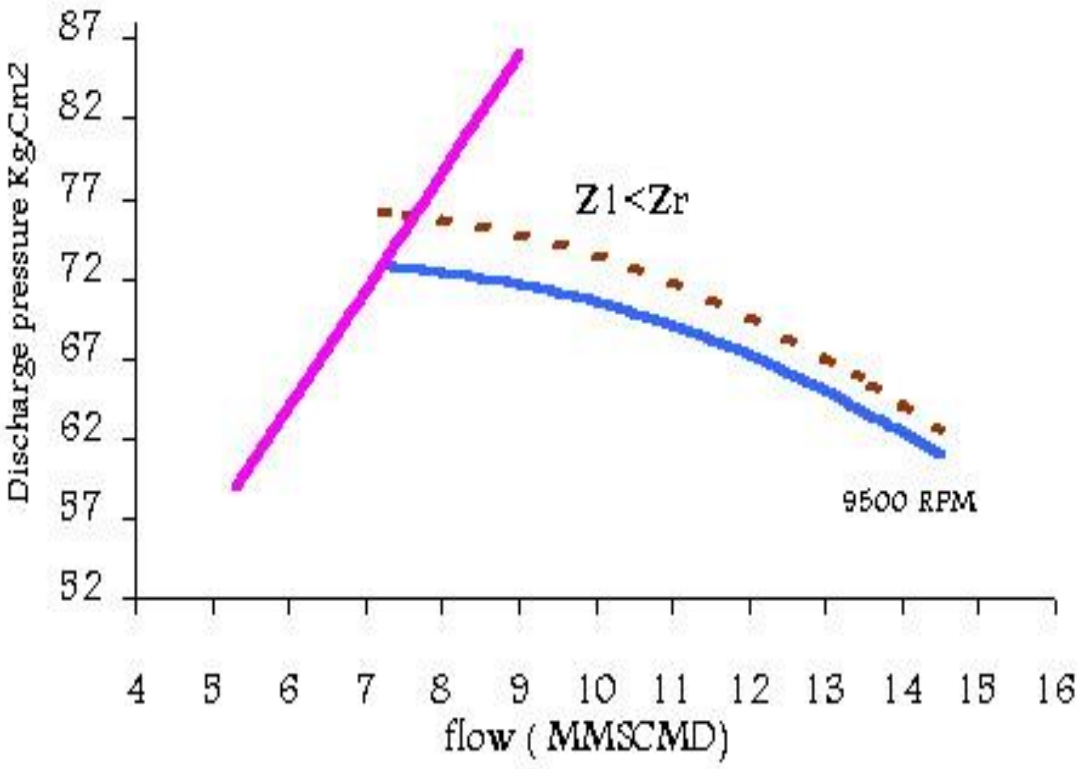


# کمپرسورهاي سانتريفوژ

## 4 ) تغيير در نسبت تراكم و ضريب ظرفيت گرماى ويژه

با كاهش K, Z، قدرت فشار خروجي ايجادي كمپرسور و همينطور حداقل فلوي كمپرسور جهت دوري از Surgeافزايش مي‌يابد البته تاثير Z بيشتر است.

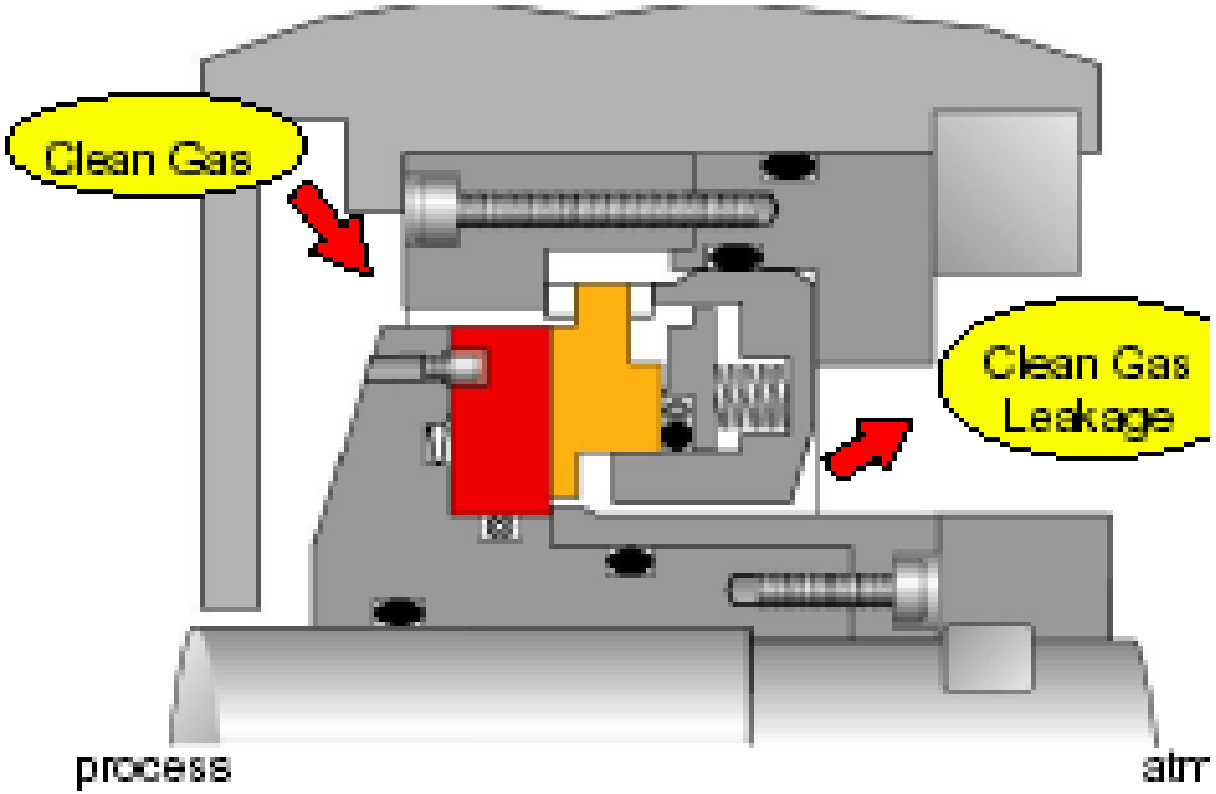
| | | | |
|---|---|---|---|
| Pr | 50 | P1 | 50 |
| Tr | 299 | T1 | 299 |
| Zr | 0.9 | Z1 | 0.8 |
| MWr | 18 | MW1 | 19 |
| Kr | 1.3 | K1 | 1.3 |



# كمپرسورهاي سانتريفوژ

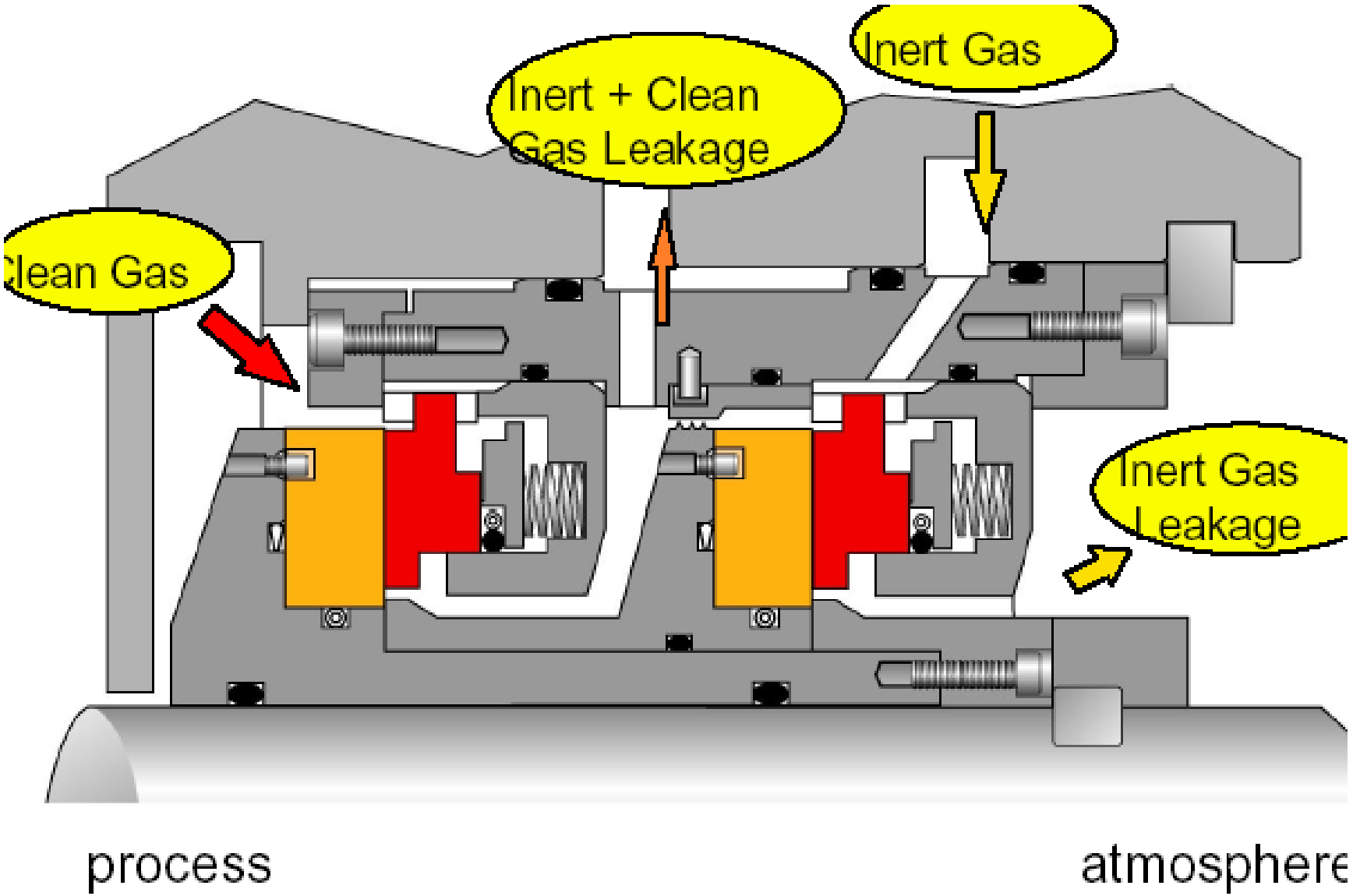
- آشنايي با سيستم Seal Gas و تكنولوژي Dry Seal Gas

از تكنولوژيهاي جديد آبندي ، سيستم سيل خشك با گاز مي باشد كه گاز تميز از مقابل گاز كثيف پروسس وارد سيستم Sealing شده و ضمن انجام عمل خنك كاري بين سطوح در حال تماس از ورود گاز كثيف به داخل آن خوداري مي كند كه اين عمل آبندي ممكن است در چند مرحله انجام گردد . كه نمونه هايي از آنها را ملاحظه مي فرماييد.



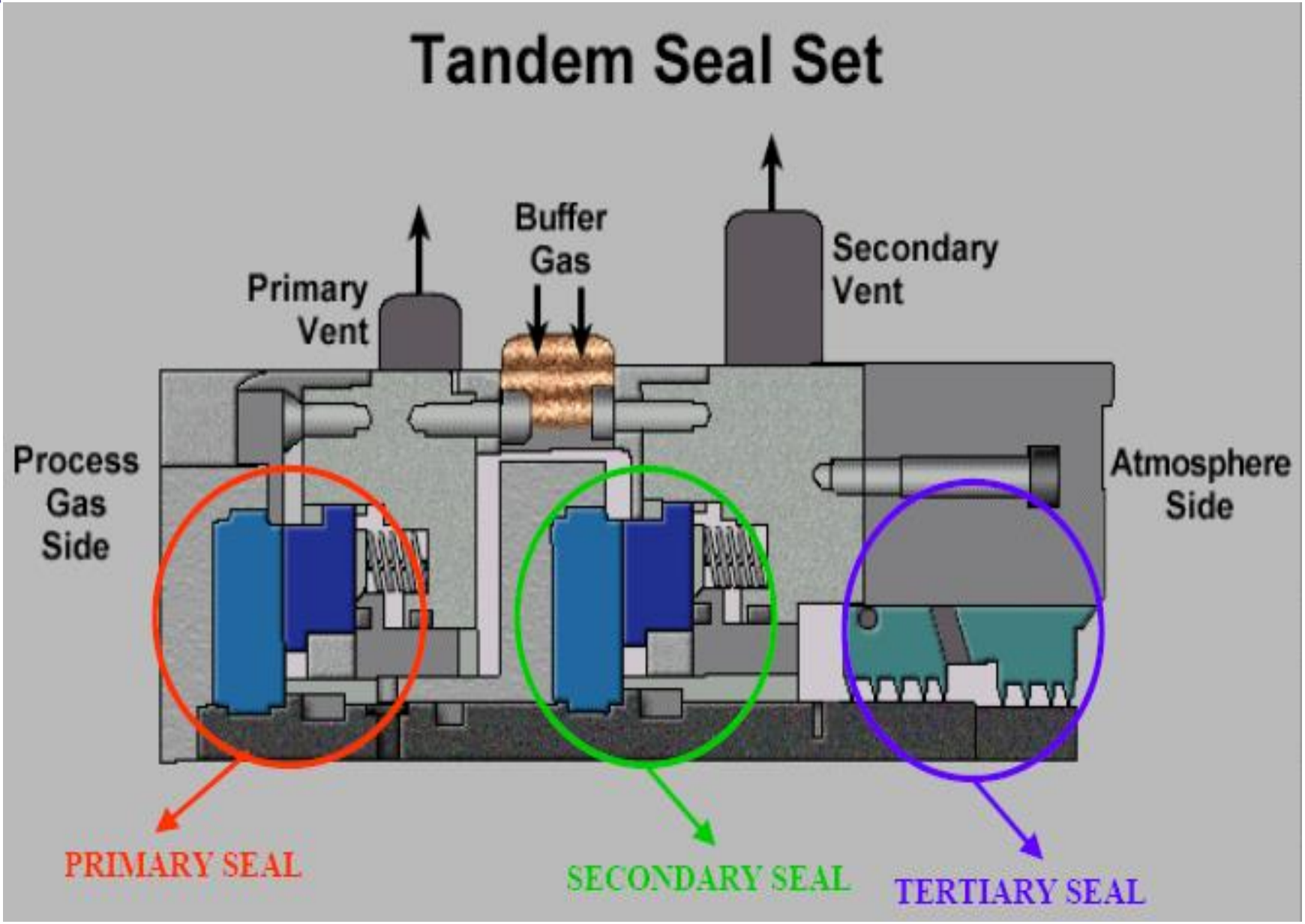
# کمپرسورهاي سانتريفوژ





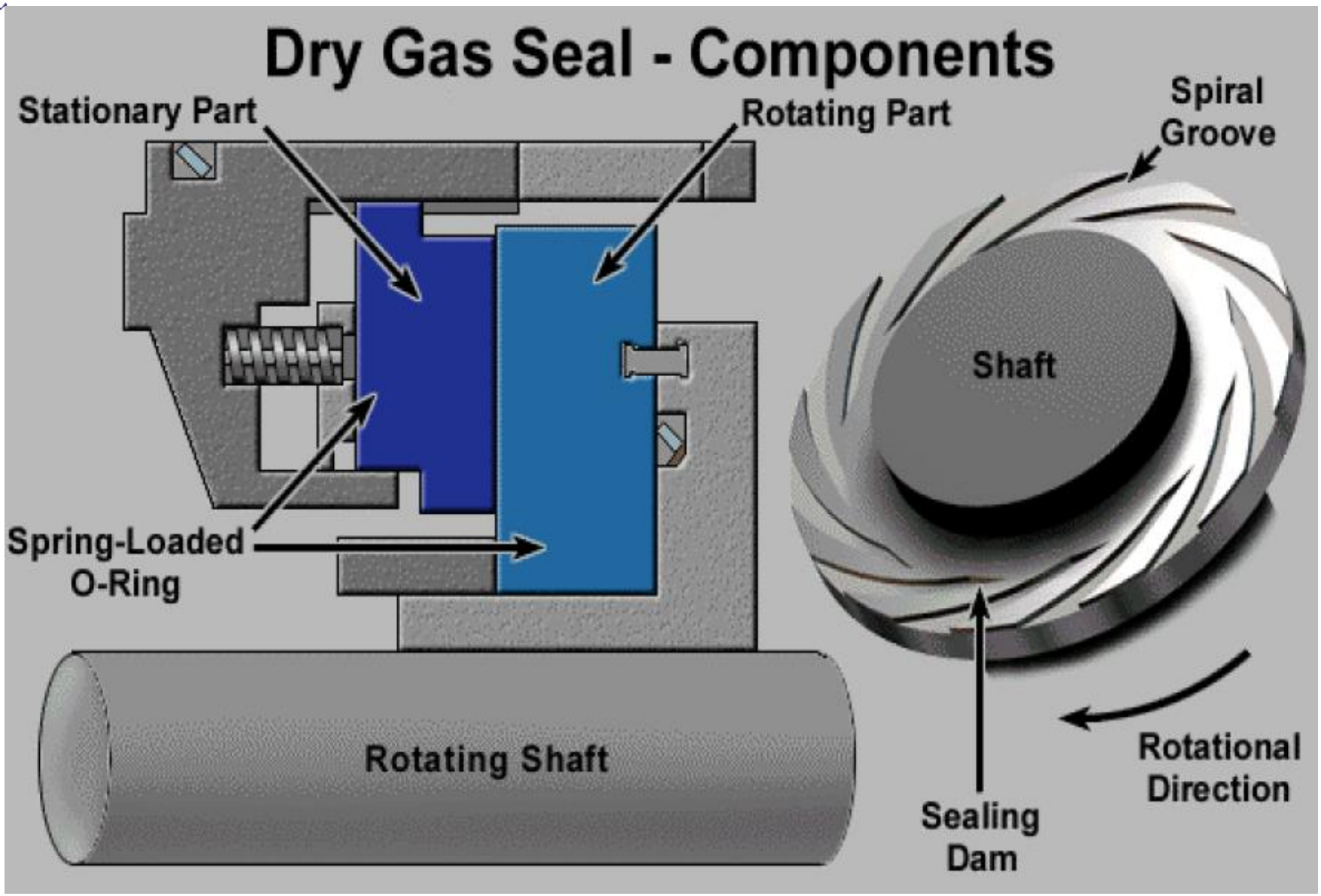
# کمپرسورهاي سانتريفوژ





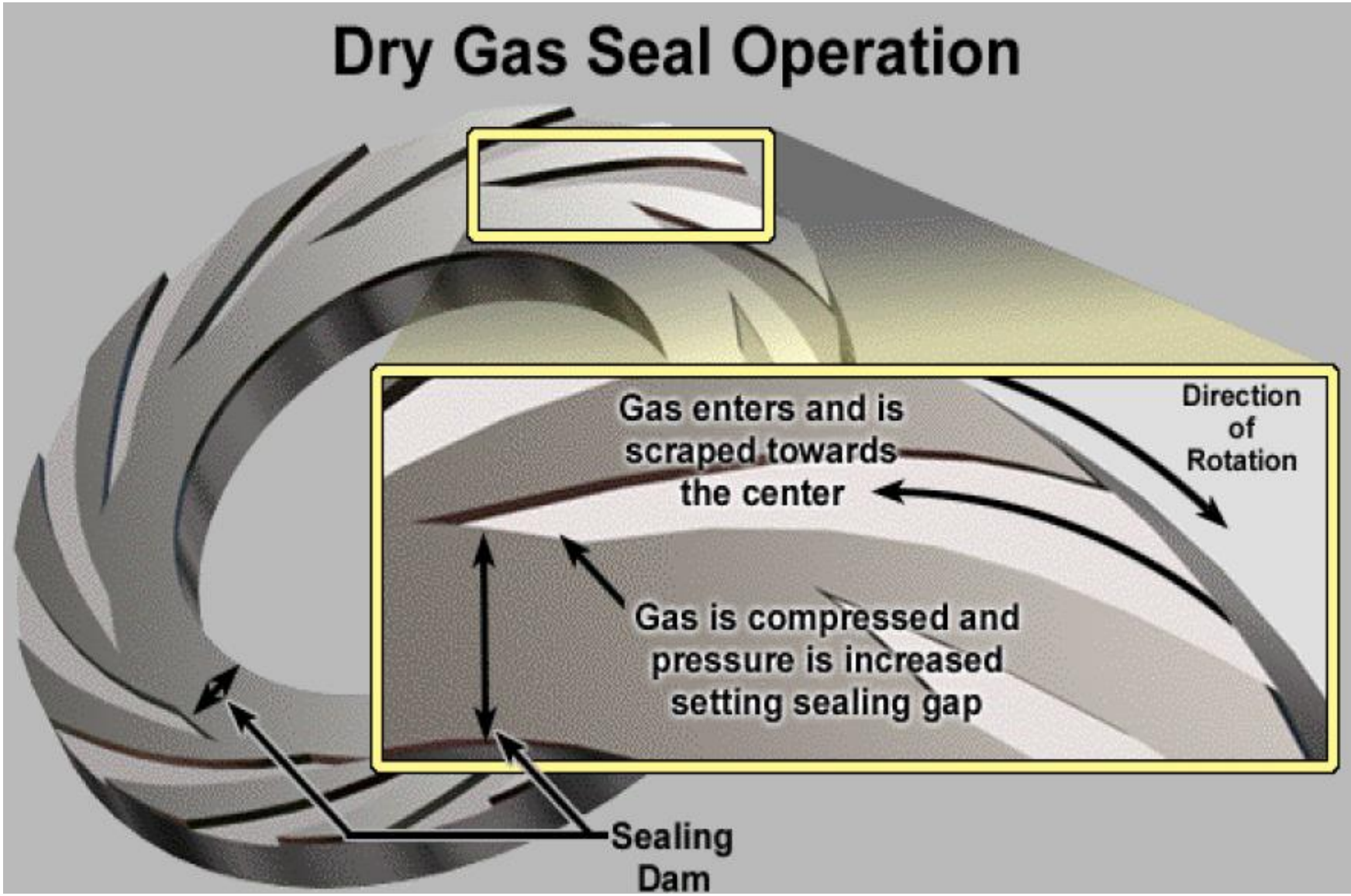
# کمپرسورهاي سانتريفوژ





# کمپرسورهاي سانتريفوژ

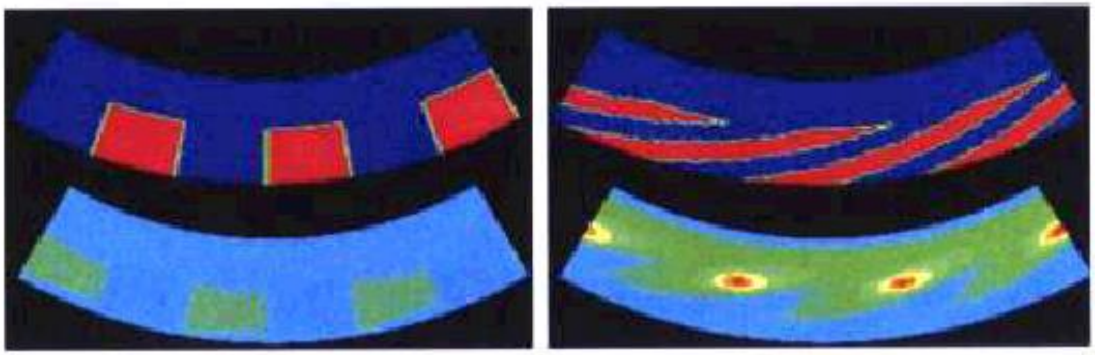




# کمپرسورهاي سانتريفوژ

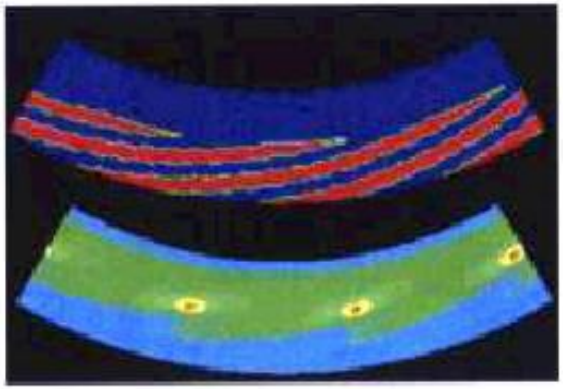


## GROOVES SHAPE



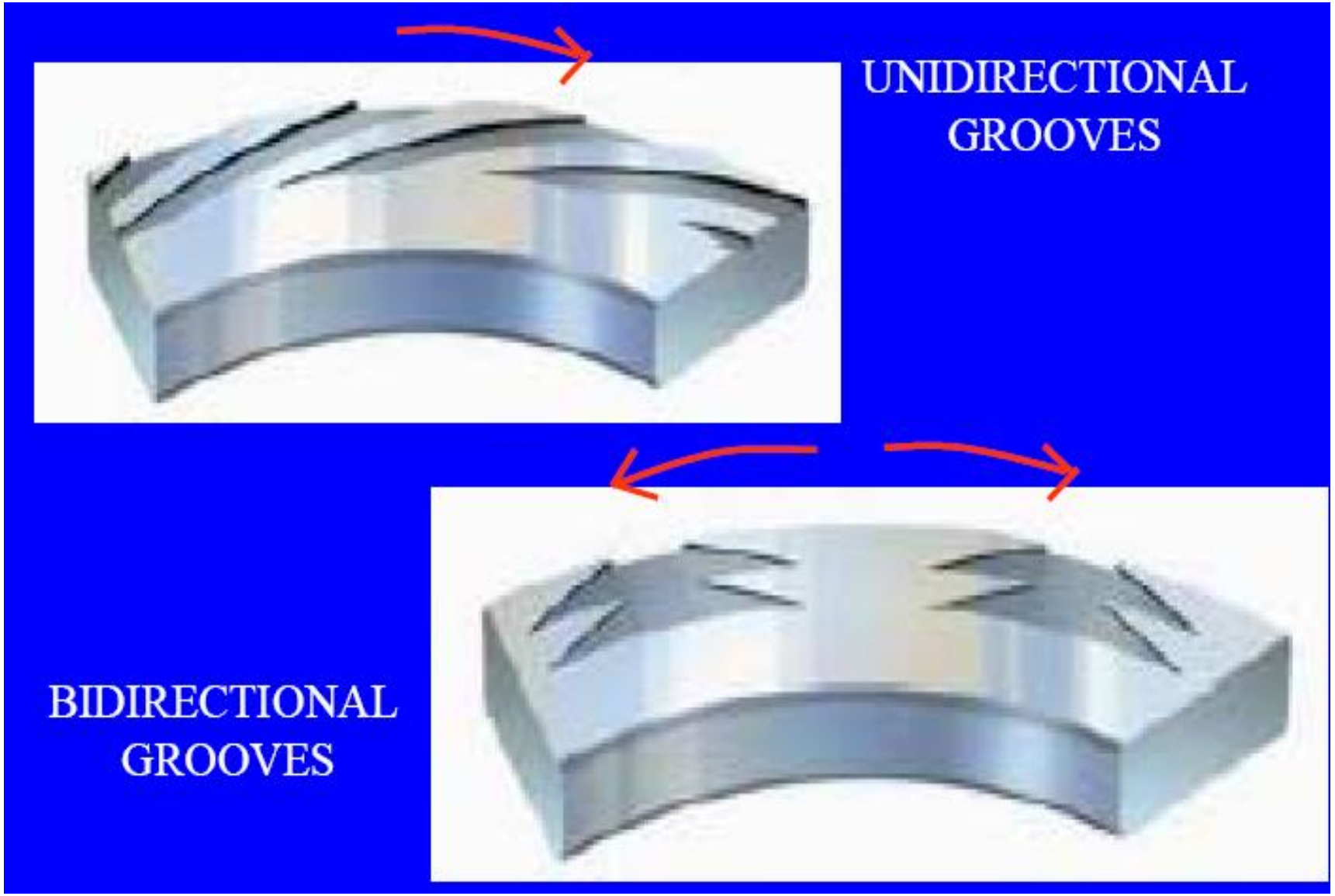
Radial Groove

Optimised Spiral



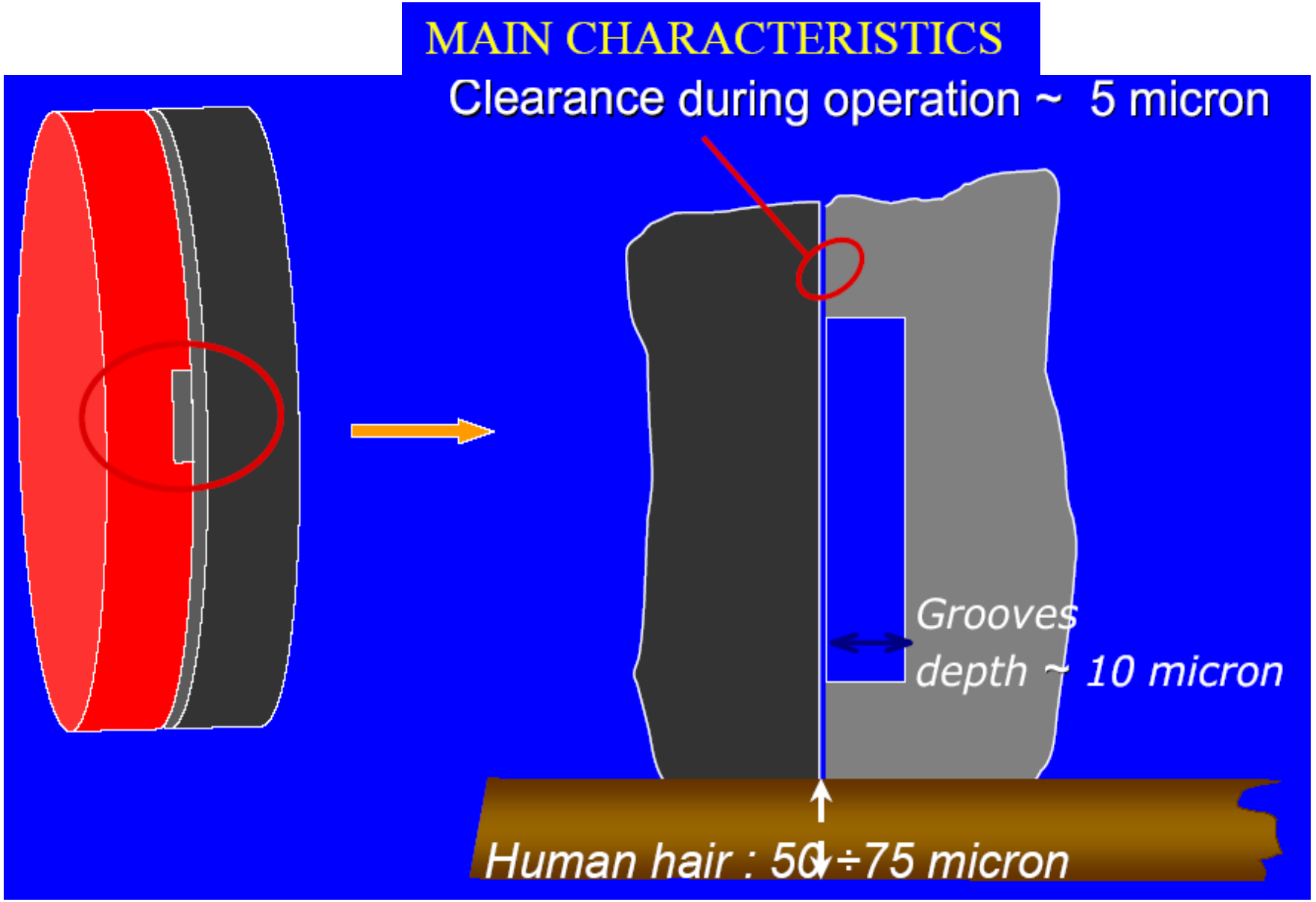
Acute Spiral

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



# کمپرسورهاي سانتريفوژ

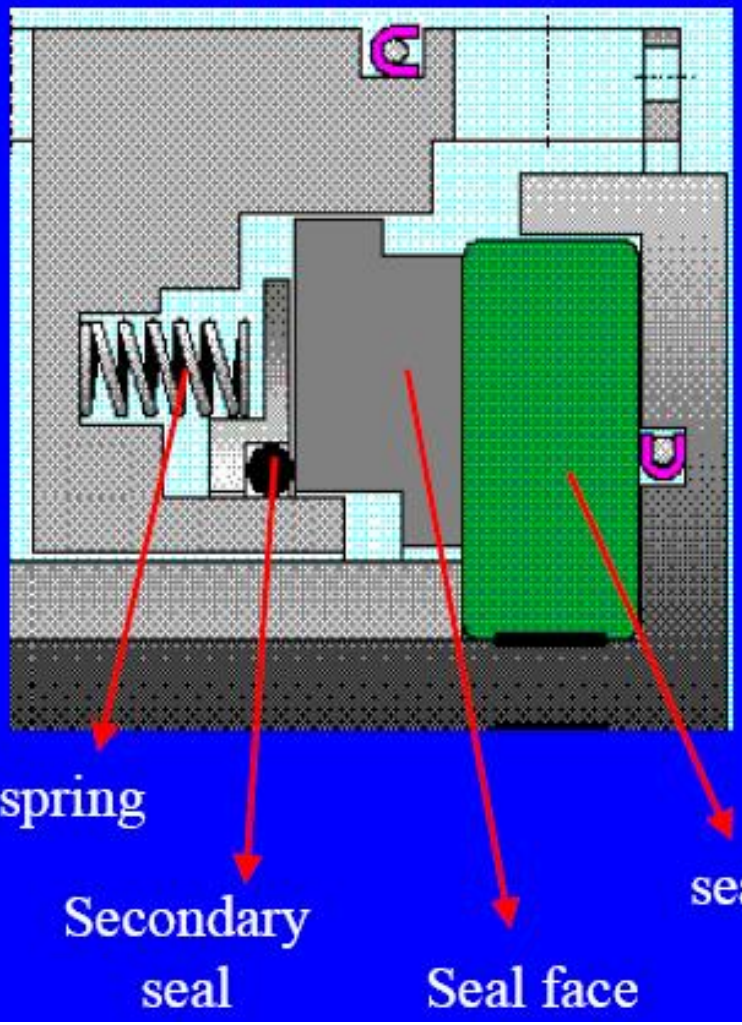




# کمپرسورهاي سانتريفوژ

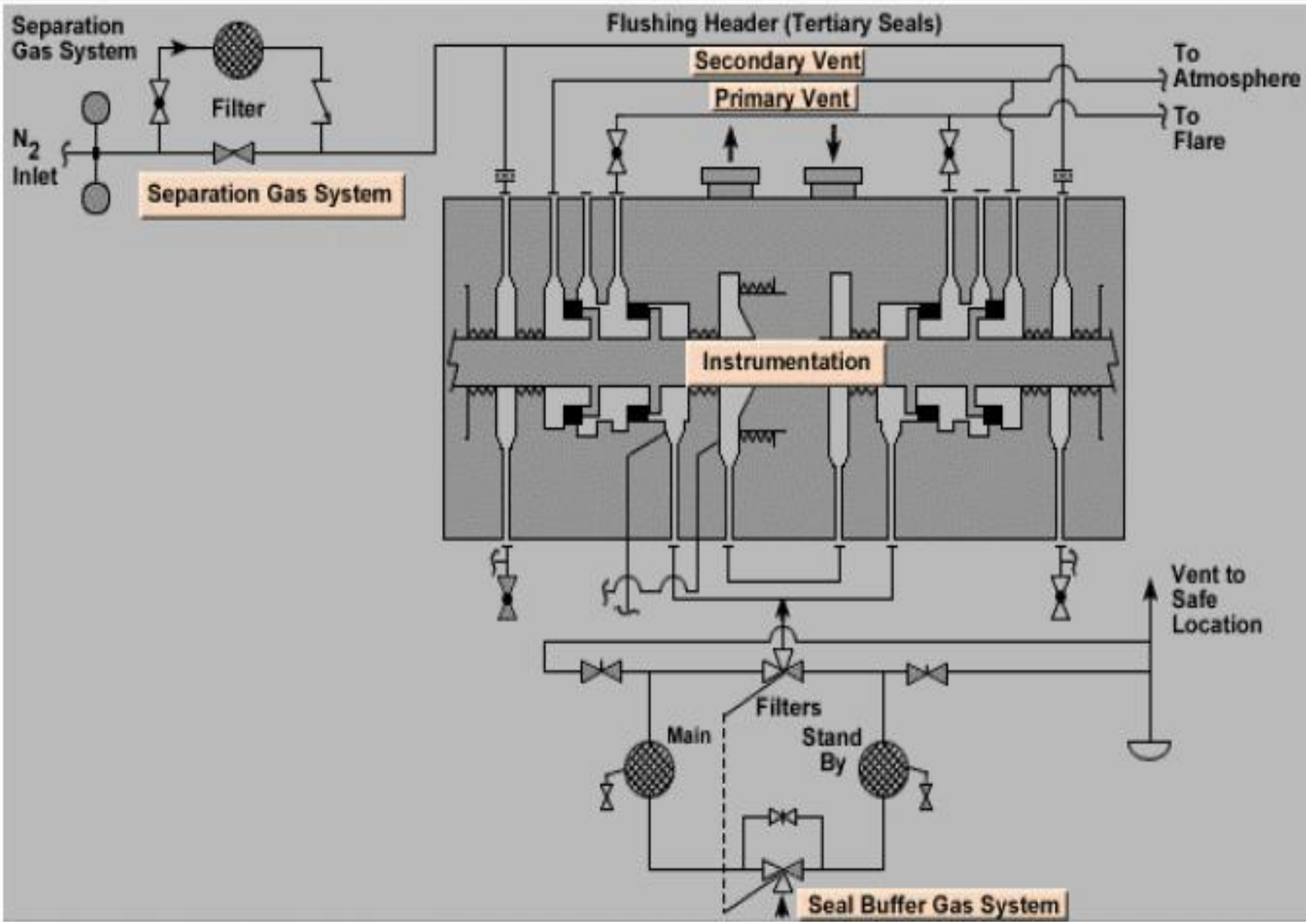


## RINGS MATERIALS




| Seal face | Seat |
|---|---|
| Carbon graphite, antimony impregnated | Silicon carbide, reaction-sintered |
| Carbon graphite, resin impregnated | Silicon carbide, directly sintered |
| Silicon carbide, reaction-sintered | Silicon nitride, liquid-phase-sintered |
| Silicon carbide, directly sintered | Silicon nitride |
| | Tungsten carbide, Ni binder |
| | Tungsten carbide, NiCrMo binder |

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



# کمپرسورهاي سانتريفوژ



## آشنايي با نحوه کنترل و نگهداري از سيستم واشکالات عملياتي

برای کنترل و نگهداری از سیستم و رفع اشکالات عملیاتی نفرات بهره بردا ر باید به شرح وظایف خود توجیه و آموزش های لازم را دیده باشد تا بتواند به عنوان بک بهره بردار ایدآل انجام وظیفه نماید.

**تعریف بهره برداری:** بهره برداری به معنی راه اندازی تجهیزات ، نگهداری صحیح در حین کار، توقف صحیح تجهیزات ونگهداری صحیح در حالت توقف تجهیزات میباشد.

بهره بردار کیست؟ بهره برداراز نظر مسئولیت صاحب اصلی ومالک تجهیزات میباشد.

**وظایف بهره برداری:**

1- راه اندازی صحیح تجهیزات ودستگاههای دوار وغیر دوار

2- مراقبت از تجهیزات ودستگاهها در حین کار ویا در حال توقف

3- چک نمودن پارامتر های کنترلی قسمت های آسیب پذیر دستگاهها وسایر پارامترهای کنترلی ومقایسه آنها با SET POINT مربوطه وهمچنین بررسی رژیم کاری پارامترها

4- رکورد گیری پارامترها در پریود زمانی مشخص ومقایسه آن با مقادیر پریود قبلی

5- انجام تکالیف روزانه دررابطه با تجهیزات وگزارش سالم وخراب بودن تجهیزات به مسئولان رده بالا ودر نهایت صدور در خواست کار تعمیراتی Work Order برای رفع عیب مذکور

6- صدور پرمیت کار سرد وگرم برای گروههای تعمیراتی جهت انجام کارهای تعمیراتی

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

7- راه اندازی تجهیزات تعمیر شده وتست سالم بودن آنها ودر نهایت تائید کار گروهی تعمیراتی.

8- بازدید دوره ای تجهیزات درحال کار یا متوقف ویا تجهیزاتی که برای مدتی طولاني متوقف شده اند.

9- عکس العمل بموقع در شرایط اضطراری

10- ....

**ویژگیهای یک بهره بردارخوب و ایدآل**

- آشنایی کامل با نحوه انجام وظایف خود.
- اطلاع کامل از اصول صحیح وعلمی راه اندازی وتوقف دستگاهها.
- اطلاع کامل از اصول نگهداری دستگاهها چه در حین کار چه در حالت توقف.
- آشنایی کامل با مکانیزم عمل دستگاهها وتجهیزات.
- آشنایی کامل با رژیم کاری دستگاه ها وتجهیزات دوار.
- آشنایی کامل با تئوری های عملی که بردستگاهها تاثیر گذار باشند.

# کمپرسورهاي سانتريفوژ

- آشنايي كامل با پديده هاي فيزيكي كه ميتوانند بر روي دستگاهها اتفاق بيفتد وتاثير گذارباشد.
- آشنايي كامل با روش هايي كه براي جلوگيري از پديده هاي مضر بايد اعمال گردد.
- آشنايي كامل باپارامترهاي تاثير گذاربرعملكرد دستگاهها.
- آشنايي كامل با نحوه تاثيرپارامترهاي موثر بر عملكرد دستگاه ها ونحوه تغييرات عملكرد دستگاهها با تغييرات پارامترها.
- آشنايي كامل با پرامترهاي كنترلي دستگاهها وتاثير تغييرات اين پارامترها بردستگاهها
- آشنايي كامل با نحوه كنترل پارامتر ها در صورتيكه سيستم دچار FAULT شده باشد.
- آشنايي كامل با نحوه واكنش در برابر هر نوع FAULT يا آلارمي كه در سيستم يا دستگاه ايجاد ميشود.
- آشنايي كامل با پريود تعميراتي وبازديد هاي دوره اي دستگاهها ودوره كاليبره تجهيزات اندازه گيري.
- آشنايي كامل با نحوه بر خورد در شرايط اضطراري كه بر دستگاهها ممكن است رخ دهد.
- آشنايي كامل باكارهائيكه بعدازESD وياFAULT سيستم جهت جلوگيري ازخسارت اضافي بايد انجام داد.
- ....

# کمپرسورهاي سانتريفوژ



موفق و پیروز باشید.

مهدی زارع

منطقه 8 عملیات انتقال گاز

E-mail: zare_mahdi@nigc.ir

هر انچه يك مهندس شيمي نياز دارد

کانال تلگرام:

@ Chem_Eng_World